

Evolution des mélanges vitrifiables et de la composition chimique des bouteilles de Champagne au cours du 20^{ème} siècle

Evolution of glass batch and chemical composition of Champagne bottles during the XXth century



Marie-Hélène Chopinet
Saint Gobain Recherche

Au dix-neuvième siècle, des changements importants découlent de "l'impulsion immense qu'ont donné aux sciences naturelles les grands génies qui ont illustré la fin du dix-huitième siècle et qui ont eu de si dignes successeurs (...). Les arts industriels ne consistent plus seulement dans des séries de procédés empiriques, de secrets d'atelier, ce sont des applications directes de la science" [1]. Dans les faits on assiste à une évolution de la nature et de la qualité des matières premières, au passage du four à pot au four à bassin à la fin du dix-neuvième siècle puis au passage de l'antique procédé de soufflage à la bouche à un procédé mécanique [2]. Durant la première moitié du vingtième siècle, après la première guerre mondiale qui avait coûté la vie

à de nombreux verriers, on assiste à l'automatisation complète du procédé, de l'enfournement des matières premières jusqu'à la cuisson des bouteilles. Cette évolution majeure, d'ailleurs analogue pour tous les procédés verriers, est précédée et accompagnée de l'étude des compositions chimiques afin que les propriétés du matériau conviennent aux exigences des machines.

La seconde moitié du siècle voit des modifications notables des bouteilles : allègement grâce à de nombreux progrès sur la maîtrise du procédé de soufflage, utilisation renforcée du recyclage du calcin, amélioration de la protection anti-UV du vin grâce à la mise au point de compositions à base de verre réduit...

During the first half of the twentieth century, after the first world war during which many glass-makers died, the process was completely mechanized, from the batch preparation to the annealing of the bottles. This major evolution, similar for all the glass manufacturing processes, was prepared by studies of the chemical compositions to adapt the properties of the material to the machine requirements.

During the second half of the century many important modifications of the bottles are made : weight can be reduced due to improvements of the process, cullet recycling is increased, wine anti-UV protection is enhanced through the use of sulphide-containing reduced glasses.

Les mélanges vitrifiables à la fin du 19^{ème} siècle

Outre l'amélioration du contrôle grâce au développement de la chimie analytique, les évolutions relativement importantes du mélange vitrifiable ne modifient pas fondamentalement la composition de base du verre à bouteille :

- La substitution définitive des soudes et cendres par du sulfate de soude avec la disparition du chlorure de sodium des mélanges vitrifiables liée à un bouleversement majeur du procédé, le remplacement des fours à pots par des fours à bassin.
- La légère diminution des

teneurs en fondants du fait de la généralisation de l'invention de C.W. Siemens (1861), le four à gazogène et à régénérateurs permettant un bien meilleur rendement thermique.

Henrivaux, en 1897 [3], indique des compositions chimiques de verres à bouteilles :

| | VERRE CLAIR COGNAC | CHAMPAGNE | VAUXROT | FOURMIES |
|-----------|--------------------|-----------|---------|----------|
| SILICE | 62,54 | 61,9 | 59,7 | 62,5 |
| ALUMINE | 4,42 | 4,44 | 2,39 | 2,93 |
| OXYDE FER | 1,34 | 1,85 | 2,21 | 2,17 |
| CHAUX | 20,47 | 17,95 | 21,4 | 21,3 |
| MAGNÉSIE | 5,41 | 6,38 | 8,0 | 4,0 |
| SOUDE | 4,73 | 6,16 | 6,1 | 6,8 |
| POTASSE | 0,94 | 1,13 | 0 | 0,5 |

Tableau 1. Compositions de la fin du dix-neuvième siècle

Par rapport aux compositions antérieures [1], on note cependant l'abaissement notable de la teneur en oxyde de fer remplacé par de la magnésie, ce qui conserve les propriétés des verres excepté la teinte qui devient nettement plus claire : on ne peut plus vraiment parler de verre "noir" comme au début du siècle.

