

La science du champagne

par Bruno Dufeuire

Figure 1. Le champagne a deux caractéristiques essentielles qui le distinguent des autres vins : c'est un vin blanc élaboré principalement avec du raisin noir et c'est un vin mousseux. L'habitude de préparer le vin blanc à partir de raisin noir fut prise au XVIII^e siècle pour tenter de concurrencer les vins rouges de la Bourgogne notamment. Hors le chardonnay, cépage blanc qui représente plus de 20 % des raisins, les autres cépages utilisés pour l'élaboration du champagne sont le pinot noir (en bas, à droite) et le pinot meunier. Pour le viticulteur, la préparation du vin de Champagne consista d'abord à éviter que le jus de raisin ne soit coloré au contact des peaux noires. Le vin mousseux est apparu plus tardivement. Le procédé s'est développé naturellement avec l'apparition des bouteilles, car la Champagne étant située dans une région septentrionale, la fermentation responsable de la transformation du raisin en vin n'était pas terminée avant l'hiver. Elle reprenait après la mise en bouteille au printemps, donnant lieu à la formation de mousse. Le mérite des Champenois fut de maîtriser le phénomène de mousse. (Cliché A, Fotogram ; B, Moët et Chandon)





La réputation du vin de Champagne n'est plus à démontrer. En 1985, près de deux cents millions de bouteilles ayant l'appellation « champagne » ont été vendues dans le monde entier. S'il est une tradition de faire couler le champagne à flots pour les fêtes de fin d'année, il en est une autre respectée avant tout par les Champenois : la lente et délicate transformation du jus de raisin en un vin si pétillant. Car l'élaboration du champagne repose sur des règles bien précises, progressivement définies au fil des siècles. Produit de tradition donc, le champagne est pourtant actuellement l'objet d'une recherche scientifique active. Une meilleure maîtrise des processus de fermentation, à l'aide notamment de levures « domestiquées », la culture en éprouvette des plants de vigne, un procédé nouveau pour supprimer les fastidieuses manipulations des bouteilles : autant de voies nouvelles explorées par les chercheurs. Mais comment marier la tradition et les techniques modernes pour conserver au vin toute sa qualité ? C'est ce que nous explique B. Duteurtre, responsable d'un laboratoire chez Moët et Chandon.



La présence de la vigne en Champagne est très ancienne, puisqu'il a été retrouvé dans des sédiments datant du Tertiaire, à Sézanne dans la Marne, des feuilles de vigne fossilisées. Baptisés *Vitis sezannensis* ces fossiles étaient cependant très éloignés des plants aujourd'hui cultivés et très certainement inaptes à l'élaboration des vins. Les premiers témoignages sur la vinification remontent à l'époque romaine, dont certains écrits rapportent que les vins d'Ay, du nom d'une localité située aux portes d'Épernay, étaient déjà réputés. Ce qui est certain, c'est que la culture de la vigne est apparue, dans la Gaule, 500 ans avant Jésus-Christ et que les vignobles septentrionaux se créèrent beaucoup plus tard : bourgogne au III^e siècle de notre ère, champagne au VI^e siècle (voir « Les origines de la vigne » dans notre numéro de février 1975).

Depuis la renaissance carolingienne, l'évolution du vignoble est étroitement liée à la vie des ordres religieux qui déterminent les premières règles d'élaboration des vins. Au XIII^e siècle, la notion de cépage commence à apparaître. Au XVI^e siècle, les vins de Champagne sont toutefois moyennement connus, ceux d'Ay restant les plus réputés. A cette époque, les sacres royaux célébrés à Reims, celui de François II en 1559 ou d'Henri III en 1575, contribuent fortement à développer la notoriété de ces vins.

Les vins étaient jusqu'alors des vins blancs, mais de plus en plus, pour tenter de concurrencer les vins des régions avoisinantes, les vins rouges apparaissent en Champagne. A cette époque, le vin reste un produit de luxe, la boisson quotidienne étant la cervoise, une bière de céréales. Par l'intermédiaire du transport fluvial et maritime, le commerce du vin de Champagne se développe davantage vers l'Angleterre, l'Espagne, etc. Il est aussi de plus en plus apprécié à la cour des rois de France, surtout à partir du début du XVII^e siècle.

C'est à la fin du XVII^e siècle que l'utilisation des bouteilles commence à se développer, alors qu'auparavant, le vin voyageait en tonneaux. Le bouchage est assuré par une cheville en bois, graissée avec du suif et maintenue avec une ficelle. A partir de 1685, l'usage des bouchons en liège apparaît. Au XVIII^e siècle commence à se développer une technologie particulière à la région de Champagne, afin d'élaborer des vins blancs à partir de raisins noirs. En effet, les vins rouges de Champagne ayant des difficultés à concurrencer les vins rouges de la voisine Bourgogne en particulier, les Champenois trouvèrent le moyen d'obtenir à partir de raisins noirs des vins blancs, appelés à l'époque vins gris, d'une qualité supérieure à ceux obtenus en vinifiant les raisins blancs. Pour éviter donc que le jus, ou moût, ne soit coloré au contact des peaux noires des raisins, ils supprimèrent le foulage — l'écrasement du raisin avant pressurage — et la macération — le contact prolongé du jus avec les

parties solides du raisin — et modifièrent le pressurage destiné à extraire la partie liquide de la vendange (fig. 1).

La notion d'une taille spéciale des sarments de vigne pour augmenter la qualité se développe. De même, les vigneron se sont aperçu que la qualité des vins élaborés avec les derniers jus en fin de pressurage diminuait tandis que leur coloration augmentait. Ils prirent donc l'habitude de séparer les différentes fractions au cours du pressurage : les premiers jus appelés cuvée donnant les meilleurs vins et les dernières fractions dénommées dans l'ordre d'écoulement première taille, deuxième taille et rebêche donnant des vins de qualité de plus en plus médiocre.

On voit ainsi que, au cours des siècles, différentes règles ou techniques ont progressivement évolué pour améliorer la qualité des vins de Champagne. A la fin du XVII^e siècle, l'assemblage des raisins issus de différents cépages et de différents crus devient une pratique courante pour mieux harmoniser leur qualité et estomper leurs défauts, pour obtenir des vins de qualité plus constante et d'un niveau supérieur. Cette innovation très importante est due à Dom Pérignon (1639-1715), moine cellier de l'abbaye bénédictine d'Hautvillers située sur les hauteurs d'Épernay, qui fut pour beaucoup dans le développement des vins de Champagne.

La champagnisation proprement dite s'est développée plus tardivement. Les premiers vins mousseux en Champagne sont en effet apparus à la charnière des XVII^e et XVIII^e siècles, probablement de manière naturelle lorsque l'on a commencé à faire usage de bouteilles (fig. 1). En effet, la Champagne étant située dans une région septentrionale (faible maturité du raisin, froid vif de l'hiver), la fermentation responsable de la transformation du raisin en vin n'était pas terminée avant l'apparition des grands froids. Elle reprenait après la mise en bouteille au printemps, donnant ainsi lieu à la formation de mousse. Dès lors, les Champenois vont s'efforcer d'obtenir une mousse régulière par un choix judicieux de l'époque de mise en bouteilles et par un choix des raisins ayant plus tendance à mousser. En 1837, un pharmacien de Châlons-sur-Marne, nommé François, publie un petit livret qui précise la relation existant entre le poids de sucre ajouté au vin lors de la mise en bouteilles et la pression ultérieure. Cette découverte fut décisive car, à l'époque, le pourcentage de bouteilles cassées se situait aux alentours de 20 %, les bouteilles étant trop fragiles pour résister aux fortes pressions obtenues par fermentation. Un peu plus tard naquit l'idée que la transformation du raisin en vin était due à un « ferment », dénommé par la suite « levure ». Mais il faudra attendre la fin de ce siècle et les travaux de Pasteur en particulier pour approfondir le rôle exact des levures dans les processus de fermentation.

Ces levures forment à l'issue de la fermentation en bouteille un dépôt qui doit

être éliminé. Jusqu'au début du XIX^e siècle, son élimination était réalisée par transfert du vin dans une autre bouteille. Dès lors, l'opération de « remuage » voit le jour pour concentrer le dépôt dans le col de la bouteille. Très rapidement, des supports spéciaux en bois, appelés pupitre et pouvant supporter chacun cent vingt bouteilles, apparaissent et facilitent cette opération de remuage. L'opération de dégorgement consistant à éliminer le dépôt concentré dans le col de la bouteille se fera longtemps « à la volée » : débouchage de la bouteille col en bas, le vin qui s'échappe expulsant au dehors le dépôt. Ce n'est qu'à la fin du XIX^e siècle, qu'apparaît le dégorgement à la glace consistant à faire circuler le col des bouteilles dans un bac de saumure à - 25 °C pendant quelques minutes pour congeler le dépôt. Celui-ci est alors expulsé par débouchage des bouteilles, tout en les relevant pour perdre le moins de vin possible. Cette technique s'est généralisée chez les petits manipulateurs il y a une trentaine d'années seulement. La bouteille est ensuite retournée, le bouchage définitif est alors effectué, après l'éventuelle addition d'un liquide destinée à rendre les vins moins agressifs, nous y reviendrons (fig. 2).

La vigne en éprouvette ?

Comme pour tout vin, la qualité du champagne ne résulte pas seulement de la fermentation. Elle découle également de la nature du terrain sur lequel la vigne est cultivée et de toutes les autres étapes contribuant à l'élaboration d'un vin : culture de la vigne, vendanges, assemblage et traitement des vins avant la mise en bouteilles, vieillissement du vin sur liège, remuage et dégorgement.

