

PRINCIPAUX PRODUITS INDUSTRIELS ALIMENTAIRES ET BOISSONS

Production du vinaigre

Le vinaigre résulte de la conversion de l'éthanol en *acide acétique* par des **bactéries acétiques**, dont les genres principaux sont les *Acetobacter* et les *Gluconobacter*. Il peut être produit à partir de n'importe quelle substance contenant de l'alcool, mais il l'est généralement à partir de vin, de bière ou de cidre. Quant au *vinaigre d'alcool*, il est produit à partir d'une solution d'alcool pur dans l'eau. Le vinaigre est utilisé comme un agent de saveur dans les salades et comme acidifiant dans de nombreuses conserves en saumure. Son effet antibactérien permet aux viandes et aux légumes marinés du type *pickles* ou cornichons de se conserver très longtemps. Les bactéries acétiques sont strictement aérobies mais ont la particularité, comme les *Gluconobacter*, de ne pas pouvoir oxyder complètement leur donneur organique d'électrons en CO₂ et en eau. Elles utilisent donc l'éthanol comme donneur d'électrons et l'oxydant au moyen des quinones uniquement en acide acétique, qu'elles excrètent dans le milieu ; elles sont par conséquent très tolérantes à l'acidité. Leur demande en oxygène pendant la croissance est très élevée et le problème majeur de la production du vinaigre est l'aération du milieu.

Procédés de production du vinaigre

Il existe trois procédés de production du vinaigre. La *méthode originelle à fût ouvert* est encore utilisée en France : le vin est placé dans des récipients plats avec une grande surface d'exposition à l'air et sa surface se couvre d'un voile de bactéries acétiques. Ce procédé est peu efficace, car la surface de contact bactéries-substrat-O₂ est limitée. La *méthode par ruissellement*, permet d'obtenir un contact optimal entre bactérie, air et substrat en faisant ruisseler par le haut le substrat alcoolique sur un lit non tassé de brindilles de bouleau ou de copeaux de bois, à travers lequel de l'air est insufflé par le bas. C'est un type de *réacteur à fermentation* continue et à bactéries adsorbées sur un support poreux où le contact bactéries-substrat-O₂ est maximal. La durée de vie des copeaux de bois colonisés par ce type de bactéries varie de cinq à trente ans selon le type de substrat utilisé. La *méthode à bullage*, qui est une méthode de fermentation submergée comme pour la production d'antibiotique. Avec une oxygénation adéquate, le rendement de conversion de l'alcool en acide acétique atteint entre 90 et 98 %. Bien que la conversion de l'alcool en acide acétique par voie chimique soit simple, les procédés microbiens de production du *vinaigre* ont été conservés pour des raisons de saveur, car d'autres molécules produites par les micro-organismes y contribuent.

La levure en tant que nourriture et supplément diététique

Les levures font partie des micro-organismes les plus utilisés dans l'industrie. Au-delà de leur importance en panification et en brasserie, elles sont utilisées pour leurs cellules elles-mêmes ou pour les composés extraits de ces cellules. À l'opposé des industries de panification et du brassage, pour lesquelles la fermentation en anaérobiose est favorisée, la production de cellules de levures nécessite une respiration pour une production maximale. C'est *Saccharomyces cerevisiae* qui est utilisée couramment.

