

# Les vins effervescents en Suisse et ailleurs

par Richard Pfister

La consommation de vins effervescents en Suisse augmente régulièrement depuis de nombreuses années. Bien qu'il s'agisse principalement de bouteilles importées, la production locale ne cesse de prendre de l'importance. De très nombreux vigneron et caves comptent désormais un vin effervescent dans leur gamme, parfois même plusieurs. Il s'agit le plus souvent de petites productions, même si quelques rares acteurs du marché occupent une place importante dans l'échiquier de l'effervescence helvétique.

Ce dossier fait le point sur le marché suisse, les différentes méthodes d'élaboration et les dernières recherches en matières d'effervescence opérées à Reims. Une suite presque logique du numéro 83 d'Objectif et son dossier qui faisait la part belle au pressurage champenois.

A l'image du marché mondial qui voit les vins effervescents tirer vers le haut la consommation de vins, ceux-ci ont aussi le vent en poupe en Suisse, à lire les statistiques de l'OFAG. En 2015, leur consommation a augmenté de 571 300 litres pour dépasser 18,3 millions de litres (table 1), à l'instar de l'évolution des dernières années, malgré un léger fléchissement des importations depuis l'an dernier. En 2012, on était proche de 17 millions de litres.

Il est important de noter que ces chiffres ne tiennent pas compte de la production indigène de vins effervescents. En effet, elle est prise en compte indirectement par l'OFAG puisque diluée dans les chiffres de vins blancs et rouges et non répertoriée séparément. Toutefois, comme la production indigène d'environ 2,6 millions de litres (cf. « Elaboration et exportation » ci-après) est presque entièrement consommée dans le pays, on peut donc estimer la consommation totale de vins effervescents en Suisse à 20,9 millions de litres en 2015.

Table 1. Consommation de vins effervescents en Suisse, en hl (OFAG).

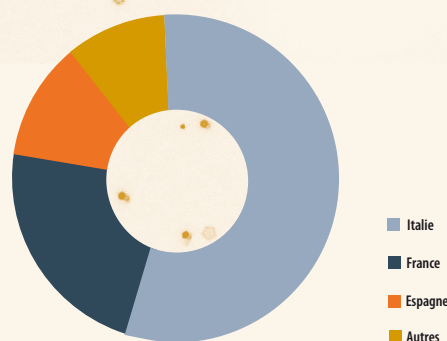


Figure 1. Importation de vins effervescents en Suisse par pays en 2015, en hl (OFAG).

En matière d'importation, tous types de vins confondus, l'Italie est la première source en Suisse depuis de nombreuses années avec 71 millions de litres, suivie par la France (40 millions de litres) puis l'Espagne (37 millions de litres), soit les trois premiers pays producteurs de vin dans le monde. Cette tendance s'observe aussi en matière de vins effervescents, de manière plus marquée encore : l'Italie devance la France qui devance elle-même l'Espagne, avec respectivement 98 966 hl, 50 602 hl et 20 361 hl (fig. 1). Tous les autres pays confondus atteignent à peine plus de la moitié des importations espagnoles, avec un total de 11 637 hl.

	2012	2013	2014	2015
Stocks début d'année	58'503	59'372	60'800	64'306
Stocks fin d'année	59'372	60'800	64'306	61'385
Importations	170'820	171'075	182'142	181'566
Exportations	717	797	1'012	1'150
Consommation totale	169'234	168'850	177'624	183'337

## ELABORATION ET EXPORTATION

Il est difficile de déterminer précisément la quantité de vins effervescents élaborés dans le pays. Les informations qui suivent sont basées sur des interviews des principaux élaborateurs et producteurs helvétiques et doivent donc être considérées comme des estimations. Elles indiquent un total de 3,5 mio de cols par an.

A titre de comparaison et sans restreindre la production de vins effervescents dans les trois principaux pays producteurs de vin aux seuls Prosecco en Italie, Champagne en France et Cava en Espagne, il est intéressant de noter qu'en 2013 le Prosecco, avec 307 millions de bouteilles produites, avait détrôné le Champagne qui en comptait moins pour la première fois avec 304 millions. Le Cava, lui, se situait à la même époque à 242 millions de bouteilles.

Nombre de bouteilles produites	Principaux élaborateurs et/ou producteurs
	<b>Méthode traditionnelle</b>
> 500'000	Mauler
80'000 - 120'000	XC (Enologie, Jacques Germanier, Domaine Marendaz)
20'000 - 40'000	Châtenay-Bouvier, Staatskellerei Zürich
	<b>Cuve close</b>
> 200'000	Cave de Genève, Thiébaud
130'000 - 170'000	Uvavins, Delea
80'000 - 120'000	Hammel
	<b>Gazéification</b>
70'000 - 90'000	Enologie à façon SA
<b>Techniques</b>	<b>Millions de bouteilles</b>
Méthode traditionnelle	1,6 - 1,9
Cuve close	1,5 - 1,8
Gazéification	0,1
	TOTAL : ~3,5

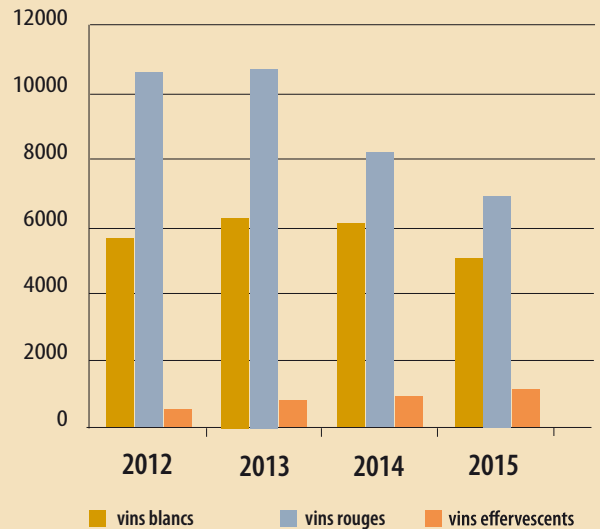


Figure 2. Exportation de vins suisses hors vins doux et moûts, en hl (OFAG).

L'exportation de vins effervescents depuis la Suisse en 2015 est relativement faible avec 115 000 litres (fig. 2). Notons qu'elle progresse régulièrement ces dernières années de 10 à 20 % et que, par rapport au total des vins exportés depuis la Suisse, les vins effervescents en représentent près de 9 %. Mais il faut savoir que ces chiffres ne tiennent compte que des réexportations et non de la production indigène, non répertoriée distinctement.

## PRINCIPALES MÉTHODES D'ÉLABORATION

La vinification des vins effervescents s'opère majoritairement en deux étapes, à savoir l'élaboration du ou des vins de base, puis, après stabilisation tartrique et filtration, une deuxième fermentation alcoolique habituellement appelée « prise de mousse » (Ribéreaux-Gayon *et al.* 2012).

Les vins de base présentent très souvent un degré alcoolique peu élevé, fréquemment entre 10,5 et 11,0 % vol., puisque la vendange est effectuée généralement avec des raisins ayant une maturité moins avancée que pour des vins tranquilles afin de garder une certaine acidité. De plus, la prise de mousse augmentant le taux d'alcool, il faut éviter qu'elle ne conduise à un degré d'alcool final trop élevé ; le plus souvent en dessous de 13 % vol.

Afin de bien se rendre compte des différentes particularités de la vinification des vins effervescents, un panorama des différentes méthodes d'élaboration est présenté ci-après. Un accent particulier est mis sur la méthode traditionnelle (méthode champenoise en Champagne), d'après laquelle les autres sont comparées.