Commençons par le début, la culture de la vigne qui associe trois éléments : des cépages sélectionnés, un climat difficile et un sol particulier permettant d'obtenir les caractéristiques organoleptiques du champagne. Le vignoble champenois, situé sur la partie orientale du Bassin parisien, est planté à mi-coteau sur les pentes de la falaise de l'Ile-de-France, à une altitude de 150 à 200 mètres (fig. 3). Il repose sur des couches de craie d'épaisseur de 20 à 50 centimètres d'éboulis provenant des pentes tertiaires qui recouvrent le sous-sol constitué par une couche de craie à belemnites du Sénonien (Crétacé supérieur) de plus de 200 mètres d'épaisseur. Le rôle de la craie est double : elle draine les excès d'eau au cours des saisons humides et restitue une partie de cette humidité au cours des étés secs. Pour beaucoup, la finesse et la légèreté du vin de Champagne découlent en grande partie de la composition de ce sous-sol qui met la plante à l'abri de tout excès de fraîcheur ou de sécheresse. Le climat est un climat de transition soumis davantage aux influences océaniques prédominantes du Bassin parisien qu'aux tendances continentales en provenance de l'est.

Le cépage contribue bien évidemment pour beaucoup dans le type de vin produit

Bruno Duteurtre est ingénieur-docteur en biochimie de l'École nationale supérieure d'agronomie et des industries alimentaires de Nancy. Il est responsable du laboratoire de recherche œnologique du groupe Moët et Chandon à Épernay.

schéma d'élaboration du Champagne

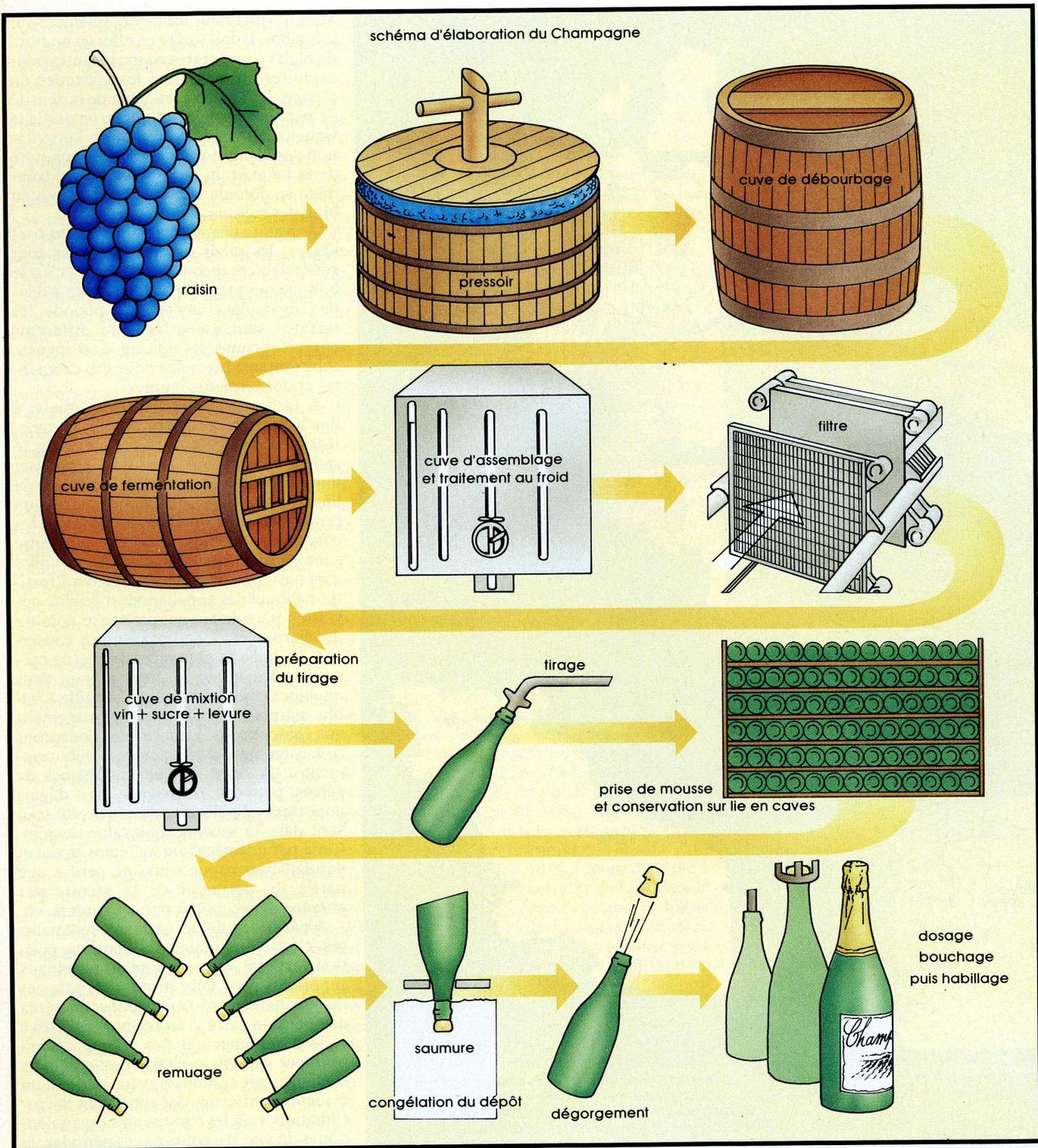


Figure 2. L'élaboration du vin de Champagne est une succession longue et délicate d'étapes bien définies et réglementées. La vendange a lieu fin septembre, début octobre et le raisin cueilli est rapidement déversé dans le pressoir. Celui-ci est conçu pour un pressurage rapide évitant que le jus n'ait le temps de se colorer au contact des peaux de raisin. Le jus, ou moût, ainsi obtenu est clarifié, c'est-à-dire débarrassé des nombreux pépins, dépôts de terre, microorganismes : c'est le débouillage réalisé par précipitation naturelle. Le jus est ensuite envoyé dans une cuve de fermentation. La première fermentation dite alcoolique transforme les sucres du moût en alcool et en gaz carbonique. Elle a lieu sous l'action des levures présentes dans le jus. Mais un ensemencement avec des levures est nécessaire pour une meilleure maîtrise du procédé. La fermentation malolactique s'effectue après la fin de la fermentation alcoolique. Elle permet de réduire l'acidité du vin en transformant l'acide malique en acide lactique grâce à l'action de bactéries. A l'issue de ces deux fermentations, et après analyse complète et dégustation, les vins sont assemblés par chaque maison qui cherche à marier les caractéristiques des différents cépages, des différents crus, des différentes années. Le vin subit ensuite une stabilisation au froid, puis est filtré pour être débarrassé des dernières matières en suspension. Dans une nouvelle cuve, il est alors mélangé à une liqueur à base de sucre et additionné de levures. Il est ensuite tiré, c'est-à-dire mis en bouteilles. Les bouteilles sont couchées dans les caves, tandis que se déroule une seconde fermentation alcoolique, caractéristique de la méthode champenoise, qui donne la mousse. Puis le vin vieillit pendant de nombreuses années sur le dépôt de levures formé ; celui-ci doit ensuite être éliminé. Pour ce faire, les bouteilles sont placées sur des pupitres en bois en position inclinée et remuées à la main tous les jours : c'est l'opération de « remuage » qui permet de concentrer le dépôt dans le col de la bouteille. Le col est ensuite passé dans une saumure à -25°C pour congeler le dépôt, lequel est éjecté au moment de l'ouverture de la bouteille (dégorgement). Le champagne est aussitôt additionné d'une liqueur destinée à doser le vin en brut, extra-dry, sec, demi-sec. Bouchage, habillage terminent le cycle de l'élaboration du champagne.