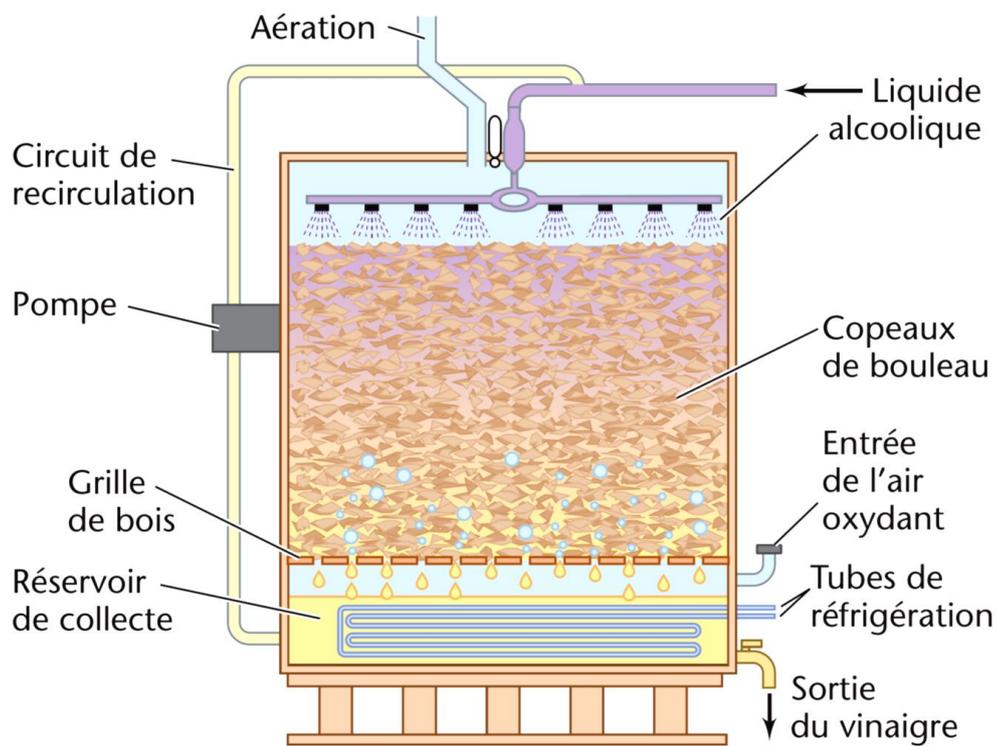


FIGURE Schéma d'un générateur de vinaigre. Le liquide alcoolique est dispersé en douche sur les copeaux de bois, tandis que de l'air est insufflé d'en bas à contre-courant sur les copeaux. Les bactéries acétiques (*Acetobacter*) qui se développent sur les copeaux et transforment l'alcool en acide acétique sont en effet strictement aérobies. La solution d'acide acétique qui s'accumule dans le réservoir de collecte, pour avoir droit à l'appellation de vinaigre, est recyclée sur les copeaux jusqu'à ce que son taux en acide atteigne au moins 4 %.

Production de cellules de levure

Les levures destinées à la production de cellules sont cultivées dans de grands fermenteurs aérés sur des milieux à base de mélasses qui contiennent une grande quantité de sucres comme source de carbone et d'énergie, ainsi que des minéraux, des vitamines et des acides aminés nécessaires à leur croissance. Pour compléter le milieu, on ajoute une source de phosphore et une source d'azote et de soufre. Pour atteindre des volumes de fermenteurs allant de 40 000 à 200 000 litres, plusieurs étapes intermédiaires de mise à l'échelle sont nécessaires. Ajouter toute la mélasse en une seule fois dans le fermenteur aboutirait à un excès de sucre qui serait fermenté en alcool et en CO₂ plutôt qu'en cellules ; aussi la mélasse est-elle ajoutée de façon contrôlée. En fin de croissance, le milieu de culture est éliminé par fermentation et les cellules de levure sont lavées à l'eau et recentrifugées, jusqu'à ce qu'elles soient de couleur claire. La levure de boulanger est vendue sous deux formes : en *cubes de levure humide compressée* ou sous forme de *paillettes*. On fabrique les cubes de levure humide compressée en ajoutant à la levure des agents émulsifiants, de l'amidon et d'autres additifs pour lui donner la consistance et la durée de vie souhaitées. Un cube de levure compressée contient environ 70 % d'humidité et doit donc être conservé au réfrigérateur pour préserver son activité. La levure vendue à l'état sec l'est souvent sous la dénomination de *levure sèche active*. Après mélange avec des additifs, les cellules lavées de levure sont séchées sous vide jusqu'à 8 % d'humidité, puis emballées à l'abri de l'air souvent en sachets et parfois sous atmosphère d'azote pour prolonger leur DLUO. La levure sèche active n'a pas un aussi bon pouvoir levant en boulangerie que la levure fraîche, mais elle a une durée de vie nettement plus longue. La *levure diététique*, vendue comme complément alimentaire sous forme de paillettes, est stérilisée et en général séchée à l'air. Elle est riche en vitamine B et en protéines, mais est carencée en acides aminés soufrés. Elle peut être par exemple ajoutée à la farine de blé ou de maïs pour en augmenter la valeur nutritionnelle.