### Méthode traditionnelle

#### L'assemblage

Lorsque l'élaborateur dispose de plusieurs vins de base, il a la possibilité de procéder ou non à l'assemblage. Cette opération est essentielle pour reproduire la typicité du produit final (Juhlin 2004). Ceci est d'autant plus vrai pour la Champagne, dont le climat septentrional est parfois une contrainte pour la production de raisins à la maturité désirée. Principalement basée sur

la dégustation et nécessitant une grande expérience, elle prend en compte plusieurs aspects comme :

- quels sont les vins à disposition
- quels vins se complètent le mieux
- quel sera le résultat de l'assemblage avec effervescence
- le respect de l'harmonie recherchée en fonction de l'évolution des cépages
- le style de la maison vs caractère du millésime
- l'aptitude au vieillissement, etc.

Les vins à assembler sont préclarifiés et l'assemblage final est réalisé entre (Marchal *et al.* 2011) :

- les années (excepté pour les millésimés)
  - les cépages
  - les crus et les sols
  - les fractions de pressurage, d'une importance capitale (cf. dossier Objectif 83)
  - les modes de vinification (cuves, fûts, foudres, avec ou sans malolactique, etc.)
- Suite de quoi, l'assemblage est réalisé grandeur nature. Pour ce faire, les différents vins de base sont réunis dans un grand contenant, suffisamment important pour regrouper tous les vins de base, ce qui n'est pas forcément chose aisée suivant le volume total. Si bien que l'assemblage est régulièrement effectué en plusieurs fois. Puis la cuve est homogénéisée, opération plus compliquée qu'il n'y paraît de prime abord, notamment lorsque la cuve est haute.

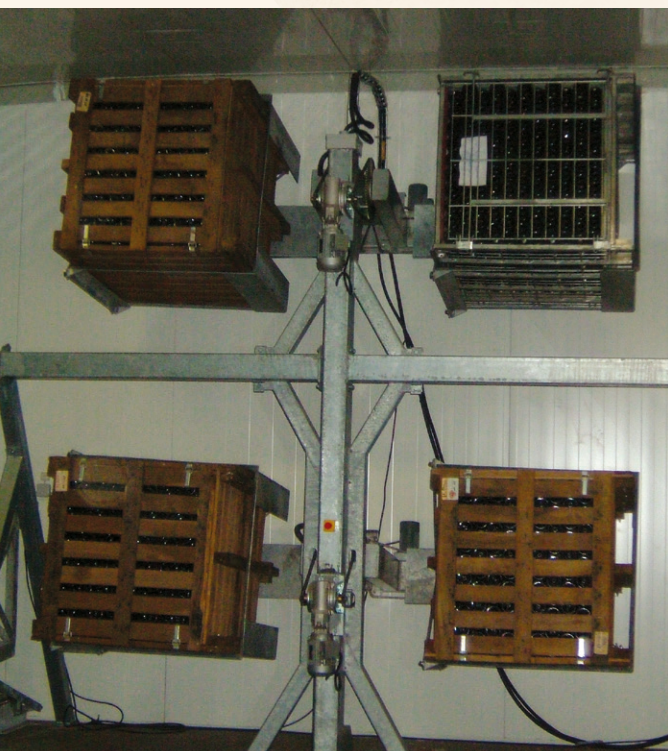


Figure 3. Gyropalettes (XC Enologie).

### La prise de mousse

Après stabilisation tartrique et physique, l'assemblage est embouteillé. Il lui est additionné la liqueur de tirage, qui permettra grâce au sucre et aux levures qu'il contient (cf. « De l'importance des liqueurs et des adjuvants » ci-après) de fermenter à nouveau pour atteindre une pression de CO<sub>2</sub> en bouteille de 5 à 6 bars à 10-12 °C.

Les bouteilles sont fermées au moyen d'un opercule (ou bidule) en polyéthylène améliorant l'étanchéité du bouchage et facilitant le dégorgement et d'une capsule couronne, voire parfois uniquement par un bouchon liège spécial tenu par une agrafe. Ensuite, la prise de mousse peut débuter. Elle peut durer un à quelques mois à température constante (idéalement 11 à 12 °C). Cette fermentation lente et régulière est un des facteurs agissant sur la finesse des bulles et leur persistance. Plus la pression de CO<sub>2</sub> augmente, plus elle réduit la multiplication levurienne et la cinétique de fermentation, d'autant plus lorsque le degré alcoolique augmente et avec des pH bas (Valade 1999).

### L'élevage

Lorsque la prise de mousse se termine, le vin est dit effervescent. Les levures commencent à se dégrader et transmettent au vin une partie de leurs constituants par autolyse (Ribéreau-Gayon 2012) :

- sels minéraux,
- oligo-éléments,
- protéines aux capacités moussantes,
- composés aromatiques,
- composés glucidiques, etc.

C'est la phase d'élevage, qui permet au vin de mûrir et de s'enrichir en composés issus des levures. Les principaux composés transférés depuis les levures sont riches en constituants azotés, notamment en acides aminés, si bien que les vins issus de méthode traditionnelle sont fréquemment plus généreux en composés azotés que les vins tranquilles. L'élevage peut durer jusqu'à une quinzaine d'année pour de très rares et très qualitatifs vins effervescents.

Après prise de mousse, les levures se déposent et forment un dépôt dans la partie inférieure de la bouteille, stockée horizontalement après tirage. Le travail qui suit permet de rassembler les levures mortes au niveau du goulot, bouteille tournées vers le bas. Il s'agit du remuage, qui peut être manuel grâce aux fameux pupitres qui permettent, en environ un mois, de faire tourner la bouteille petit à petit sur elle-même tout en la penchant de plus en plus jusqu'à ce qu'elle se trouve à 60-70° d'inclinaison. Il dure en général un mois, à raison d'une fois par jour, à une cadence moyenne de 45'000 bouteilles/jour. Il peut aussi être automatique au moyen de gyropalettes reproduisant le remuage pour des centaines de bouteilles à la fois, placées dans de petits containers (fig. 3). Dans ce cas, le cycle de remuage est ramené à 3 à 7 jours.

Dans tous les cas, le vin doit rester limpide tout au long du processus, ce qui n'est pas toujours aisé notamment parce que les particules les plus fines ont tendance à glisser moins facilement. Très souvent, les vieux vins ont tendance à se remuer plus facilement que les jeunes, sans qu'il n'ait été trouvé d'explication rationnelle pour l'instant (Marchal 2011). Certaines techniques permettent de faciliter le remuage, même si certains préfèrent opérer de manière traditionnelle (cf. « De l'importance des liqueurs et des adjuvants » ci-après).

### Le dégorgement et le dosage

Dernière étape importante dans la vie d'un vin élaboré en méthode traditionnelle, le dégorgement et le dosage permettent d'évacuer le dépôt de levures et d'apporter le sucre nécessaire à son équilibre. Plusieurs semaines avant, des échantillons sont dégustés pour déterminer le choix approprié de la liqueur d'expédition ainsi que son dosage (cf. « De l'importance des liqueurs et des adjuvants » ci-après). Puis, des essais sont réalisés en conditions réelles sur quelques échantillons, afin d'évaluer l'harmonie recherchée.

Concrètement, le dégorgement s'effectue par congélation du goulot des bouteilles toujours disposées verticalement goulot vers le bas. Cette phase dure de 15 à 20 minutes, la température s'approchant de -30 °C. Ensuite, les bouteilles sont placées goulot vers le haut, le glaçon leur est automatiquement retiré avant d'être remplacé par la liqueur d'expédition puis les bouteilles sont bouchées, muselées et enfin homogénéisées. Il ne reste plus qu'à les habiller et leur laisser un peu de repos avant qu'elles soient prêtes pour la consommation.