Rappelons le commentaire de Léon Appert, écrit en 1911 [4] et qui retrace bien le cheminement du verre à bouteilles jusqu'à l'aube du vingtième siècle : "Il est bon de rappeler que le verre n'avait été regardé longtemps que comme une matière d'un usage peu répandu, difficile et coûteuse à produire (...) et que ce n'est que plus tard, et par une expérience prolongée qu'on était arrivé à savoir produire d'une façon économique un verre d'assez médiocre apparence comme coloration et comme pureté, mais dont la principale qualité était d'être obtenu dans des conditions de prix fort réduites, dans la composition duquel on ne pouvait par suite ne faire rentrer que des matériaux de peu de valeur, qu'on était à même de trouver avec facilité et un peu partout (...).

Le verre ainsi obtenu était généralement très coloré, il était

même quelquefois complètement noir, mais cette coloration ne présentait que peu d'inconvénients, étant donné l'usage qui devait en être fait ; il possédait, par contre, cette autre qualité qui était de se durcir rapidement en se refroidissant, facilitant ainsi aux ouvriers le façonnage de la bouteille et rendant cette opération d'autant plus économique qu'ils étaient



Verrerie de Cognac. Fabrication mécanique en 1900

dans l'obligation de procéder à sa confection avec une extrême rapidité.

Cette fabrication très simple et en même temps si bien appropriée au résultat à obtenir n'a pas été sensiblement modifiée depuis ce long espace de temps : si la fabrication moderne permet d'obtenir des verres plus purs et mieux raffinés, moins colorés ou de coloration plus régulière, la faible malléabilité qui en est un des caractères leur a été conser-

vée et les conditions de façonnage et de main d'oeuvre en sont restées par suite exactement les mêmes."

L'introduction du procédé semi-automatique : la machine Boucher

La fin du dix-neuvième siècle (vers 1880) avait vu l'invention de moules tournants remplaçant la rotation de la bouteille dans le moule par le souffleur, sans que ce procédé ne nécessite d'évolution des compositions de verre. "La fabrication des bouteilles constituait (encore) une des professions les plus pénibles et elle exigeait un apprentissage assez long, généralement de sept à huit années. Cette situation, et la difficulté qu'éprouvaient de plus en plus les fabricants à recruter leur personnel attirèrent l'attention d'un

grand nombre d'inventeurs qui se mirent à l'œuvre pour combiner des machines qui permettraient de fabriquer les bouteilles en supprimant le soufflage et les manipulations pénibles qu'exige la mise en œuvre du verre" [4]. En 1894, Claude Boucher, à Cognac, met au point la première machine française semi-automatique "fonctionnant pratiquement et produisant des bouteilles qui peuvent avantageusement soutenir la compa-

| | HENRIVAUX 1897 [3] | COGNAC 1898 [4] | COGNAC 1899 [4] | DAMOUR 1929 [5] | MACHINE LYNCH [5] | TURNER 1924 [10] |
|-----------|-----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------|---------------------|
| SILICE | 61,9 | 70 | 69,5 | 62,5 | 70 | |
| CHAUX | 17,95 | 17 | 16 | 17,22 | 13,5 | 10 |
| MAGNÉSIE | 6,38 | - | - | 5,32 | - | |
| SOUDE | 6,16 | 9 | 10,5 | 7,32 | 11,5 | 16 |
| POTASSE | 1,13 | - | - | 0,93 | - | |
| ALUMINE | 4,44 | 2 | 2 | 3,92 | 3 | |
| FER | 1,85 | 1 | 1 | 2,17 | 2 | |
| MANGANÈSE | - | 1 | 1 | - | - | |

Tableau 2. Evolution des compositions jusqu'à l'automatisation

raison avec des bouteilles fabriquées à la main par les procédés habituels" [5].