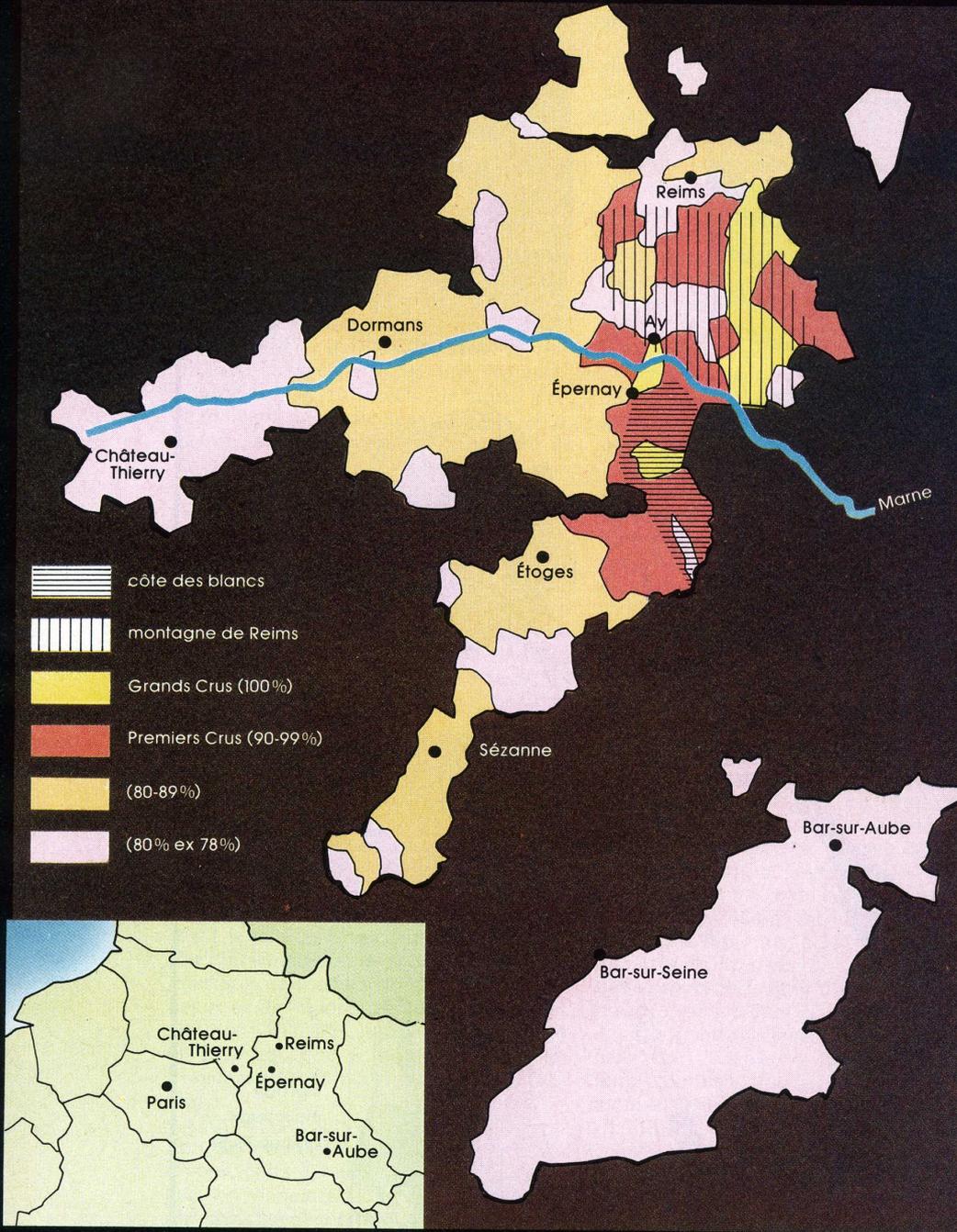


Figure 3. L'aire d'appellation champagne est délimitée par la loi du 22 juillet 1927. Elle est de 34 000 ha dont 26 700 sont actuellement plantés. Le vignoble s'étend en grande partie sur le département de la Marne : coteaux de la montagne de Reims, vallée de la Marne et côte des blancs au sud d'Épernay (représentant 80 % des surfaces plantées). Il se situe également dans le sud du département de l'Aisne (5 % des surfaces plantées) ainsi que dans l'Aube (15 % des surfaces plantées), dans les régions de Bar-sur-Seine et Bar-sur-Aube. Enfin, il y a quelques hectares d'appellation en Seine-et-Marne (9 ha) et en Haute-Marne (2 ha). La vinification en Champagne est exceptionnelle en ce sens que l'on élabore principalement un vin blanc à partir de raisins dont près de 80 % sont des raisins noirs. Trois cépages sont presque exclusivement admis pour l'appellation champagne : deux sont à base de raisins à pellicules noires (le pinot noir et le pinot meunier) et un de raisins à pellicules blanches (le chardonnay). Ce dernier représente près de 25 % des surfaces plantées, principalement dans la côte des blancs. La côte des blancs est une falaise qui s'allonge sur une vingtaine de kilomètres, selon une direction nord-sud. Les grands crus, en particulier de Cramant et d'Avize, se situent sur une pente faisant face à l'est. Le pinot noir se trouve surtout sur la montagne de Reims, vaste plateau de 20 à 25 kilomètres de longueur sur 8 à 12 kilomètres de largeur, situé au sud de Reims. Les principaux crus sont situés sur les pentes orientées vers l'est et le sud. Le pinot meunier, plus rustique, moins sensible aux gelées de printemps, est planté dans la vallée de la Marne : d'Épernay à Dormans et jusqu'à Chateau-Thierry. Une échelle des crus, à l'intérieur de la Champagne, fixe le pourcentage de la valeur de chaque cru. Elle est située entre 80 % pour les petits crus (vallée de la Marne, Aisne, Aube) et 100 % pour les grands crus. Elle permet, à la vendange, de déterminer le prix du kilo de raisin à partir du prix fixé par le CIVC pour les crus à 100 %. Les grands crus à 100 % sont en raisins noirs (montagne de Reims) : Ambonnay, Ay, Beaumont, Bouzy, Louvois, Mailly, Puisieux, Sillery, Tours-sur-Marne, Verzenay, Verzy ; en raisins blancs (côte des blancs) : Avize, Chouilly, Cramant, Mesnil-sur-Oger, Oger, Oiry. (D'après M. Dova, l'Encyclopédie des vins de Champagne, Julliard)

Mais le viticulteur influence énormément sur la qualité. Il doit suivre en effet un nombre de règles souvent très contraignantes pour exploiter au maximum les aptitudes du cépage. Il s'agit en particulier de la densité de population qui conditionne en partie la vigueur des pieds de vigne, de l'orientation des plantations, du mode de conduite de la taille et du palissage. Voyons comment se déroule la culture de la vigne au long des saisons.

À la suite des vendanges et durant tout l'hiver, les pieds des jeunes vignes sont généralement recouverts de terre : c'est le buttage qui préserve les plants des gelées de l'hiver. Au cours de cette période, les terrains sont amendés avec différents engrais et composts et la vigne est rognée subissant une première taille des charpentes et des sarments inutiles.

À la fin de l'hiver, en février-mars, a lieu la taille proprement dite de la vigne. Réalisée de différentes façons selon le cépage et le cru, elle consiste à supprimer une partie des sarments, l'objectif étant de limiter la production afin de préserver un rendement moyen compatible avec les conditions difficiles de culture dans cette zone septentrionale. Les types de taille sont parfaitement réglementés par l'Institut national des appellations d'origine des vins et eaux de vie qui précise le nombre de charpentes et de bourgeons à conserver. La taille la plus répandue est le coridon de Royat sur le pinot noir et dans quelques crus de meunier. La taille Chablis est réservée presque exclusivement aux chardonnays. La sortie des bourgeons se fait en mars-avril, c'est le « débourrement ». À cette époque, les risques de gelées peuvent provoquer des dégâts importants. La floraison a lieu le plus souvent dans la seconde quinzaine de juin. Cette période nécessite un temps chaud et ensoleillé au risque sinon de perdre une partie du potentiel de la récolte par absence de fécondation (ou « coulure »).

À partir de juin, les sarments sont palissés, c'est-à-dire maintenus dans une position verticale, et les bourgeons terminaux sont supprimés pour faire profiter les grappes du maximum d'ensoleillement et limiter la compétition entre la croissance végétative et le développement des grappes. L'importance de cette opération est d'ailleurs soulignée par certains travaux mettant en évidence l'influence des conditions microclimatiques sur les constituants organoleptiques du vin. Au cours de ces périodes, la vigne est l'objet de différents traitements (fongicides et insecticides) de façon à la protéger des divers parasites susceptibles de causer des dégâts importants. Certains d'entre eux sont redoutables comme le célèbre phylloxera, un puceron introduit d'Amérique qui ravagea à la fin du siècle dernier la plus grande partie des vignes européennes (*Vitis vinifera*) en s'attaquant à leurs racines. Fort heureusement, le vignoble européen fut sauvé de la destruction en greffant les cépages de *Vitis vinifera* sur des porte-greffes résistants d'origine américaine. En Champagne, la

reconstitution du vignoble s'effectua de la même manière, en recourant à des porte-greffes américains (*Vitis riparia*, *Vitis berlandieri*, etc.).

La lutte contre le phylloxera marqua un tournant important dans le mode de conduite de la vigne en Champagne. Cette époque vit également un changement important en ce qui concerne l'amélioration de la culture de la vigne. A partir de ce moment-là, en effet, les viticulteurs accordèrent plus d'intérêt au choix des meilleurs porte-greffes et des meilleurs greffons, retenant pour la descendance correct, une productivité satisfaisante..., éliminant les moins vigoureux. Progressivement, ce travail de sélection des cépages s'est généralisé. Jusqu'à ce jour, il a permis des progrès importants, renforcés bien évidemment par l'amélioration des techniques de culture (mécanisation, désherbage, traitement de maladies, fumure organique,...). Mais cette forme de sélection dite « massale », bien qu'encore utilisée, est très empirique. Elle tend actuellement à être remplacée par une méthode plus systématique, fondée sur une meilleure connaissance des variétés : la « sélection clonale », réalisée en Champagne par des organismes professionnels comme le Comité interprofessionnel du vin de Champagne (CIVC). Elle consiste à individualiser des souches, sur la base d'un certain nombre de critères, pour les multiplier séparément et former des « clones ». A toutes les étapes, des analyses sont effectuées : suivis morphologiques, contrôle sanitaire, analyses des vins, dégustations... Il faut environ quinze ans entre le repérage des pieds dans le vignoble et l'agrément des clones constitués avant leur diffusion.

Depuis de nombreuses années, les techniques de culture *in vitro* sont apparues, offrant des possibilités intéressantes pour l'amélioration du matériel génétique en général. Appliquée depuis peu à la vigne, notamment grâce aux travaux de la station de physiopathologie végétale de l'Institut national de la recherche agronomique (INRA) de Dijon, la culture *in vitro* consiste à prélever un fragment de tige possédant un bourgeon et à le placer dans un milieu de culture aseptique pour régénérer une nouvelle plante dans des conditions contrôlées de lumière et de température. Cette petite plante est ensuite fragmentée en autant de microboutures qu'il y a de bourgeons formés. L'opération étant répétée plusieurs fois, elle permet d'obtenir en un an quelque cent mille descendants à partir d'un seul bourgeon, tous identiques à la plante-mère (fig. 4) (voir « La culture des plantes en éprouvette » dans notre numéro de novembre 1984). Les plantes issues de la culture *in vitro* sont ensuite réadaptées aux conditions extérieures et greffées en serre. Ainsi cette méthode autorise une multiplication rapide, en laboratoire, donc à l'abri des intempéries et dans un minimum de place, des plants de vigne (greffons et porte-gref-

fes). Elle peut aussi s'envisager pour l'amélioration sanitaire du matériel. Par exemple, si une maladie virale est détectée, les microboutures produites *in vitro* peuvent être soumises à des températures élevées. Cette méthode de guérison par thermothérapie s'est en effet révélée efficace chez différentes espèces végétales, comme la pomme de terre, pour éliminer certaines maladies virales (voir « La pomme de terre » dans notre numéro de février 1986).