Traditionnellement, le dégorgement s'effectuait à la volée, à la main. Fastidieux, il n'est quasiment plus utilisé, notamment à cause des pertes de vin qu'il produit, mais aussi à cause de sa lenteur : environ 400 bouteilles/h contre 1 000 à 15 000 à la machine.

Afin de limiter l'oxydation durant ces opérations, on utilise de plus en plus le jetting. Ce procédé consiste en un jet fin et très rapide pénétrant dans le goulot des bouteilles et produisant de la mousse, de telle sorte que celle-ci prenne la place de l'air ambiant dans le goulot en attendant l'arrivée du bouchon.

De nombreux vins effervescents sont élaborés suivant la méthode traditionnelle, notamment les Champagnes, qui lui ont donné le nom de méthode champenoise (réservé à l'AOC Champagne), ainsi que les Cavas.

### Cuve close

Cette technique reprend la méthode traditionnelle, tout en la simplifiant considérablement, puisque tout se passe en cuves résistant à la pression avant la mise en bouteilles finale. La prise de mousse est rapide et, aussitôt effectuée, le vin effervescent est réfrigéré. Ensuite, il est filtré sous pression, stocké et mis en bouteilles par tireuse isobarométrique. Une contrepression sous CO<sub>2</sub> exogène permet d'éviter le dégazage, sans qu'il n'y ait pour autant de mélange avec le CO<sub>2</sub> du vin. Appelée aussi méthode Charmat, elle est fréquemment utilisée notamment pour l'élaboration du Prosecco.

### Méthode ancestrale

Cette technique nécessite un embouteillage précoce des vins en cours de première fermentation. Elle est principalement pratiquée sur la Blanquette de Limoux, à Gaillac, dans le Bugey et en Cerdon. Auparavant très aléatoire, elle profite aujourd'hui des technologies de réfrigération, de stabilisation chimique et/ou de filtration permettant de stopper la fermentation avec la quantité de sucres résiduels voulue. De telle sorte que, après mise en bouteille et réchauffement naturel, la fermentation peut reprendre, dégrader les sucres restants et produire la pression désirée. On ne procède pas au dégorgement, le dépôt de levures étant très faible.

### Méthode de transfert

Cette méthode, notamment utilisée aux Etats-Unis, reproduit la méthode traditionnelle jusqu'à la fin de l'élevage, mais sans la phase de remuage (fig. 4). Ensuite, les bouteilles sont vidées et le vin placé en cuves résistant à la pression. Puis il est filtré sous pression, la liqueur d'expédition est ajoutée et le vin est remis en bouteilles au moyen d'une tireuse isobarométrique.

### Méthode dioise

Il s'agit d'un procédé hybride entre la méthode ancestrale et la méthode de transfert, principalement utilisée pour la Clairette de Die et l'Asti Spumante, à quelques adaptations près. Elle reprend les principes de la méthode ancestrale, tout en bénéficiant entre autres de la filtration de celle de transfert.

### Méthode continue

Le vin dans lequel du sucre et des levures sont ajoutés circule dans une série de cuves de fermentation puis de clarification contenant des anneaux permettant aux levures de s'agripper tout en fermentant le vin qui passe. Ces anneaux sont parfois remplacés par des copeaux de chêne. Au final, peu de levures restent dans le vin qui circule 24 heures sur 24 avant d'être stocké et mis en bouteille par tireuse isobarométrique.

### Gazéification

Il s'agit de la méthode la plus simple, sans prise de mousse. Du CO<sub>2</sub> de qualité alimentaire est inséré dans le vin au moyen d'éléments à la porosité très fine, généralement du métal fritté. Ce procédé est le plus souvent opéré en continu, parfois directement lors du tirage.

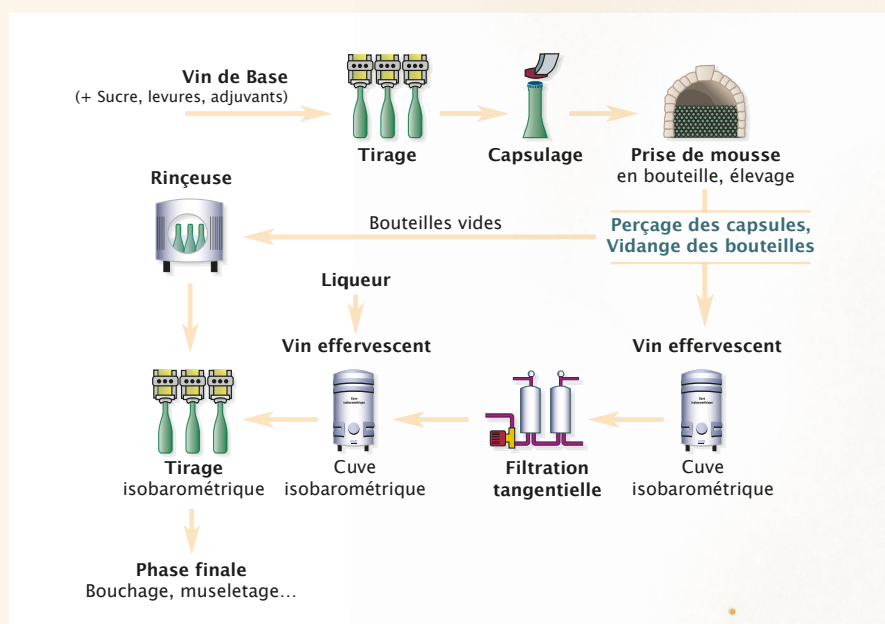


Figure 4. Schéma d'élaboration de vin effervescent suivant la méthode de transfert.  
© Effervescents du Monde / La Revue des Oenologues

# DE L'IMPORTANCE DES LIQUEURS ET DES ADJUVANTS

Xavier Chevalley, XC (Enologie à Cartigny (GE))

Comme dans les lignes qui précèdent, ce chapitre se concentre sur la méthode traditionnelle, tout en faisant quelques digressions sur les autres méthodes.

## La liqueur de tirage

Le but de cette liqueur est d'apporter au vin de base la quantité de sucre nécessaire à la prise de mousse. En général, on dose le vin de base entre 18 et 24 g/l de sucre. Avec 22 g/l, on obtiendra 11 g/l de CO<sub>2</sub> et 5,5 bars de pression à 10 °C dans la bouteille pour autant que la fermentation aille jusqu'à son terme (table 2).

La liqueur de tirage est habituellement préparée avec du sucre de betterave en additionnant une solution avec 1 kg de sucre dans 1 litre de vin, soit 1 kg de sucre pour 1,63 litre de liqueur (613,5 g/l de sucre).

Pression souhaitée (bars)		Sucre en saccharose (g/l)	Sucre en glucose + fructose (g/l)
à 10°C	à 20°C		
4,0	5,4	16,0	17,0
4,5	6,1	18,0	19,1
5,0	6,8	20,0	21,1
5,5	7,5	22,0	23,2
6,0	8,2	24,0	25,0
6,5	8,8	26,0	27,6

Table 2. Teneur en sucre de la liqueur de tirage en fonction de la pression souhaitée (Valade 2001).

Il est aussi possible de travailler avec du moût concentré rectifié (MCR), qui possède les caractéristiques suivantes :

Concentration en sucres : 63,0 °Brix

Alcool en puissance (% v/v) : 50°12

Sucres par litre : 843,8 g

Masse volumique : 1.3121

Le MCR est élaboré à partir de moûts de raisins dont ont été extraits tous les composants dits « non sucres ». Après concentration, rectification et filtration, on obtient un sirop de sucre à une concentration de 843,8 g/l.