Contrairement à d'autres machines, selon l'inventeur, cette machine n'entraîne pas de modification de la composition du verre. "On a objecté aux procédés de fabrication mécanique des bouteilles, en général, de ne pas permettre d'employer le verre à bouteilles, tel qu'il est fabriqué ordinairement, ce verre très chargé en bases terreuses étant trop peu malléable, trop sec, pour se mouler sans se figer au contact du moule, rendant ainsi impossible la terminaison de la bouteille. Avec la machine Boucher, cette objection est sans portée et le procédé (...) permet d'employer un verre de composition quelconque. (...) Néanmoins, l'inventeur, avec beaucoup de raison, conseille d'augmenter très légèrement l'alcalinité de ces compositions, en y ajoutant une très faible dose de soude, ce qui n'influe que d'une façon insensible sur leur prix de revient, mais ce qui, par contre, améliore de beaucoup la qualité de la bouteille comme apparence et comme solidité." [4]

La comparaison entre des compositions (de verre clair) utilisées

par Claude Boucher dans son usine de Cognac [4] avec les compositions de bouteilles citées par Henrivaux en 1897 (tableau 2) montre pourtant des différences non négligeables : augmentation de la silice et de l'oxyde de sodium, diminution de l'oxyde de calcium et disparition de la magnésie. La formulation est toujours excédentaire en oxyde de calcium par rapport à l'oxyde de sodium mais la teneur en silice est très proche de celle du verre à vitre, donc la viscosité plus élevée que celle d'un verre à bouteille foncé.

L'amélioration considérable du four, et surtout du système de cueillage du verre dans le four, apportée par Claude Boucher rend cette évolution possible. "Le verre qui a été fondu et affiné à une température très élevée, devient suffisamment pâteux dans les plongeurs pour que les ouvriers puissent le cueillir aisément. Les bouteilles fabriquées mécaniquement sont également plus belles lorsque le verre est cueilli dans les plongeurs parce que le verre étant moins fluide, l'ouvrier peut enrouler en une seule fois, autour de sa canne, la quantité

nécessaire à la fabrication d'une bouteille" [6].

On peut penser que les compositions effectivement utilisées en Champagne étaient cependant plus proches de l'ancienne composition que de celle qu'utilisait Claude Boucher lui-même à Cognac. En effet, dans le Cours de Verrerie de Damour, en 1929 [6] les compositions de verre à bouteilles de Champagne citées (tableau 2) sont très similaires à celles de la fin du dix-neuvième siècle et ont probablement été produites par soufflage avec la machine Boucher.

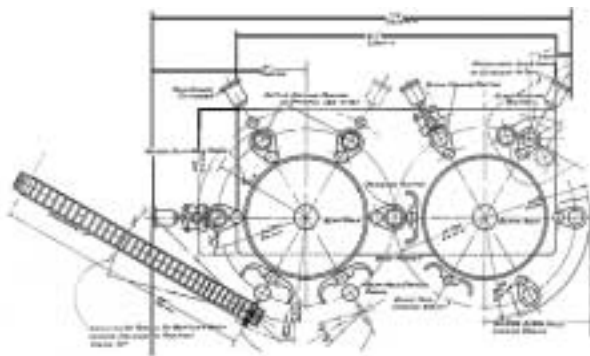
Il ne semble d'ailleurs pas y avoir eu de problème particulier pour mettre en œuvre la machine Boucher : "L'utilisation de cette machine par les verreries de Champagne, après la guerre aussitôt qu'elles ont été en état de travailler (1923), a représenté des avantages considérables, à la fois d'ordre social, d'ordre technique et d'ordre économique. (...) Seul le cueilleur approchait de l'ouvreur (...) le cycle de fabrication était très court, ne nécessitant aucun réchauffement du verre comme dans la fabrication à la main. Les bouteilles étaient moins belles peut-être, mais homogènes et donc solides." [7]

Modifications de composition nécessitées par l'automatisation du formage

Exigences des

nouveaux procédés

Contrairement à la machine Boucher, la machine Lynch, introduite en France par Saint-Gobain vers 1925 pose, a priori, des problèmes techniques : "En effet, le cycle de production est trop long sans possibilité de réchauffer le verre en cours de fabrication. La paraison d'abord, puis la bouteille en cours de soufflage ensuite, restent trop longtemps dans leurs moules respectifs. De plus, ces moules, pendant les trois-quarts du temps de rotation des plateaux, restent vides et se refroidissent. Conclusion, les superbes bouteilles ainsi fabriquées, comportaient encore de fortes tensions internes que la recuisson ne ferait pas disparaître." [7]