Le laboratoire de viticulture de la société Moët et Chandon s'intéresse depuis quelque temps aux différentes applications de la culture *in vitro*. Celle-ci devrait permettre de mieux maîtriser la production et l'état sanitaire des plants de vigne champenois (cépages et porte-greffes), nécessaires au renouvellement du vignoble. Toutefois, le préalable à une utilisation industrielle d'une telle méthode d'obtention des plants de vigne est d'en déterminer l'intérêt technologique et économique. Depuis plus d'un an, des vignes issues de la culture *in vitro* font l'objet d'une expérimentation à grande échelle, afin de vérifier la conformité des cépages traditionnels ainsi multipliés.

Par ailleurs, la conservation du patrimoine végétal, représenté notamment par les clones actuels des cépages champenois, pourrait être facilitée par les conditions de la culture en laboratoire, qui prend peu de place et n'est pas tributaire des agents pathogènes et des aléas climatiques. Des collections de ce type existent déjà pour d'autres espèces végétales (voir « La conservation des ressources végétales dans notre numéro d'octobre 1986). Un conservatoire de la vigne pourrait être le point de départ d'une multiplication rapide des greffons ou porte-greffes en cas de nécessité. Parallèlement à ces travaux, mais en relation étroite avec différents laboratoires de recherche publique dans le cadre du Programme national Vigne (laboratoire de biotechnologie végétale, à l'Ecole nationale supérieure agronomique de Toulouse, laboratoire d'amélioration des plantes à l'université d'Orsay, laboratoire de botanique appliquée à l'université de Dijon, station de recherche viticole, à l'INRA de Villeneuve-les-Maguelonnes), une étude a été entreprise concernant la variabilité des cépages champenois à l'aide de techniques comme l'embryogénèse somatique. Dans ce cas, on cherche à régénérer, à partir d'un petit massif de cellules, des plantes entières, dont certaines pourraient présenter des caractères différents du cépage de départ. Cette voie, qui en est au stade de l'exploration, serait beaucoup plus rapide pour créer de nouvelles variétés que la méthode classique consistant à croiser deux variétés puis à sélectionner la descendance.

Le temps des vendanges.

Revenons à la vigne dans son milieu « naturel ». Le raisin a mûri pendant l'été, il est prêt à être cueilli. C'est le temps des



Figure 4. Depuis peu, la vigne fait l'objet d'études pour sa culture *in vitro*. Celle-ci consiste à prélever un fragment de tige possédant un bourgeon et à le placer dans un milieu de culture aseptique pour régénérer une nouvelle plante dans des conditions contrôlées de lumière et de température. Cette petite plante est ensuite fragmentée en autant de microboutures qu'il y a de bourgeons formés. L'opération étant répétée plusieurs fois, elle permet d'obtenir en un an quelque cent mille descendants issus de la même plante mère. Cette méthode, encore expérimentale pour la vigne, autorise donc une multiplication rapide, en laboratoire, à l'abri des intempéries, des plants de vigne intéressants. D'autres applications de la culture *in vitro* sont envisagées pour la vigne : guérison de maladies virales, amélioration génétique des cépages, banques de gènes, etc. (Cliché Moët et Chandon)

vendanges qui débutent en Champagne généralement entre la fin septembre et le début octobre et dure deux à trois semaines. Elle est réalisée de façon manuelle, les machines à vendanger étant interdites en Champagne car la pellicule du raisin pourrait être plus ou moins détériorée par les chocs mécaniques, ce qui provoquerait un début d'extraction des matières colorantes.

Les grappes coupées et débarrassées de leurs feuilles sont transportées rapidement au pressoir. Le pressurage est normalement effectué dans les heures qui suivent la cueillette. Le pressoir traditionnel champenois contient 4 000 kilos de raisin ; il est de forme carrée ou circulaire de trois mètres de diamètre ; son pourtour et son fond sont munis de claies permettant l'écoulement rapide du jus de raisin, ce qui limite les risques d'extraction des substances colorantes. Il n'y a pas de support filtrant, mais filtration au travers du gâteau formé par les grappes, rafles, pellicules, etc. (fig. 2).

Le pressurage dure quatre heures environ. Les dix premières pièces s'écoulent, soit 2 050 litres (la pièce est le nom donné autrefois aux tonneaux contenant 205 litres en Champagne et dont on se sert encore comme unité de mesure) : elles constituent la cuvée. Il s'agit du jus le plus noble et le plus apte à donner un champagne de bonne qualité. Les trois dernières pièces (deux pièces dites de première taille et une pièce de deuxième taille), représentent un jus de moins bonne qualité (moins acide, plus riche en polyphénols et tannins provenant d'un début d'écrasement des rafles). Elles donnent des vins plus corsés qui ne seront pas utilisés pour la préparation des champagnes de haut de gamme. Le résidu de cette filtration restant dans le pressoir est appelé marc. Il est envoyé à la distillation pour être transformé en alcool, dont une partie permet d'élaborer le marc de champagne.

Pour des raisons qualitatives, les appareils pressurant le raisin en continu sont interdits en Champagne. Depuis quelques années, de nouveaux pressoirs sont apparus, soit des pressoirs horizontaux à plateaux et à vis sans fin autorisés officiellement par le CIVC depuis 1971, soit des pressoirs horizontaux pneumatiques comprenant un tambour horizontal muni d'une vessie gonflée à l'air et permettant d'écraser les raisins. L'avantage de ces nouveaux types de pressoirs est l'automatisation de leur conduite, pratiquement impossible à réaliser sur le pressoir traditionnel. Dans tous les cas, il est nécessaire de maintenir un fonctionnement relativement lent du pressoir, une conduite trop rapide provoquant une plus forte extraction de bourbe (matières insolubles du moût) et un pressurage plus important des rafles entraînant des teneurs en potassium plus importantes, un pH plus élevé, etc., avec comme conséquence une moins bonne stabilité chimique et biologique du champagne.

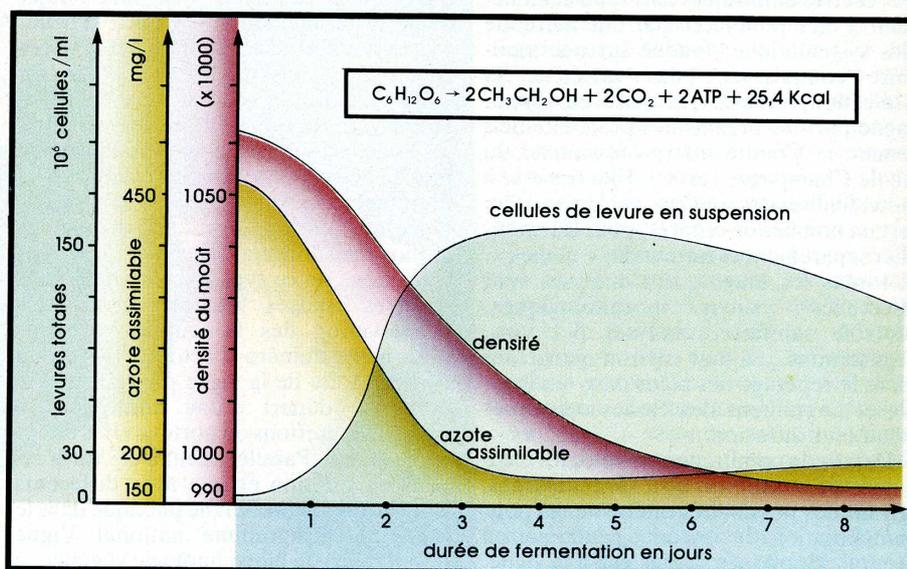
À l'issue du pressurage, on obtient donc

un jus, ou moût, qu'il est nécessaire de clarifier. Il contient en effet de nombreuses matières amorphes et organiques en suspension (pépins, terre, microorganismes, etc.). Sont également présentes de nombreuses enzymes, dont certaines sont susceptibles d'entraîner des modifications défavorables à la vinification. Ainsi en est-il des phénols oxydases qui peuvent provoquer ultérieurement dans le vin de Champagne, comme dans tous les vins, la « casse oxydasique » aussi appelée « casse brune », à l'origine d'un précipité brun. Il s'agit de l'oxydation de composés essentiels du raisin, les phénols. Deux types de phénols oxydases, dont on va chercher à inhiber l'activité dès le pressurage, sont impliqués : d'une part des tyrosinases ou catéchols oxydases, éléments constitutifs du tissu cellulaire de la baie de raisin, qui sont libérés lors du pressurage sous forme soluble et sous forme particulaire liées à la baie ; d'autre part, des laccases, également solubles, d'origine fongique, secrétées en particulier par le champignon

dans une cuve appelée belon où il va subir pendant dix à vingt heures une clarification naturelle appelée débouillage statique, permettant de décanter l'essentiel des matières en suspension (fig. 2). Ce débouillage peut être facilité, selon la qualité de la vendange à traiter, par l'emploi d'adjuvants divers (bentonite, tannins, enzymes pectolytiques, etc.). D'autres types de traitements existent (clarification par centrifugation ou filtration sur Kieselguhr) ; mais ils peuvent gêner le déroulement des fermentations ultérieures, par exemple en éliminant certaines bactéries nécessaires à la vinification ultérieure. Aussi, le débouillage statique en présence de SO₂ reste le plus souvent la règle.