Au vin de base, on incorporera une souche de levure résistante aux conditions de fermentation difficiles (température, degré alcoolique, pression, pH). L'apport devra être suffisant en termes de concentration pour effectuer la prise de mousse, mais sans exagérer pour que le dépôt final ne prenne pas trop de place dans le goulot au moment du dégorgement. Quoi qu'il en soit, un pied de cuve avec une population de 50 à 60 millions de cellules par millilitre est obligatoire pour garantir une bonne implantation des levures.

Il est à noter que pour d'autre méthode d'élaboration comme la cuve close ou la méthode de transfert, la liqueur de tirage peut contenir et le sucre nécessaire à la prise de mousse et à la liqueur d'expédition. En général, un refroidissement et/ou une filtration sont alors nécessaires pour stopper la prise de mousse et conserver le dosage de sucre final.

## Adjuvants de remuage

Le remuage est une étape importante et fastidieuse de l'élaboration des vins faisant leur prise de mousse en bouteilles. Aujourd'hui, pour faciliter celui-ci, des éléments sont souvent ajoutés en cuve avant mise en bouteille. On les appelle les adjuvants de remuage, régulièrement composés d'alginate et/ou de bentonites. Ils facilitent la sédimentation des levures (Marchal 2011).

Il est aussi possible d'effectuer la prise de mousse au moyen de levures incorporées dans des billes d'alginate réticulées par du calcium. Ce procédé permet d'éviter le remuage, ou presque, puisque les billes évitent aux levures d'adhérer au verre des bouteilles (Ribéreau-Gayon 2012).

### EXEMPLE DE PROTOCOLE DE PRÉPARATION D'UN LEVAIN POUR UN TIRAGE DE 1000 LITRES

#### 1. Réhydratation

60 g de levures dans 0,6 litre d'eau et 30 g de sucre à 37 °C pendant 30 minutes. Puis incorporer cette préparation dans l'étape suivante.

#### 2. Acclimatation

0,3 litre de vin, 225 g de sucre, 0,75 litre d'eau et 6 g de phosphate d'ammonium à 20 °C. Après incorporation de la réhydratation, le sondage devrait se situer entre 50 et 60 °Oe. Bonnes aérations toutes les 4-5 heures, jusqu'à environ 0 °Oe. Puis incorporer cette préparation dans l'étape suivante.

#### 3. Préparation

2,1 litres de vin, 1,5 kg de sucre, 24 litres de vin de base et 1,2 litre d'eau du levain à température de 20 °C. Après incorporation de l'acclimatation, le sondage devrait se situer entre 10 et 12 °Oe. Bonnes aérations deux fois par jour. A environ 0 °Oe, rafraichissement à 10-15 °C : le levain est prêt pour le tirage.

#### 4. Incorporation

Incorporation du pied de cuve dans la cuve de tirage du vin sucré, filtré et complété d'un adjuvant pour faciliter le remuage. Ajout éventuel de tanins et de phosphate d'ammonium si nécessaire. Tenir la cuve en mixtion pendant la mise en bouteilles pour avoir une homogénéité du vin de la première à la dernière bouteille.

## Liqueur d'expédition

Le but de cette liqueur est d'apporter l'équilibre idéal sucre-acide en fonction du type de vin recherché. Dans le cas de vins mousseux, les indications requises à l'article 2 de l'Ordonnance sur l'étiquetage et la publicité des denrées alimentaires (OEDA) doivent être mentionnées selon la teneur en sucre résiduel par litre :

- extra brut : de 0 à 6 g
- brut : inférieur à 15 g
- extra sec : de 12 à 20 g
- sec : de 17 à 35 g
- demi sec : de 33 à 50 g
- doux : supérieure à 50 g

La liqueur d'expédition peut être préparée avec une solution de vin et de sucre de canne, en général 1 kg de sucre dissout dans 1 litre de vin et filtré sur des plaques stérilisantes, ou à l'aide de MCR.

On y ajoute du SO<sub>2</sub> pour stabiliser le vin après dégorgement (10 à 50 mg/l) en général sous forme de bisulfite d'ammonium ou de potassium.

En fonction de la stabilité tartrique, on incorporera de l'acide métatartrique à raison de 10 g/hl ou de la gomme de cellulose (dose légale maximum 100 mg/l) pour éviter la formation de gravelle. Un ajout d'eau de vie dans la liqueur peut être intéressant afin d'apporter une certaine vinosité à des vins manquant de maturité. Au besoin, certains adjuvants de vinification (peptides sucrants, mannoprotéines, gomme arabique) peuvent améliorer le volume en bouche ou enrober une bulle un peu agressive. Certains tanins sont parfois utilisés pour apporter un peu de volume, diminuer une réduction ou une oxydation de vins fragiles. Enfin, du sulfate de cuivre (0,1 à 1 mg/l) peut être nécessaire en cas de réduction.

# VOYAGE AU CŒUR D'UNE FLÛTE DE CHAMPAGNE

Gérard Liger-Belair, Professeur à l'Université de Reims Champagne-Ardenne (F)



Figure 5. Séquence « haute-vitesse » d'un bouchon de Champagne qui saute sous l'effet de la pression qui règne dans la bouteille (stockée à 6  C) ; environ 300  $\mu$ s séparent chaque cliché (Equipe Effervescence).

L'apparition et le mouvement des bulles obéissent à des équations, parfois complexes, qui permettent de prédire un certain nombre d'éléments essentiels en dégustation, comme le nombre de bulles produites, leur taille, leur vitesse ascensionnelle, la façon dont elles éclatent... Pour reprendre le propos de Galilée, le livre de la Nature est écrit en langage mathématique. Les bulles du Champagne et des vins effervescents ne dérogent pas à cette règle. Et quelle merveilleuse illustration, directement issue de notre quotidien, de la présence des mathématiques là où on ne les attend peut-être pas ! Profondément inscrite dans l'imaginaire collectif, l'effervescence du Champagne nous entraîne ainsi dans le monde fascinant des bulles, des gaz dissous, des changements de phase et des fluides en mouvement.

## Le débouchage du Champagne en slow motion

Suite à la prise de mousse, le Champagne et les vins effervescents élaborés selon la méthode traditionnelle champenoise se chargent en dioxyde de carbone dissous. Conformément à la loi de Henry, en fin de prise de mousse, la concentration en  $\text{CO}_2$  dissous dans le vin est proportionnelle à la pression partielle de  $\text{CO}_2$  dans le col de bouteille. Or, la solubilité du gaz carbonique dans le vin étant très sensible à la température (plus le vin est froid, et plus le gaz carbonique est soluble en son sein), la pression dans la bouteille sera aussi très sensible à la température. Sur le graphique de la figure 6, on peut voir de façon concomitante l'évolution de la pression et de la concentration en  $\text{CO}_2$  dissous dans une bouteille de Champagne de 75 cl (traditionnellement additionnée de 24 grammes par litre de sucre au moment de la prise de mousse), en fonction de la température du vin.