UTILISATION DES LEVURES ET DE LEURS PRODUITS^a

Production de levure

Levure de boulanger (fabrication du pain)

Levure sèche (supplément nutritionnel humain et animal)

Produits des levures

Extrait de levure (milieux de culture de micro-organismes)

Vitamines B et D

Enzymes : invertase, galactosidase (industrie agroalimentaire)

Produits chimiques pour la recherche : ATP, NAD⁺, ARN

Produits de fermentation de la levure

Éthanol (chimique, industriel, carburant)

Glycérol

Boissons alcooliques

Bière, vin

Boissons distillées

Cognac, whisky, vodka, rhum

^a Voir focus « Les produits de la fermentation de la levure », au chapitre 5, ainsi que les sections 5.10 et 5.13.

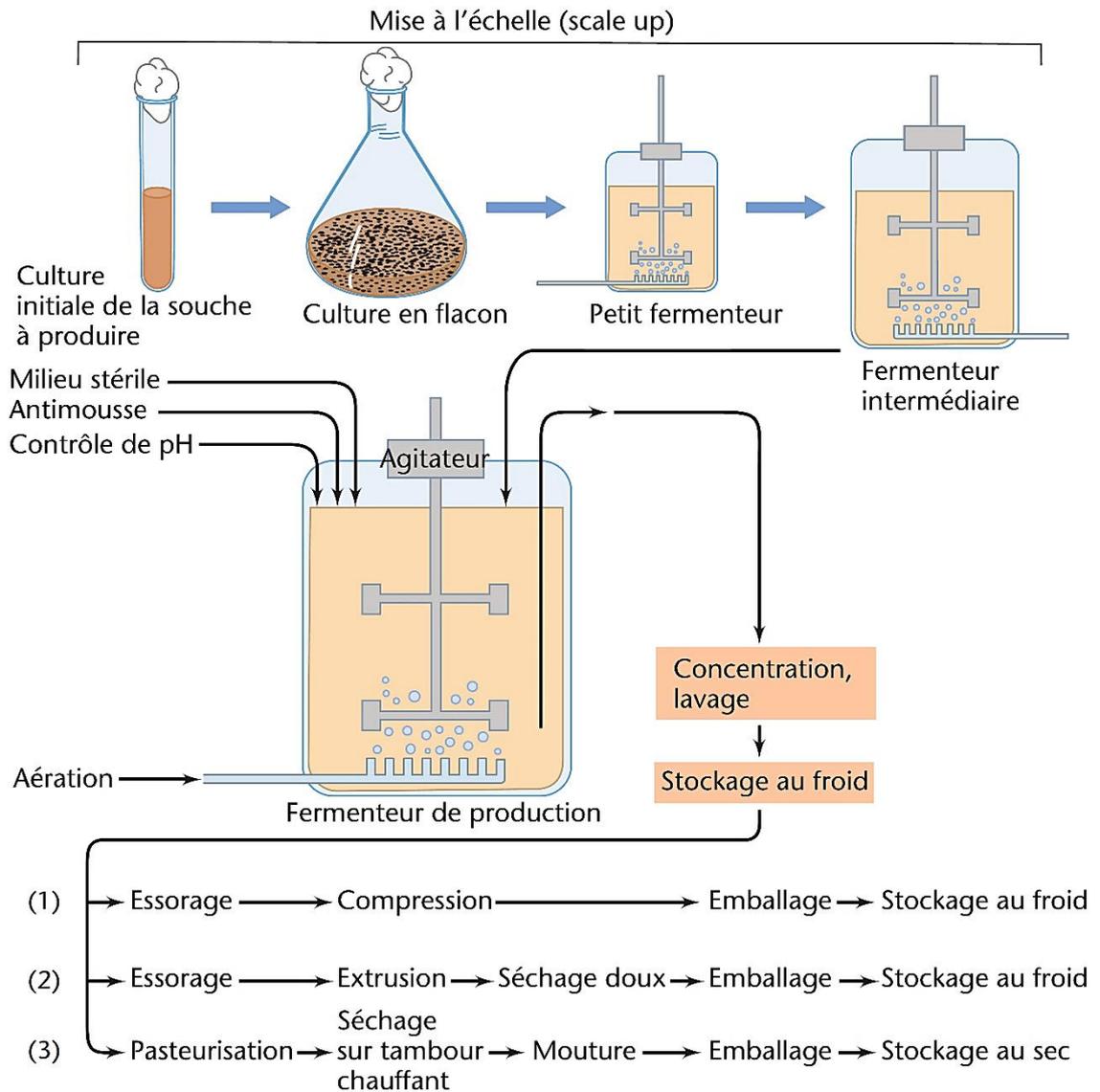


FIGURE Production industrielle de levures. Étapes de production. Des agents antimousse sont ajoutés au fermenteur pour éviter la création d'une mousse excessive en surface due à l'aération et à l'agitation.

Champignons comestibles

Plusieurs espèces de *moisissures* sont consommables par l'homme, dont principalement les champignons comestibles, qui sont un groupe de champignons filamenteux formant de grandes structures appelées fructifications . On appelle commercialement **champignon** cette fructification qui est formée de l'association d'un grand nombre d'hyphes pour constituer ce type de mycélium . La production mondiale de champignons était estimée entre 6 et 8 millions de tonnes en 2004, l'incertitude portant sur la production chinoise de pleurotes et de *shiitake*.

Production commerciale des champignons

Le champignon le plus cultivé au monde est le champignon de Paris *Agaricus bisporus*, un mutant naturel au chromosome double de son cousin sauvage, mis en culture pour la première fois pour Louis XIV au château de Versailles. Il est cultivé sur des *couches* à l'abri de la lumière, dans des caves naturelles ou artificielles dont la température, l'humidité et la proportion d'O₂-CO₂ sont soigneusement contrôlées . Les couches sont réalisées avec un mélange de terre et de matière organique riche de type fumier de cheval, avant *lardage* par des morceaux de *blanc de champignon* composé de mycélium dense pré-cultivé sur un milieu organique riche liquide. Dans la couche, on laisse le mycélium croître et envahir tout le substrat organique. Après plusieurs semaines, il est prêt pour l'étape suivante d'induction de la fructification et de formation des champignons. Pour cela, on ajoute en surface de la couche un *lit de gobetage* constitué de calcaire additionné de tourbe, qui maintient entre autres l'humidité de celle-ci. On appelle *volée* l'apparition des champignons en surface en plusieurs récoltes décroissantes , qui commence un à un mois et demi après inoculation ; ceux-ci doivent être immédiatement cueillis et stockés au frais pour garder leur fraîcheur et leur couleur. Le *shiitake*, ou *Lentinus edodes*, ou lentin de chêne, est un autre champignon très cultivé, dit « champignon de bois » car, au contraire du précédent, il peut digérer la cellulose et pousse sur de petites bûches de bois dur ou sur des sacs contenant un mélange stérilisé à base de copeaux de bois . Traditionnellement, les bûches sont trempées dans l'eau pour les hydrater, puis l'inoculum est injecté dans la bûche par plusieurs trous forés. Après croissance du mycélium dans la bûche , on obtient une volée de champignons. Le délai de production de ce champignon, très apprécié en Asie, a été fortement amélioré par la culture en sacs, ce qui a permis de faire baisser son prix de vente. Il a un concurrent redoutable, le *Trichoderma*, qui peut contaminer une bonne partie de la culture en utilisant le substrat à son profit et faire tomber le rendement en shiitake. D'autres champignons sont produits commercialement, comme les pleurotes , le champignon noir chinois ou « oreille de Judas » , la volvaire cultivée dans les rizières , le pied-bleu ou tricholome .

La **truffe**, dont la plus célèbre, la plus goûtée et odorante est la truffe noire du Périgord , et dont le mycélium ne peut pousser qu'en symbiose avec certains arbres dans certains sols, a résisté à toute production sur substrat artificiel.