Deux fermentations successives pour transformer le jus de raisin en vin.

Le jus débouillé est ainsi prêt pour la fermentation. La première des fermentations, la fermentation alcoolique, est une



Botrytis cinerea responsable de la pourriture qui se développe sur les raisins lorsque les conditions climatiques sont défavorables.

Afin de limiter l'oxydation des moûts, un sulfitage est réalisé en continu sur le jus s'écoulant du pressoir. Ce traitement à base d'anhydride sulfureux (SO₂) a également pour but de limiter le développement de la flore indigène, principalement les levures sauvages, susceptibles de gêner l'implantation des cultures de levures sélectionnées pour la fermentation, nous y reviendrons. Le jus est ensuite récupéré

étape essentielle de la transformation du raisin en vin. Elle a lieu sous l'action des enzymes des levures qui convertissent les sucres du moût en alcool et en gaz carbonique. Une faible partie des sucres est transformée en composés divers (acides aminés, acides organiques, esters, alcools supérieurs, etc.) qui vont contribuer aux qualités organoleptiques du vin (fig. 5).

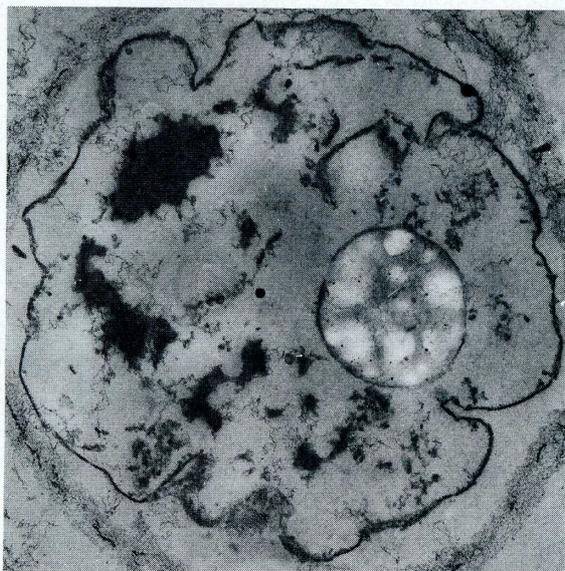
Les cuves de fermentation ont des volumes très variables pouvant atteindre maintenant mille à deux mille hectolitres, alors qu'autrefois la fermentation se déroulait dans des foudres en bois de quelques cen-

(1) P. Barre, *Bulletin de l'O.I.V.*, 57, 635, 1984.
(2) S. Lafon-Lafourcade et al., *App. Environ. Microbiol.*, 38, 1069, 1984.
(3) F. Larue et al., *Connaissance de la vigne et du vin*, 18, 155, 1984.

taines de litres. Par la suite, les cuves en béton ou en acier vitrifié sont apparues pour être remplacées dans les années 1960 par des cuves en acier inoxydable, munies d'une double enveloppe dans laquelle circule un liquide de réfrigération permettant de maintenir à la température optimale le jus en fermentation. Celui-ci est éventuellement chaptalisé à l'aide de sucre de canne ou de betterave selon la législation en vigueur, de façon à obtenir, en fin de fermentation alcoolique, un degré alcoolique proche de 11 °C. En Champagne en effet, lorsque les étés sont peu ensoleillés, la maturation peut être insuffisante et la concentration en sucre dans le raisin trop faible. Comment se déroule la fermentation alcoolique ? Autrefois, les viticulteurs avaient pour habitude de laisser faire spontanément la flore indigène présente dans le jus de raisin. Celle-ci est pour l'essentiel composée de *Saccharomyces*, ainsi que de *Candida* et de *Kloeckera*, au nombre d'un millier à un million de cellules de levures par millilitre. L'inconvénient majeur d'une telle pratique est que les fermentations sont souvent incomplètes ; les sucres résiduels peuvent alors être dégradés par des bactéries selon d'autres voies fermentaires en des composés néfastes à la qualité du vin. Aussi, les jus de raisins sont-ils maintenant toujoursensemencés avec des levures de culture pures appartenant à l'espèce *Saccharomyces cerevisiae*. Avec un apport en levures situé entre un et cinq millions de cellules par millilitre, la fermentation alcoolique est réalisée en une semaine environ pour une température de fermentation de 20 °C. Celle-ci varie entre 10 et

organoleptiques qu'elles communiquent au vin au cours de la fermentation alcoolique. La dégustation reste le principal critère de sélection à ce niveau, malgré l'aide apportée par la chromatographie en phase gazeuse.

D'autres critères sont généralement retenus pour la sélection des souches. Elles doivent assurer une fermentation alcoolique de qualité (rapide et totale). Elles doivent posséder le caractère « killer », étudié par P. Barre, au laboratoire d'œnologie de l'INRA de Montpellier, qui consiste en la sécrétion d'une toxine pouvant inhiber l'activité d'autres levures, en particulier celles des levures indigènes⁽¹⁾. Les levures sélectionnées doivent également métaboliser peu de SO₂, celui-ci étant susceptible d'empêcher le développement des bactéries lactiques nécessaires à la seconde fermentation, la fermentation malolactique. De même, elles ne doivent pas développer trop d'acidité volatile qui pourrait donner un goût de vinaigre au vin. En fin de fermentation alcoolique, les



immédiatement la fermentation malolactique. Pour le champagne, elle est le plus souvent recherchée, ce qui n'est pas le cas de tous les autres vins. Elle permet de diminuer l'acidité et l'agressivité des vins. Au cours de cette étape, l'acide malique (un bi-acide) venant du raisin est transformé en acide lactique (un mono-acide), la perte d'une fonction acide s'accompagnant d'une réduction d'acidité. Cette fermentation se déroule généralement de manière spontanée, grâce aux bactéries lactiques appartenant à l'espèce *Leuconostoc oenos* qui arrivent à subsister dans le vin en fin de fermentation alcoolique. Mais les conditions très particulières qui président à ce stade (forte acidité, présence de SO₂, forte teneur en alcool et faible température) ne favorisent pas le développement de bactéries lactiques. Aussi les vinificateurs cherchent-ils maintenant à la provoquer. Elle peut être plus ou moins facilitée en maintenant les cuveries à des températures de l'ordre de 20 °C ce qui est très coûteux en énergie, puis-

Figure 6. La dernière fermentation subie par le vin de champagne se produit en bouteille sous l'action de levures et conduit à la formation de mousse. Pendant des années, le vin de Champagne va rester en contact avec le dépôt de levures qui s'est constitué à la fin de la prise de mousse : il s'agit d'un vieillissement de nature biochimique. Progressivement les levures vont s'auto-détruire sous l'action de leurs propres enzymes (phénomène d'autolyse), libérant des composés pouvant entrer dans la composition du vin.

Cette photographie prise au microscope électronique montre une levure autolysée après neuf ans de contact avec le vin. On peut reconnaître la membrane nettement détachée de la paroi cellulaire. Un des organites de la cellule de levure, le réticulum endoplasmique, s'est transformé en larges citernes à contenu homogène. Ce type de document doit servir à mieux comprendre l'évolution des levures et les nombreux échanges qu'elles établissent avec le vin, permettant à ce dernier d'acquérir des qualités organoleptiques complémentaires. Ces travaux sont réalisés par R. Calvayrac, au laboratoire des membranes biologiques à Paris VII, en collaboration avec Moët et Chandon. (Cliché Labo-membranes biologiques, Paris VII)

levures, dont la concentration cellulaire atteint un maximum de l'ordre de cent cinquante millions de cellules par millilitre, ont tendance à décanter et perdent leur activité.

Avec ces conditions de travail, les arrêts ou les fins de fermentation difficiles sont de plus en plus rares. Toutefois, les études se poursuivent pour améliorer la maîtrise de cette fermentation. Les travaux réalisés ces dernières années par l'équipe de P. Ribereau-Gayon et S. Lafon à l'Institut d'œnologie de l'université de Bordeaux II et à l'INRA, ont ainsi permis de mettre en évidence le rôle inhibiteur sur l'activité des levures des acides décanoïque et dodécanoïque produits au cours de la fermentation⁽²⁾. Plusieurs solutions ont été envisagées par ces mêmes auteurs, telle que l'utilisation d'« écorces » de levures (leurs parois) pour absorber ces acides organiques et limiter ainsi leur action néfaste sur le processus de vinification⁽³⁾.

A la fermentation alcoolique, succède

que, à cette époque, nous sommes généralement en novembre. Ceci explique pourquoi, surtout autrefois, cette fermentation était très longue à démarrer ; le plus souvent, elle débutait avec le retour des températures douces du printemps.

Pour tenter de déclencher rapidement la fermentation malolactique, des équipes allemandes, américaines, australiennes, françaises, etc. ont cherché à ensemencer les vins avec des cultures de bactéries *Leuconostoc oenos*. Malheureusement, les conditions dans lesquelles les bactéries réalisent cette fermentation sont complexes et mal connues, si bien que les biomasses multipliées sur milieu synthétique en laboratoire s'adaptent très difficilement au vin. Une méthode intermédiaire, développée par A. Parenthoen chez Moët et Chandon, consiste à bloquer par le froid, chaque année, des cuves ayant bien démarré la fermentation malolactique⁽⁴⁾. Conservées à - 2 °C pendant tout l'hiver, les cuves sont réchauffées progressive-

(4) A. Parenthoen, *Revue française d'œnologie*, 84, 47, 1981.

ment quelques semaines avant les vendanges suivantes, ce qui permet de réactiver les bactéries, de terminer les fermentations, et de disposer ainsi d'une population de bactéries en pleine activité pour ensemençer les vins de la nouvelle année.