La pression qui règne dans la bouteille augmente avec sa température. Elle varie de grosso modo 5 bars à 6  C, à presque 8 bars à 20  C. Or, puisque c'est la force exercée par le gaz carbonique sous pression dans le col de la bouteille qui est à l'origine de l'éjection du bouchon, la température de la bouteille doit donc de toute évidence jouer un rôle sur son débouchage. La séquence vidéo de la figure 5 saisit les tout premiers millièmes de seconde qui accompagnent le débouchage d'une bouteille stockée au frigo,   6  C. La décompression brutale du volume de gaz qui jaillit hors du col s'accompagne d'une chute de sa température de plusieurs dizaines de degrés. On parle d'une détente adiabatique. Cette chute brutale de la température provoque instantanément la

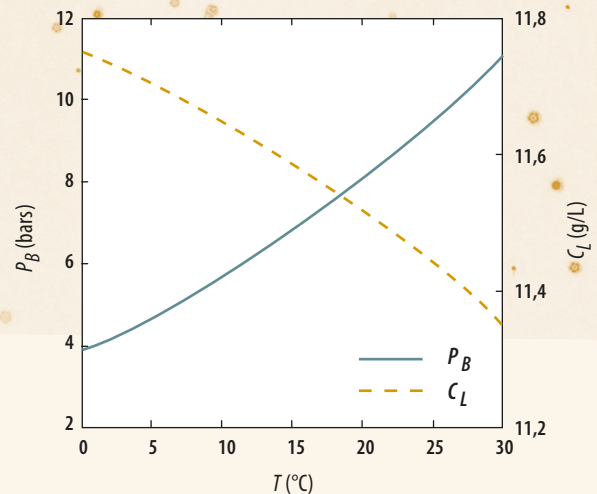
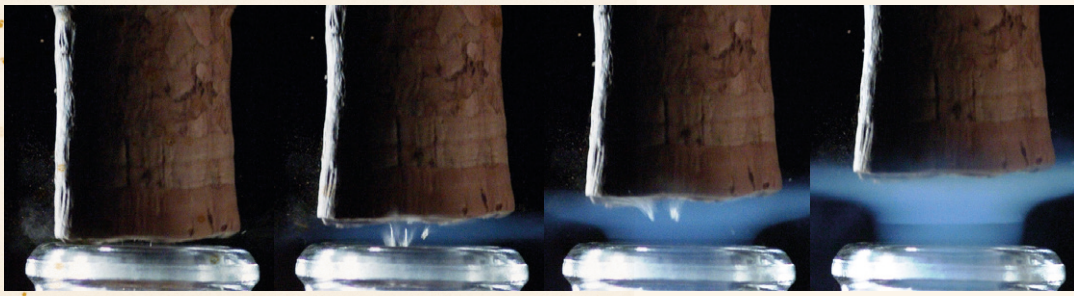


Figure 6. Evolution de la pression et de la concentration en  $\text{CO}_2$  dissous dans une bouteille de Champagne de 75 cl (Equipe Effervescence).

condensation de la vapeur d'eau environnante sous forme d'un brouillard de minuscules gouttelettes dont les tailles varient de quelques micromètres à quelques dizaines de micromètres. C'est la diffusion de la lumière du projecteur par ces gouttelettes (de façon quasi isotrope dans l'espace, pour toutes les longueurs d'onde du spectre visible), qui rend ce brouillard visible et lui confère une couleur blanchâtre.   une toute autre échelle qui est celle de l'atmosphère, les nuages voient le jour selon le même principe. Des masses d'air chargées de vapeur d'eau montent en altitude et se refroidissent progressivement. Ce refroidissement provoque la condensation de l'eau qu'ils contiennent en masses nuageuses, rendues visibles par diffusion de la lumière solaire.



### Comme le bleu du ciel...

Pour des bouteilles, stockées à la température ambiante, et donc sous une pression plus importante de l'ordre de 8 bars, le nuage de fumée blanchâtre disparaît, comme on peut le voir sur la séquence de la figure 7. Dans le sillage du bouchon qui saute, on retrouve une structure bien plus éphémère, moins étendue et surtout... étrangement bleutée. En filmant le processus à 12 000 images par seconde on distingue même une onde de choc, parallèle au goulot de la bouteille, qui progresse dans le sillage bleuté du bouchon qui jaillit.

Ce panache bleu azur qui accompagne le débouchage d'une bouteille sous haute pression a très certainement pour origine la petite taille des minuscules gouttelettes qui diffusent la lumière ambiante. En effet, selon la théorie de la diffusion de Rayleigh, si la taille de ces sphères devient bien inférieure aux longueurs d'onde du spectre de la lumière ambiante (qui varie de 0,4  $\mu\text{m}$  pour le bleu à 0,8  $\mu\text{m}$  pour le rouge), la diffusion de la lumière se fait bien plus efficacement pour les petites longueurs d'onde du spectre, et donc la lumière bleue. Le nuage apparaît alors bleuté et non plus blanc. C'est le même phénomène qui explique d'ailleurs pourquoi le ciel nous apparaît bleu. En effet, les molécules qui composent l'atmosphère de notre planète sont bien plus petites que les longueurs d'onde de la lumière solaire. Le bleu est donc bien plus efficacement diffusé que les autres couleurs du spectre, donnant ainsi cette couleur à l'atmosphère terrestre. Un modèle thermodynamique est en construction pour rendre compte de la différence de taille caractéristique des noyaux de condensation qui se forment au débouchage en fonction de la température initiale des bouteilles.

On remarque aussi que, une fois libéré du col de la bouteille dans lequel il était comprimé, le bouchon reprend très vite sa forme en « jupe » si caractéristique. Ce sont les parois des cellules du liège qui confèrent au bouchon de Champagne son extraordinaire résilience.

### Une instabilité bien connue des océanographes

Il est cependant d'usage d'ouvrir une bouteille de Champagne sans laisser le bouchon sauter librement, mais en le retenant délicatement. Le gaz carbonique sous pression s'échappe alors avec un chuintement très caractéristique. La décompression, moins brutale, permet toujours à la vapeur d'eau de se condenser, mais sous la forme d'une fumerolle qui s'échappe parallèlement au goulot de la bouteille et dont les caractéristiques aérodynamiques diffèrent nettement de celles du panache qui accompagne un débouchage brutal. Le brouillard de minuscules microgouttelettes s'échappe parallèlement au goulot de la bouteille sous la forme d'une couche fluide plus dense que l'air ambiant. Lorsque le processus est filmé à haute vitesse, il nous dévoile un phénomène bien connu des océanographes et des physiciens de l'atmosphère. On reconnaît une instabilité, dite de Kelvin-Helmholtz qui apparaît à la frontière entre deux couches de fluides qui glissent l'une sur l'autre. Des ondulations voient le jour puis déferlent, un peu comme des vagues à la surface de l'océan. En météorologie, ces instabilités apparaissent parfois à la

Figure 7. Séquence « haute-vitesse » d'un bouchon de champagne qui saute sous l'effet de la pression qui règne dans la bouteille (stockée à 20 °C) ; environ 100  $\mu\text{s}$  séparent chaque cliché (Equipe Effervescence).