Machine Lynch

Le verre se fige trop rapidement, ce qui ne permet pas de terminer le formage dans de bonnes conditions d'où des irrégularités d'épaisseur et autres défauts conférant à la bouteille de mauvaises propriétés mécaniques. Il doit donc être modifié pour tenir compte de l'évolution du procédé. Les fabricants de bouteilles champenoises auront de

grandes difficultés à y parvenir : ils doivent en effet aussi conserver au verre sa durabilité vis-à-vis du vin de Champagne.

Rôle de la viscosité du verre dans le processus de formage "Le comportement d'un verre au formage dépend de sa composition puisque cette dernière influe (...) sur la vitesse de figeage. Les proportions admissibles des constituants varient avec l'ouvrier car certains d'entre eux et certaines machines se contentent d'un verre plus chaud que d'autres et il est évidemment intéressant d'être capable de travailler un verre très chaud s'il fige très vite" mais les machines ne sont pas toujours à même d'utiliser un verre de ce type. En fait, l'ouvrabilité d'un verre peut être caractérisée par sa viscosité ou plus exactement par sa variation avec la température qui détermine la

vitesse de figeage lors du refroidissement. Les premières études systématiques de la viscosité du verre datent du début du vingtième siècle, en Angleterre [8]. Les premiers résultats pratiques apparaissent vers 1918 : "Soude - rend le verre plus fluide et réduit la vitesse de figeage

Chaux - rend le verre moins fluide à basse température, plus fluide à haute température et

augmente la vitesse de figeage
Silice - impose une viscosité élevée qui ne change pas vite"
Les modifications des compositions de verre (cf tableau 2) imposées par l'automatisation découlent de ces observations : augmentation des teneurs en oxyde de sodium (Na_2O) et en silice (SiO_2) et limitation de la teneur en oxyde de calcium

(CaO), ce qui élargit le domaine de température où le verre est formable, non encore figé : le palier de travail. On notera que, bien avant cette époque, la composition du verre clair de Cognac avait déjà nettement évolué dans cette direction.

Problème de la résistance chimique des bouteilles

En ce qui concerne la bouteille champenoise, entre autres, se pose le problème de la résistance chimique : comme le signale Turner [9], "la mise en œuvre de nouvelles machines automatiques (impose) un verre relativement tendre. On remplit cette condition en abaissant la teneur en chaux et augmentant proportionnellement la teneur en soude. Il convient de déterminer une fois pour toutes jusqu'à quel point on doit pousser ce processus d'attendrissement, de façon à établir les limites dans lesquelles on fabrique un verre commercial suffisamment durable". En effet, "plus on réduit la teneur en alcali, plus stable est le verre et, incidemment, moins il est cher" [10].

Les études menées par Turner et son équipe en 1924 [10] établissent donc des limites aux modifications possibles : "un verre contenant au moins 10 pour cent de chaux et pas plus de 16 pour cent de soude peut être travaillé de manière satisfaisante sur les machines automatiques et les fabricants qui suivent cette règle possèdent un avantage par rapport à ceux dont le verre contient davantage de soude et donc un niveau de durabilité bien inférieur."

L'influence de la teneur en alumine est également connue : "L'absence de pureté des matières utilisées pour produire des bouteilles conduit involontairement à des bouteilles durables.

En effet, le sable habituellement employé contient de notables quantités d'alumine qui participe efficacement à la durabilité." [8]

Pour parvenir au but, un verre à la fois durable et formable, il convient donc d'accroître la teneur en alumine du verre en contrepartie de l'élévation de la teneur en soude et de la diminution de la teneur en CaO (tableau 2). Ces opérations induisent une augmentation de la teneur en silice.

En 1924, le monde verrier disposait donc d'une réponse scientifique fiable en terme de composition chimique du verre, à la fois au problème de la durabilité et au problème de l'ouvrabilité (voir tableau 2 : recommandation Turner).