D'autres travaux sont en cours pour essayer de maîtriser la fermentation malolactique. En particulier, M. Feuillat, au laboratoire d'œnologie de l'université de Dijon s'attache à identifier certains peptides contenus dans le vin susceptibles de favoriser le développement de la flore bactérienne⁽⁵⁾. A l'inverse, D.A. Pilone et B.C. Rankine en Australie, C.S. Ough et R.E. Kunkee, aux Etats-Unis, ont mis en évidence l'effet inhibiteur sur cette fermentation de l'acide fumarique présent dans le vin^(6,7). Mais ces études n'ont pas encore reçu d'application. La maîtrise de la fermentation malolactique trouvera-t-elle une solution dans le génie génétique ? C'est la voie actuellement explorée par plusieurs équipes, en France en particulier, à l'Institut national d'agronomie de Paris-Grignon, à l'INRA de Montpellier et à l'Institut d'œnologie de Bordeaux. L'idée est d'isoler de bactéries lactiques, le gène codant pour l'enzyme malolactique responsable de la fermentation malolactique, afin de l'intégrer dans des levures du type *Saccharomyces*. Celles-ci seraient donc capables d'effectuer la fermentation malolactique en plus de la fermentation alcoolique. Il n'y aurait donc plus qu'un seul ensemencement à réaliser. Ces travaux n'en sont actuellement qu'à leur début.

Marier les cépages.

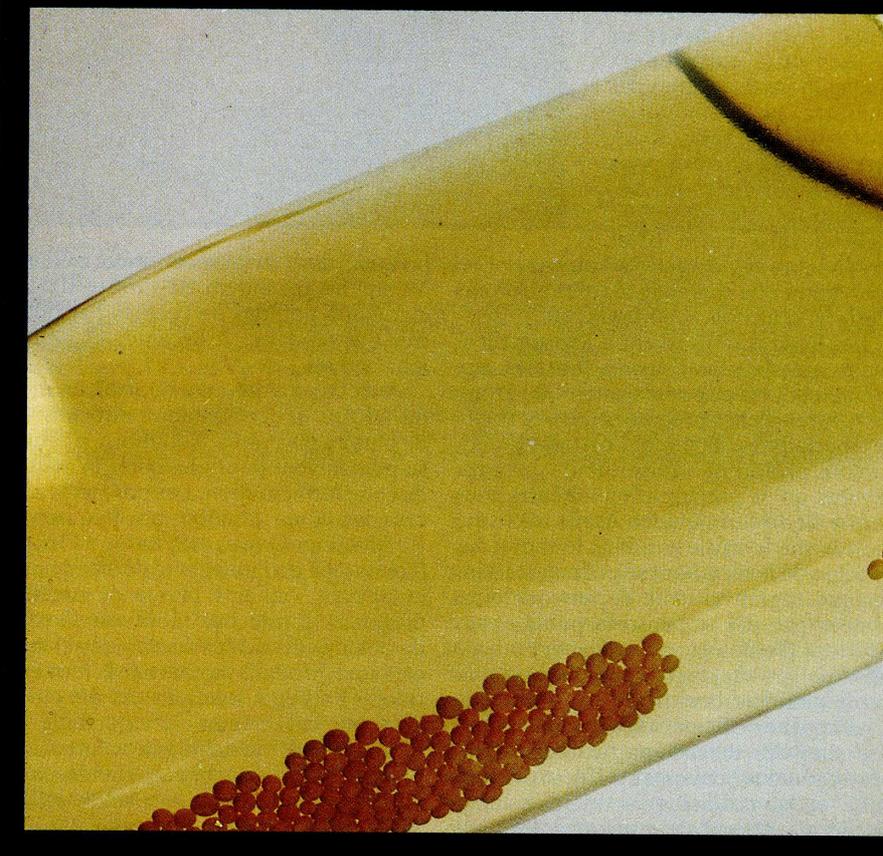
A l'issue de ces deux fermentations, ou parfois entre ces fermentations, les vins sont soutirés. Cette opération consiste à transvaser les vins d'une cuve à une autre

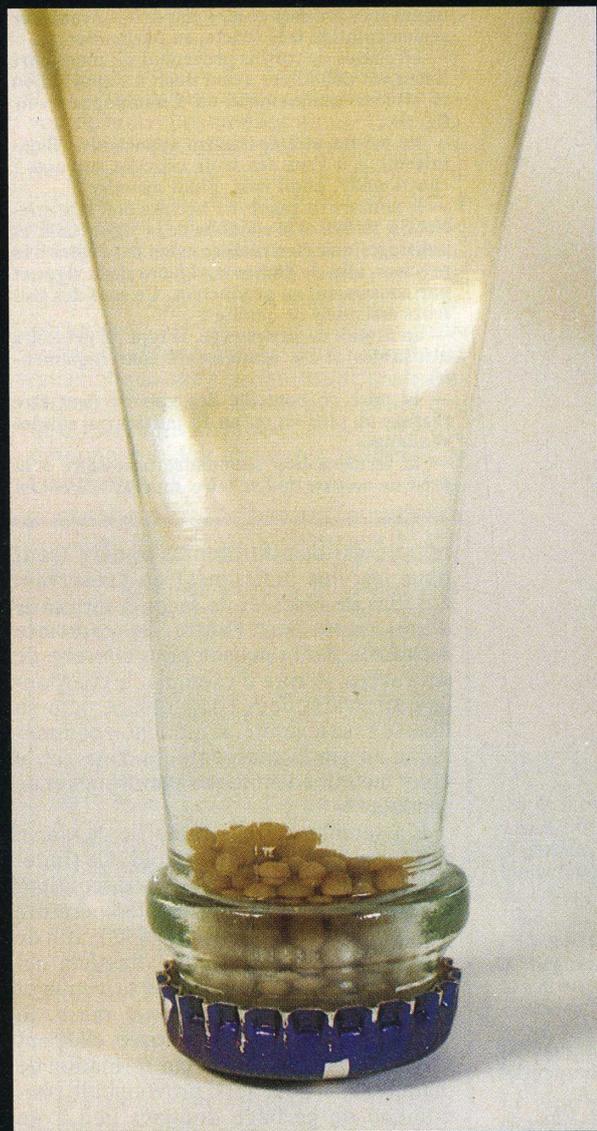
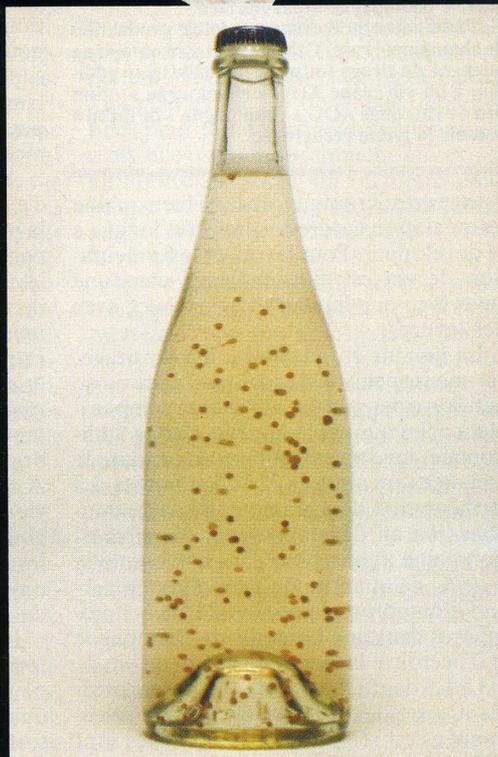
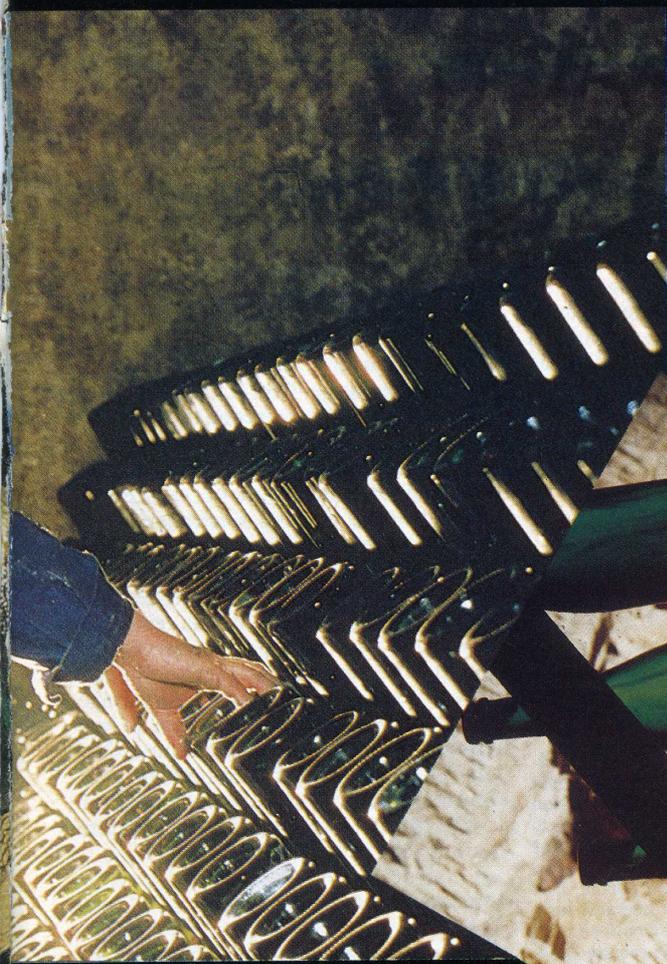
Figure 7. En fin d'élaboration du vin de Champagne, il subsiste un dépôt constitué de levures qui doit être éliminé. La méthode champenoise classique consiste à incliner les bouteilles et à les remuer chaque jour pendant un à deux mois (photos du haut). Le dépôt finit par se concentrer dans le col ; après avoir été congelé, il est expulsé lorsque la bouteille est ouverte. Mais cette opération de remuage est particulièrement contraignante et coûteuse. Aussi les spécialistes ont cherché le moyen de la simplifier. Le remuage mécanique existe, mais n'est pas totalement satisfaisant. Les travaux de l'INRA et de l'ESBANA, à Dijon, puis ceux de Moët et Chandon et du CIVC ont permis de mettre au point au laboratoire un nouveau procédé. Les cellules de levures destinées à réaliser la prise de mousse sont incluses dans des petites billes d'alginate (photos du bas). Celles-ci, placées dans la bouteille, ont des mailles suffisamment larges pour permettre aux sucres du vin d'être assimilés par les levures et aux composés libérés par les levures de passer en solution dans le vin, contribuant à ses caractéristiques organoleptiques. Les billes étant légèrement plus lourdes que le vin, elles se concentrent en quelques minutes dans le col de la bouteille, ce qui représente au remuage un gain de temps considérable. Les champagnes obtenus sont parfaitement limpides car les levures incluses restent bloquées dans la matière d'alginate. Le développement de ce procédé à grande échelle est à l'étude. (Clichés Moët et Chandon).