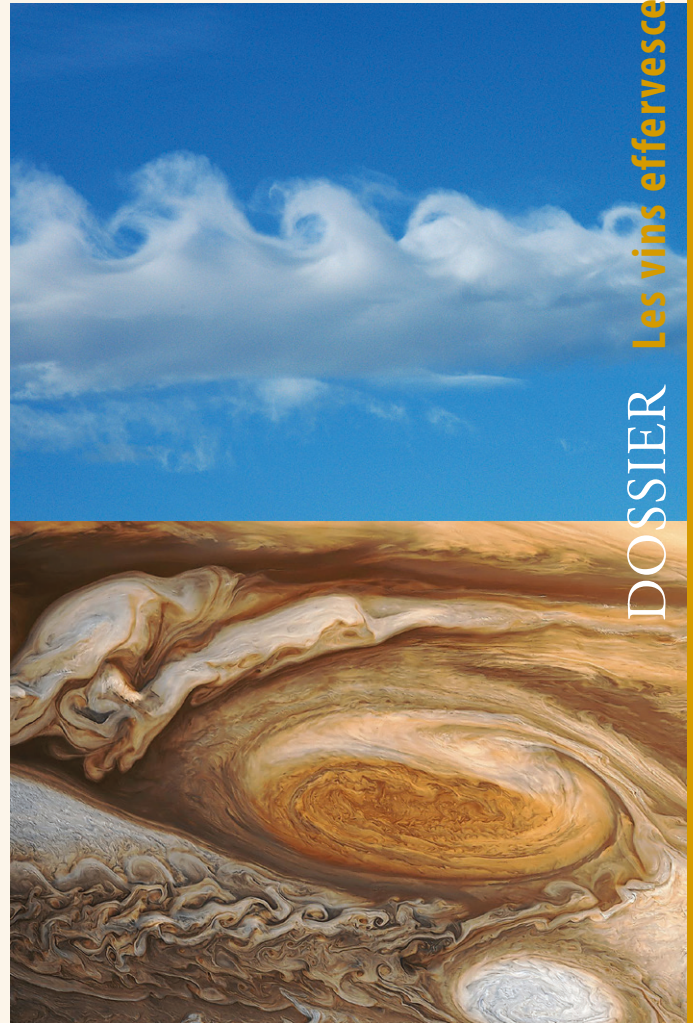


Figure 8. Développement d'une instabilité de Kelvin-Helmholtz entre une bande nuageuse et le ciel clair (Benjamin Foster).

Figure 9. L'atmosphère de Jupiter, agitée de vents très violents, est aussi le siège de nombreuses instabilités de Kelvin-Helmholtz (NASA).

frontière entre les couches nuageuses et le ciel clair (fig. 8). En océanographie, on les retrouve lors de variations brutales de la densité de l'eau, comme par exemple à l'embouchure d'un fleuve, lorsque les eaux douces et peu denses se mélangent à l'eau de mer salée et donc plus dense. On les retrouve même en astrophysique ! La structure en bandes de l'atmosphère de Jupiter, avec des vents contraires atteignant plusieurs centaines de kilomètres par heure, est le siège de spectaculaires instabilités de Kelvin-Helmholtz (fig. 9).

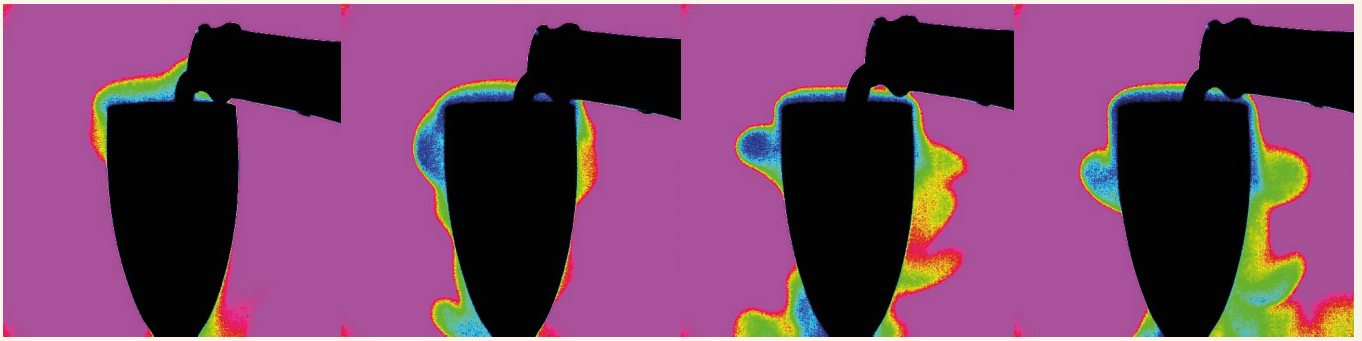


Figure 10. Le service du Champagne dans une flûte, filmé en thermographie infrarouge, permet de visualiser le CO<sub>2</sub> qui s'en échappe (Université de Reims).

### Le service du Champagne revisité

Une fois la bouteille débouchée, le Champagne revient à la pression atmosphérique, et le gaz carbonique dissous doit inexorablement s'en échapper pour rejoindre l'atmosphère. On dit que le Champagne devient sursaturé en gaz carbonique.

Le service du Champagne est une étape critique en ce qui concerne l'échappement du gaz carbonique dissous. En effet, le transfert du Champagne de la bouteille vers la flûte génère des turbulences qui accélèrent considérablement la fuite du gaz carbonique hors du Champagne. Or, plus on perd de gaz carbonique dissous à cette étape, moins on en disposera lors de la dégustation pour permettre la production de bulles dans le verre... Afin de préserver au mieux le CO<sub>2</sub> dissous dans le Champagne (et d'assurer ainsi une meilleure longévité à l'effervescence), il convient donc de servir le Champagne de la façon la plus douce possible, afin que le CO<sub>2</sub> dissous ne s'en échappe pas prématurément. En inclinant la flûte au moment du service, le Champagne coule le long de ses parois de façon naturellement plus douce que lorsqu'il envahit brutalement la flûte en étant servi dans une flûte verticale.

Le gaz carbonique, parfaitement transparent dans le domaine de la lumière visible auquel notre œil est sensible, est cependant susceptible d'absorber dans le spectre de la lumière infrarouge. En filmant le service du Champagne dans une flûte à l'aide d'une caméra dotée d'un capteur sensible à la lumière infrarouge, il devient alors possible de visualiser les volutes de gaz carbonique qui s'échappent (fig. 10). On remarque que ce gaz carbonique (nettement plus lourd que l'air) s'écoule le long des parois du verre.

### La nucléation des bulles dans une flûte

Une fois le Champagne versé dans une flûte, le CO<sub>2</sub> dissous se met alors en quête d'une poche de gaz pour pouvoir s'y engouffrer et fuir ainsi le liquide pour lequel il n'a désormais plus aucune affinité. Dans la grande majorité des cas, ce sont des fibres de cellulose provenant des torchons d'essuyage ou des microcristaux présents dans le vin qui sont responsables de cette production répétitive de bulles. Malgré leur complète immersion, ces fibres ou ces particules ne sont pas totalement mouillées par le liquide qui les enrobe. Leurs propriétés physiques et géométriques permettent l'emprisonnement d'une minuscule poche d'air ambiant. Ces poches d'air seront donc autant de minuscules germes par lesquels le gaz carbonique dissous pourra fuir le Champagne pour rejoindre l'atmosphère sous forme de bulles. On parle de *nucléation hétérogène non-classique*. La figure 11 illustre le processus de nucléation de bulles à partir d'une fibre de cellulose adsorbée à la surface d'une flûte de Champagne. Du point de vue thermodynamique, il s'agit d'un phénomène identique à celui qui permet la nucléation de gouttes d'eau (par condensation de la vapeur d'eau atmosphérique) sur les minuscules grains de poussière ou de sel de mer se trouvant en suspension dans l'atmosphère, jouant ainsi le rôle de sites de nucléation pour l'apparition des nuages.

### L'ascension des bulles vers la surface

Une fois détachée de la particule qui lui a donné naissance, la bulle est encore invisible à l'œil nu. Sous l'effet de la poussée d'Archimède qui la tire vers le haut, la bulle entame alors son ascension vers la surface. Tout au long de son parcours, la bulle va se nourrir de gaz carbonique dissous.

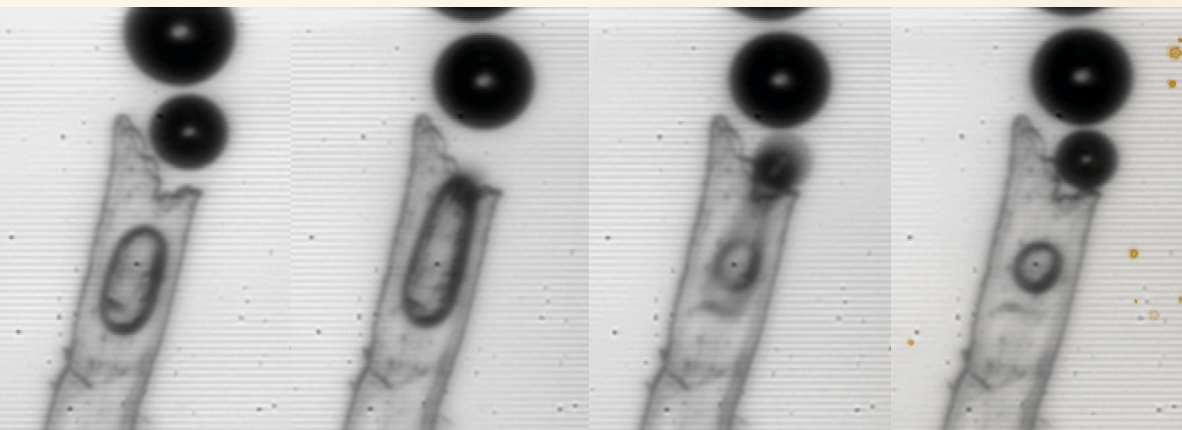


Figure 11. Illustration de la nucléation répétitive de bulles à partir d'une poche d'air piégée au sein d'une fibre de cellulose, creuse, adsorbée à la surface d'une flûte (barre = 50 µm) (Equipe Effervescence).



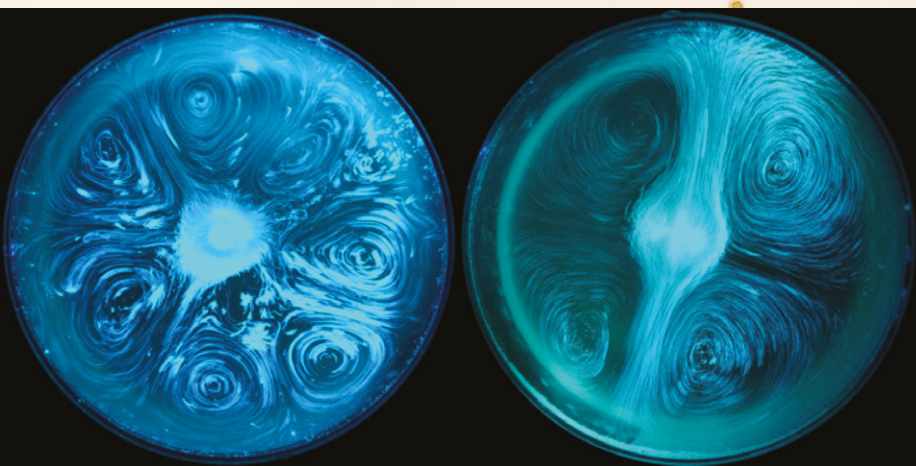


Figure 14. Mise en évidence, par tomographie laser, des mouvements de convection bidimensionnels qui agitent la surface du Champagne quelques secondes après le service (a), puis plusieurs dizaines de minutes plus tard (b) (Université de Reims).

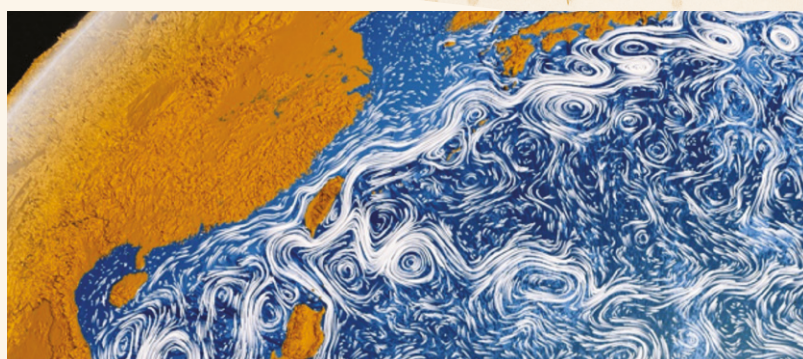


Figure 15. Les courants océaniques de surface, dans l'Atlantique nord, révélés par l'observation satellitaire (NASA).

Elle va progressivement grossir et accélérer au cours de son ascension. Cette croissance des bulles en cours d'ascension est due à la diffusion des molécules de gaz carbonique dissous, du vin vers les bulles (fig. 12).

En plus de leur rôle esthétique évident, les bulles qui remontent dans le verre permettent de mettre en mouvement le Champagne en drainant dans leur sillage un peu du Champagne au sein duquel elle s'élève. Ce processus, hélas invisible à l'œil nu, peut être mis en évidence par un procédé bien connu des scientifiques qui étudient la mécanique des fluides : la tomographie laser (fig. 13). De fait, les mouvements de convection qui agitent le Champagne renouvellent en permanence la surface du Champagne en composés volatils odoriférants, permettant ainsi une perception des arômes plus efficace que celle qui serait ressentie lors de la dégustation d'un vin tranquille au repos (fig. 14).

### Le tourbillon des océans

Prenons un peu de recul et embarquons à bord d'un satellite de la NASA. Entre juin 2005 et décembre 2007, dans le cadre du programme ECCO (Estimating the Circulation and Climate of the Ocean), la NASA décide de synthétiser l'ensemble des données satellitaires concernant la circulation océanique de surface. Le but ultime est de modéliser, à l'échelle planétaire, les mouvements des masses d'eau afin de les prendre en compte dans les modèles destinés à mieux cerner les changements climatiques du futur. Au-delà de l'avancée scientifique majeure que constitue ce programme pour la compréhension du fonctionnement de notre planète, le résultat visuel est éblouissant. Les images qui matérialisent les courants à la surface des océans sont d'une grande beauté graphique (fig. 15). A l'échelle des océans, on retrouve des systèmes tourbillonnaires qui rappellent ceux qui agitent la surface du Champagne. A la toute petite échelle d'une flûte de Champagne, le fluide bouge et s'organise spontanément en de multiples cellules convectives, tout comme le font les courants océaniques à la surface du globe. Le microcosme de la flûte de Champagne rejoint le macrososme de la surface océanique !

Figure 13. Mise en évidence, par tomographie laser, des mouvements de convection qui accompagnent l'ascension des bulles dans une flûte qui présente un train de bulles (b et détail en c), en comparaison de la flûte sans effervescence (a) (Université de Reims).