(5) M. Feuillat, C.R. Acad. Sc. Paris, 285, 1013, 1977.

(6) G.J. Pilone, in *Lactic acid bacteria in beverages and foods*, J.G. Carr et al. (eds), Academic Press, 1975.

(7) C.S. Ough, R.E. Kunkee, *Am. J. Enol. Vitic.*, 25, 188, 1974.





afin de limiter les contacts avec les lies déposées en fin de fermentation, constituées de levures, de bactéries, du tartre et d'autres matières solides.

C'est à ce stade que les vins vont subir au laboratoire une analyse complète des sucres restants, du taux d'alcool, de l'acidité volatile, des acides organiques, du SO₂, etc. Chaque cuve sera dégustée afin d'examiner sa qualité et de définir la composition des différents assemblages destinés à préparer les cuvées caractéristiques de chaque maison. En effet, contrairement à la plupart des grands vins, le champagne est un vin d'assemblage, c'est-à-dire que l'on va chercher à marier les caractéristiques des différents cépages, des diffé-

tion de dégorgement. Après le traitement au froid, les vins sont généralement filtrés (sur des filtres à Kieselguhr ou cartons) permettant d'obtenir un produit brillant, débarrassé des dernières matières organiques ou amorphes restées en suspension. Ces différentes opérations de traitement physique devraient, dans les années à venir, profiter des progrès réalisés dans les domaines de la filtration sur membrane, de la filtration tangentielle, etc.

Nous voici parvenus à l'étape caractéristique de l'élaboration du champagne : la prise de mousse. Il s'agit d'une seconde fermentation alcoolique qui se déroule en bouteille. A ce stade de la vinification, le vin, s'il n'est stérile, est toutefois peu

cool que les *Saccharomyces cerevisiae* de la première fermentation alcoolique. Les levures sont également commercialisées sous forme de levures sèches ou multipliées sous forme de levain liquide. Dans les deux cas, il est nécessaire d'adapter préalablement les différentes préparations de levures aux conditions très strictes de cette prise de mousse réalisée dans les caves crayeuses de la Champagne (teneur en alcool de 11° - 11,5°, pH de 3,1 à 3,3, température de 11 à 13 °C, etc.).

Le vin additionné de liqueur et de levures est immédiatement tiré, c'est-à-dire mis en bouteille, de façon à ne pas provoquer un début de fermentation dans la cuve de mélange (fig. 2). Cinq à huit semaines sont nécessaires au déroulement de la fermentation en bouteille. Les bouteilles sont stockées, couchées dans les caves. Après une semaine environ, la population de levures s'est développée (elle passe de un million à dix millions de cellules par millilitre). Lorsque la fermentation en bouteille est terminée, les levures, qui étaient plus ou moins restées en suspension dans le vin, se déposent sur le fond de la bouteille. Différents adjuvants peuvent être ajoutés dans le vin au tirage soit pour stimuler la fermentation en bouteille (phosphate biammonique, thiourée), soit pour faciliter le remuage ultérieur nécessaire à l'expulsion du dépôt de levure formé (colle protéique, bentonite, tannins, alginates, etc.).

L'APPELLATION CHAMPAGNE

En 1985, 195 000 000 de bouteilles de champagne ayant l'Appellation d'origine contrôlée (AOC) ont été commercialisées. Pour qu'un vin puisse s'appeler « champagne », il faut qu'il soit produit, vinifié, manipulé et habillé en Champagne.

Toutefois, pour obtenir cette appellation, les vins doivent répondre à diverses caractéristiques très précises et être élaborés suivant une réglementation très stricte, en particulier :

— être issus de raisins provenant de zones parfaitement délimitées ayant droit à l'appellation et situées uniquement en Champagne (voir fig. 3) ;

— les raisins utilisés doivent appartenir obligatoirement à l'un des trois cépages suivants : chardonnay, pinot noir, pinot meunier ;

— le nombre de plants à l'hectare doit être inférieur à 10 000 et la conduite de la vigne (taille et palissage) doit être réalisée selon des règles très précises, afin de limiter la vigueur de la vigne et par conséquent sa production. Ce sont des facteurs essentiels de qualité ;

— au niveau du pressurage, le type de pressoirs utilisables et les rendements sont réglementés ;

— la mise en bouteille des vins ne peut être réalisée au plus tôt qu'au 1^{er} janvier qui suit les vendanges ;

— la fermentation secondaire nécessaire à la prise de mousse doit se faire impérativement en

bouteille, sans transfert ultérieur dans une autre bouteille ;

— pour une cuvée courante, la durée du séjour du vin en bouteilles dans les caves est d'au moins un an et de trois ans pour les cuvées millésimées ;

— chaque cuvée ne peut obtenir l'appellation champagne qu'après dégustation par une commission spécialisée de l'Institut national des appellations d'origine des vins et eaux de vie (INAO) ;

— la production est fixée chaque année par décision de l'INAO et du comité interprofessionnel du vin de Champagne (CIVC). Cette décision tient compte des conditions de l'année et de la qualité de la vendange. L'appellation d'origine « champagne » correspond à 9 000 kilos de raisin par hectare. Celle-ci peut être portée, certaines années, à 13 000 kilos par hectare, lorsque les conditions sont particulièrement favorables. C'est ainsi que pour la récolte 1984, le rendement limite à l'hectare a été fixé à 12 600 kilos de raisin, soit, à raison de 100 litres de vin pour 150 kilos de raisin, 84 hectolitres de vin AOC « champagne » par hectare.

Il faut noter qu'il existe une faible production de champagne rosé. Celui-ci peut être obtenu au moment du tirage (mise en bouteille) par addition de du vin blanc AOC « champagne », d'un peu de vin rouge AOC « champagne » de façon à obtenir la teinte recherchée.

rents crus, des différentes années (sauf pour les vins millésimés) en conservant des vins de réserve, de façon à retrouver d'une année sur l'autre, le caractère recherché par la maison pour chacune de ses cuvées. A titre d'exemple, le chardonnay intervient dans l'assemblage pour sa finesse et sa légèreté, le pinot noir communie au vin la charpente, le corps, et le pinot meunier des aspects plus fruités et de rondeur.

L'assemblage définitif réalisé, le vin va subir une stabilisation au froid. Ce traitement, réalisé en continu ou discontinu, consiste à porter le vin à une température proche de sa congélation (- 4 °C), afin de cristalliser le bitartrate de potassium qui s'est formé à partir de l'acide tartrique et du potassium contenu dans le raisin. Si cette opération n'est pas réalisée, elle peut gêner le remuage du vin par formation de plaques. Elle peut aussi provoquer le phénomène de gerbage donnant lieu à un dégazage intempestif au cours de l'opéra-

chargé en microorganismes, si bien qu'une fermentation naturelle serait très longue à se développer. Pour favoriser la fermentation, le vin est alors mélangé dans une cuve avec une liqueur etensemencé avec des levures.

La liqueur en question, dite de tirage, est une suspension de sucre de canne ou de betterave dans un vin, de qualité comparable à celui auquel la liqueur va être additionnée. La concentration en sucre dans le mélange sera alors de 22 à 25 grammes. La fermentation de 4 grammes de sucre donnant lieu au développement d'une pression d'une atmosphère dans une bouteille à 10 °C, la quantité de sucre ajoutée permet d'obtenir une pression de 5 à 6 atmosphères dans une bouteille de champagne et d'accroître la teneur en alcool du vin de 1,3 à 1,5 degré. Là encore, un ensemencement avec des souches de levures sélectionnées est réalisé. Mais les souches sont différentes. Ici, il s'agit de souches de *Saccharomyces bayanus* plus résistantes à l'al-

Le champagne aussi vieillit.

« Quand le vin est tiré, il faut le boire » Pas tout à fait car pour avoir l'appellation champagne, le vin doit rester au minimum un an en bouteilles, avant commercialisation pour les cuvées courantes, et trois ans pour les cuvées millésimées. Pour des raisons qualitatives, ces durées sont généralement plus importantes : deux à trois ans pour les cuvées courantes, cinq à six ans au moins pour les cuvées spéciales.