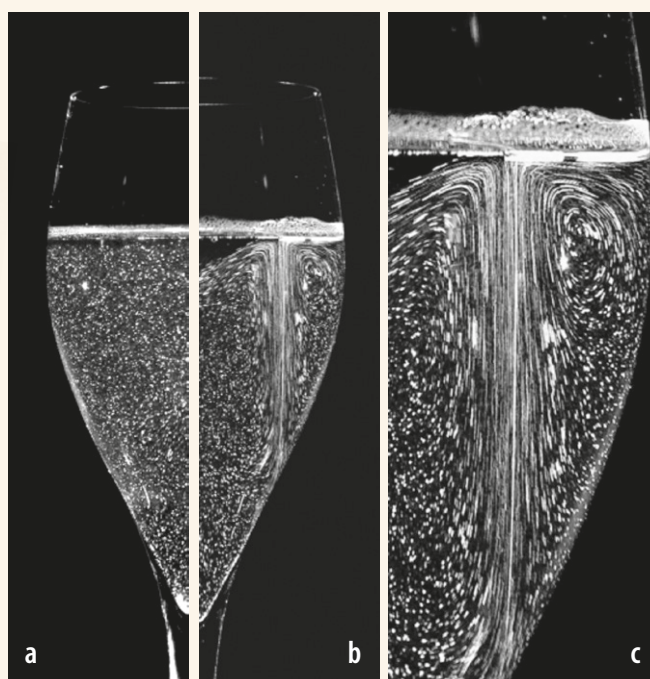


Figure 12. Train de bulles nucléées à partir d'une fibre de cellulose adsorbée à la surface d'une flûte de Champagne (barre = 100 µm) (Gérard Liger-Belair).

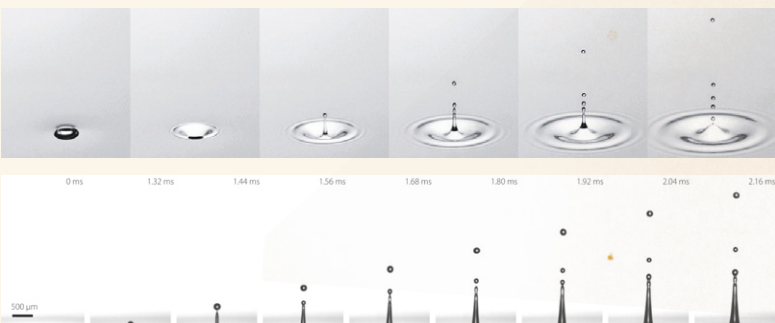


Figure 16. Deux séquences « haute-vitesse » qui illustrent le mécanisme qui accompagne l'éclatement d'une bulle à la surface d'une flûte de Champagne (Institut Jean Le Rond d'Alembert/Paris 6).

### Un aérosol chargé d'arômes...

Au cours d'une dégustation de Champagne qui ne dure que quelques minutes, des dizaines de milliers de bulles rejoignent la surface où elles éclatent, libérant ainsi le gaz carbonique et les molécules aromatiques volatiles dont elles se sont chargées pendant leur ascension. Mais leur action ne s'arrête pas là... En éclatant, chaque petite bulle projette également un mince filet de Champagne susceptible de catapulter de minuscules gouttelettes plusieurs centimètres au-dessus de la surface du verre (fig. 16). Voilà l'origine du pétilllement très caractéristique qui accompagne la dégustation du Champagne et des vins effervescents. Les centaines de gouttelettes de Champagne projetées chaque seconde sont semblables à un aérosol de Champagne qui picote et rafraîchit agréablement le visage (fig. 17). De plus, ces myriades de gouttelettes qui jaillissent à haute vitesse au-dessus de la surface du verre s'évaporent en partie et permettent ainsi une libération encore bien plus efficace des arômes du vin.

### La piqure chimique du CO<sub>2</sub> dissous

Au cours d'une dégustation de Champagne qui ne dure que quelques minutes, des dizaines de milliers de bulles rejoignent la surface où elles éclatent, libérant ainsi le gaz carbonique et les arômes dont elles se sont chargées. Cette stimulation mécanique qui accompagne l'éclatement des bulles sur votre langue et votre palais contribue à la sensation de piqure très caractéristique qui accompagne la dégustation d'un Champagne (ou d'une boisson gazeuse en général). Ces piqures mécaniques, liées aux modifications de la pression exercée sur les muqueuses du palais et de la langue lors du pétilllement, sont véhiculées par le nerf trijumeau. Ce nerf se subdivise en trois branches innervant entièrement les muqueuses de la face, l'une dans la cavité buccale, un autre dans la région nasale et la dernière au niveau oculaire. C'est pourquoi lorsque nous consommons certains aliments (comme par exemple la moutarde ou le piment), la sensation de picotement remonte de la bouche vers le nez ou les yeux. Cette sensation est naturellement d'autant plus marquée que le Champagne est effervescent (donc riche en CO<sub>2</sub> dissous). C'est la raison pour laquelle les vieux Champagnes, moins riches en gaz carbonique dissous suite aux fuites de CO<sub>2</sub> via le bouchon poreux, vous apparaissent aussi beaucoup moins « vifs » que les Champagnes jeunes. Mais ça n'est pas l'unique raison...

Dans votre bouche, en plus de cette action mécanique liée aux bulles qui éclatent, le CO<sub>2</sub> exerce également une piqure « chimique », totalement indépendante de l'éclatement des bulles. C'est la découverte fascinante que l'on doit au professeur Charles Zuker et à ses collègues de l'université de Columbia à New York, qui ont mené une série d'expériences d'électrophysiologie et de manipulations génétiques sur des souris. Leurs conclusions sont sans appel. En plus de la stimulation mécanique qui accompagne l'éclatement des bulles, le CO<sub>2</sub> dissous active des détecteurs biochimiques – des enzymes – logés dans des cellules réceptrices aux saveurs acides. Le CO<sub>2</sub> dissous provoque ainsi une piqure chimique qui participerait en grande partie à la sensation de piqure lorsque vous portez le vin en bouche.



Figure 17. L'éclatement des bulles à la surface du Champagne projette un brouillard de gouttelettes plusieurs centimètres au-dessus de la surface du Champagne (Alain Cornu/Collection CIVC).

#### Pour en savoir plus

- Liger-Belair G., Demarville D., Onfray M., 2014. Champagne, la vie secrète des bulles (Ed. Cherche-Midi). Paris (F). 144 p.
- Liger-Belair G., Polidori G., 2015. Nouveau voyage au cœur d'une bulle de Champagne (Ed. Odile Jacob). Paris (F). 192 p.

#### Bibliographie

- Juhlin R., 2004. 4000 Champagnes (Ed. Flammarion). Paris (F) 386 p.
- Marchal R. et al, 2011. Champagne, le Vin secret (EPURE). Reims (F). 386 p.
- Pfister R., Les Parfums du Vin, 2013 (Ed. Delachaux et Niestlé). Paris (F). 256 p.
- Ribéreau-Gayon P., Dubourdieu D., Donèche B, Lonvaud A., 2012. Traité d'œnologie - Tome 1 – Microbiologie du vin et Vinifications - 6e édition (Ed. Dunod). Paris (F). 676 p.
- Valade M., Laurent M., 1999. Le vigneron Champenois 6, 67.
- Valade M., Laurent M., 2001. Le vigneron Champenois 3, 40.
- www.effervescents-du-monde.com

### CONCLUSION

Les efforts placés dans la recherche permettent de progresser à grands pas dans la compréhension des vins effervescents. Elle a encore une belle carte à jouer tant ce mode d'élaboration est varié et l'effet du CO<sub>2</sub> beaucoup plus complexe qu'il ne pourrait paraître de prime abord. Les exemples sont nombreux, ne serait-ce que par exemple les mécanismes neurophysiologiques de diminution des perceptions olfactives qu'il semble induire à travers le traitement de l'information olfactive (Pfister 2013).

En matière de marché, les chiffres sont éloquentes, l'élaboration de vins effervescents en Suisse a encore de l'avenir devant elle. L'intérêt du consommateur est là, les conditions climatiques favorables à la production aussi, plusieurs initiatives haut de gamme ont vu et voient le jour ; l'aventure n'est pas près de s'arrêter, pour autant qu'effervescence rime toujours plus avec qualité.