Au cours de cette longue période, c'est l'un des aspects qui le différencie de la plupart des autres vins, le vin de Champagne va rester en contact avec le dépôt de levures qui s'est formé à la fin de la prise de mousse. Les levures vont progressivement s'auto-détruire sous l'action de leurs propres enzymes (phénomène d'autolyse). De nombreux échanges vont alors se réaliser entre les levures et le vin permettant à ce dernier d'acquiescer des qualités organoleptiques complémentaires (fig. 6). A ce vieillissement d'origine biochimique vient se juxtaposer un vieillissement d'origine chimique comparable à celui de tous les vins, rouges et blancs, où une lente oxydation modifie la saveur et le bouquet du produit.

Le vieillissement du champagne sous ces levures reste à ce jour un problème très peu étudié, malgré son importance pour la qualité des produits. Compte tenu de la forte richesse des cellules de levures en protéines, les composés azotés ont été les constituants les plus étudiés pour essayer

(8) M. Feuillat, C. Charpentier, *Am. J. Enol. Vitic.*, 33, 6, 1982.

de suivre l'évolution de l'autolyse. Divers auteurs dont M. Feuillat ont ainsi mis en évidence l'enrichissement du vin en acides aminés excrétés par la levure au cours de l'autolyse, sans toutefois pouvoir relier ce phénomène à une amélioration qualitative du vin⁽⁸⁾.

Si ces résultats sont controversés, il n'en reste pas moins vrai que l'autolyse en bouteille permet à certaines activités enzymatiques (protéases, nucléases, glucanases, etc.) de s'exprimer et de libérer dans le vin différents composés : polypeptides, acides nucléiques, polysaccharides, etc., pouvant avoir une influence sur les qualités organoleptiques du champagne, soit en tant que tel, soit en tant que support d'arômes. Il reste toutefois à qualifier et à quantifier ce phénomène.

Au cours du vieillissement sur lie, la composition en composés volatils des vins de Champagne évolue également. Les composés volatils sont des constituants essentiels de la qualité des vins. Certains sont spécifiques d'un cépage et restent inaltérés. D'autres sont produits lors des différentes fermentations subies par le vin. D'autres enfin apparaissent pendant le vieillissement ; on constate par exemple un enrichissement, en composés volatils tels le méthyl, 2 éthoxy, 2 furane ou le diméthyl 4-5, tétrahydrofurane dione 2-3, responsables d'odeur fruitée ou de noix verte, comme l'a montré D. Loyaux, à l'université de Dijon⁽⁹⁾. Il ne s'agit toutefois que de résultats très parcellaires, car si plusieurs centaines de composés ont pu être identifiés dans les vins ou les champagnes ces dernières années, leur formation, leur importance organoleptique, seule ou en mélange, reste à élucider.

Certains composés volatils peuvent être néfastes selon leur concentration, tels l'H₂S, l'acétate d'éthyle et l'acide acétique, l'isoamylacétate (qui donne un goût de bonbon anglais), l'octénol (champignon moisi), l'aldéhyde benzoïque (amande amère), etc. La plupart de ces défauts peuvent être évités par une bonne maîtrise des fermentations. Enfin, les « goûts de lumière » (dus à différents composés soufrés) peuvent se développer lorsque le champagne est soumis pendant plusieurs heures à l'action des ultraviolets. Le mécanisme de formation des composés responsables de ce défaut est particulièrement étudié par A. Maujean au laboratoire d'œnologie de la faculté des sciences de Reims⁽¹⁰⁾.

Le remuage traditionnel en question ?

Lorsque le champagne est jugé apte à la commercialisation à la suite de nombreuses dégustations, il est nécessaire d'éliminer la levure autolysée qui s'est déposée sur toute la longueur de la bouteille, de façon à obtenir un produit dont la limpidité soit absolument parfaite. Ceci est réalisé au moyen de l'opération de « remuage » destinée à concentrer le dépôt de levure dans le col de la bouteille. Les bouteilles sont donc placées sur des

pupitres en bois, dans une position légèrement inclinée par rapport à l'horizontale. Chaque jour le personnel imprime aux bouteilles une rotation d'un quart ou d'un huitième de tour, tantôt à gauche, tantôt à droite ; simultanément on les redresse légèrement pour les amener progressivement à une position proche de la verticale, col en bas. Ainsi le dépôt glisse peu à peu dans la bouteille vers le col. Il faut un à deux mois pour parvenir à le concentrer, ce qui représente un travail de manipulation très important et nécessite une place considérable en cave (fig. 7).

Pour pallier le coût et la contrainte d'une telle opération, plusieurs solutions ont été proposées ces dernières années. La station œnotechnique de Champagne en particulier a développé un système mécanique conduit par microprocesseurs qui permet de simuler le remuage manuel sur des lots de quelques centaines de bouteilles. Bien que de plus en plus utilisé, le remuage mécanique ne résout pas complètement l'opération de remuage.

D'autres techniques, de nature biochimique, sont actuellement à l'étude. Le CIVC s'attache à rechercher des souches de levures s'agglomérant beaucoup plus facilement après la prise de mousse et lors du remuage, de façon à réduire cette opération à quelques jours. Toutefois, les souches actuellement sélectionnées ne présentent pas toujours les qualités organoleptiques souhaitables. Sur la base de brevets et de travaux effectués à l'INRA de Dijon et à l'Ecole nationale supérieure de biologie appliquée à la nutrition et à l'alimentation (ENSBANA) de Dijon, par C. Divies notamment, d'autres recherches sont menées par Moët et Chandon et le CIVC⁽¹¹⁾. Elles consistent à inclure les cellules de levures dans des petites billes d'alginate qui sont ensuite introduites dans les bouteilles pour réaliser la prise de mousse. Les mailles du gel d'alginate sont assez fines pour retenir les levures à l'intérieur, mais elles sont suffisamment larges pour permettre aux sucres du vin d'être assimilés par les levures, et aux produits libérés par les levures de passer en solution dans le vin (fig. 7).

Les expérimentations actuelles montrent qu'il s'agit d'une technique très prometteuse, puisqu'après deux ans de conservation sur lie, les champagnes obtenus sont comparables aux champagnes témoins. Les billes, légèrement plus lourdes que le vin, se concentrent en quelques minutes dans le col de la bouteille, ce qui représente au remuage un gain de temps considérable. Les champagnes sont parfaitement limpides puisque les levures incluses restent bloquées dans le gel d'alginate. Moët et Chandon et l'Institut œnologique de Champagne cherchent maintenant à développer ce procédé à grande échelle.

Quelle que soit la manière dont s'est concentré le dépôt de levures dans le col de la bouteille, il faut ensuite l'éliminer. Pour ce faire, le col est passé dans une saumure à (- 25 °C) qui congèle le dépôt.

La bouteille est ensuite ouverte et la pression interne de 5 à 6 bars permet d'expulser immédiatement le glaçon contenant le dépôt. Une liqueur d'expédition constituée d'une solution de sucre de canne dans du vin vieux de champagne et parfois d'un peu d'esprit de cognac est aussitôt additionnée au champagne. Cette opération a pour objectif d'améliorer le vin qui sinon est généralement trop sec : il est ainsi dosé en brut, extra-dry, sec, demi-sec et doux. La bouteille est ensuite bouchée à l'aide d'un bouchon en liège introduit par compression et maintenu par l'intermédiaire d'un muselet métallique. Les bouteilles resteront encore quelques semaines en cave pour une bonne homogénéisation de la liqueur d'expédition avant d'être habillées, puis expédiées.

Nous voici donc au terme de la longue et délicate élaboration du vin de Champagne. Depuis quelques dizaines d'années, la recherche en œnologie s'est structurée, en particulier au travers des organismes publics, de façon à faire profiter les élaborateurs de vin des progrès techniques. Tout naturellement, la Champagne vinicole s'est associée à ce mouvement. L'évolution rapide des biotechnologies (culture *in vitro*, génétique des microorganismes, etc.) et des techniques d'analyses notamment a permis d'entrevoir de nouvelles améliorations. Il est probable que des différentes recherches en cours ressortiront certaines applications pratiques. Nous devons donc continuer à être attentifs à cette évolution afin de déterminer dans quelle mesure les innovations peuvent s'adapter à notre métier et nous aider à progresser. Mais il ne peut en aucun cas s'agir de « révolution ». Nous avons la responsabilité d'un patrimoine qui implique une « progression dans la tradition ». Nous ne devons pas oublier que nous élaborons un produit alimentaire traditionnel qui doit demeurer naturel et de grande qualité. ■

Pour en savoir plus

- J. Ribereau-Gayon, E. Peynaud, P. Ribereau-Gayon, P. Sudraud, *Traité d'œnologie, 1972-1977 ; Sciences et techniques du vin*, tomes 1, 2, 3, 4, Dunod Bordas.
- P. Bidan, *Les vins mousseux*. Série synthèses bibliographiques n° 7, CDIUPA, 1975.
- M. Dovaz, *L'encyclopédie des vins de Champagne*, Julliard, Paris, 1983.
- F. Bonal, *Le livre d'or du champagne*, Edition du Grand Pont, 1984.
- P. Bidan, M. Feuillat, J.P. Moulin, « Les vins mousseux, section II, techniques d'élaboration et d'appréciation de la qualité, rapport national de la France », 65^e assemblée générale de l'OIV-Paris, dans *Bulletin de l'OIV*, 59, 562, 1986.
- Moët Hennessy, Colloque amélioration de la vigne et de la culture *in vitro*, Paris, 1985.
- A. Garcia, *Le vin de Champagne*, coll. Que sais-je ?, Presses Universitaires de France, 1986.
- Pour une bibliographie plus complète voir page 1608.

(9) D. Loyaux, Thèse doctorat ingénieur, Université de Dijon, 1980.
(10) A. Maujean, N. Seguin, *Sciences Aliments*, 3, 589, 1983.
(11) P. Couvreur et al., *Le vigneron champenois* 104, 516, 1986.