Utilisation du carbonate de sodium Solvay

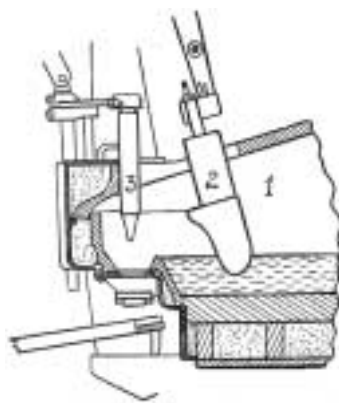
Une évolution du mélange vitrifiable a certainement facilité la transition : la commercialisation d'un carbonate de sodium fabriqué par le procédé Solvay, inventé dès 1865, mais nouvellement industrialisé..., beaucoup plus économique que le carbonate de sodium Leblanc, donc accessible aux fabricants de bouteilles. En 1926, Turner indique que "la substitution du sulfate de sodium par le carbonate de sodium commença vers 1916/1917 dans ce pays (l'Angleterre) et il ne serait pas exagéré de dire que ce changement a permis d'augmenter la vitesse de fusion de presque 40 pour cent" [11].

Cette augmentation considérable de la vitesse d'élaboration a pu rendre plus facile l'élévation de la teneur en silice (+10% environ) induite par la modification de la composition du verre. L'alumine complémentaire est introduite de plus en plus sou-

vent par des feldspaths ou autres minéraux ou roches riches en alumine, par exemple la phonolithe.

Automatisation du cueillage – Apparition du feeder

Ces années voient des évolutions des machines de formage mais ce qui aura le plus de répercussions sur la composition du verre est la mise au point du prélèvement automatique du verre dans l'installation de fusion en remplacement du cueillage manuel. Outre les systèmes par succion, les inventeurs se penchent sur des systèmes de prélèvement par gravité à partir d'un orifice pratiqué dans l'installation de fusion. Les premiers travaux portent sur un écoulement contrôlé de verre fluide, en fait difficilement maîtrisable. Dès 1920, il apparaît qu'il est plus facile de manipuler le verre plus visqueux. On voit alors apparaître des systèmes à "propulsion" (assez vite, un plongeur) qui font sortir le verre d'une extension du four, le "feeder", sous la forme d'une "paraison", masse de verre compacte et de forme contrôlée.



Feeder Hartford-Fairmont

Or "les propriétés particulières du verre fondu rendent le problème de sa manipulation mécanique et en particulier de son transfert automatique à partir du four extrêmement compliqué. (...) Le verrier à la main (...) modifie ses opérations en fonction des variations de caractéristiques physiques. La durée du cueillage, le marbrage, le soufflage et le choix du moment du contact avec le moule sont à sa discrétion. Son adresse lui permet de compenser les inconvénients nés de changements éventuels de propriétés physiques du verre fondu" [12].

Par contre, avec un prélèvement automatique, sans contrôle humain, "le maintien du verre à une viscosité correcte est d'une importance majeure si on doit conserver constant le poids de la paraison qui tombe du feeder dans la mesure où (...) plus le verre est fluide, plus lourde est la paraison et vice-versa. Comme il n'est pas facile de maintenir le bassin de travail d'un four à une température parfaitement constante, il est intéressant d'avoir un verre dont la viscosité évolue lentement avec la température dans ce domaine" [13].

L'automatisation complète du procédé oblige donc les verriers à adopter définitivement le type de verre plus riche en soude et appauvri en chaux décrit par Turner en 1924 [10] de manière à allonger autant que possible le palier de travail. Cette évolution indispensable demande un ajustement assez précis de toute la composition pour que la durabilité soit maintenue.

L'automatisation complète en sera d'autant plus lente que les exigences dans ce domaine sont plus grandes, ce qui est le cas de la champenoise.

La seconde moitié du vingtième siècle

Evolution des oxydes majeurs
Le graphique [1] (figure 1 - Evolution des éléments majeurs) donne les teneurs en oxydes alcalins et alcalino-terreux des verres de teinte Champagne des usines de Vauxrot puis Oiry de Saint Gobain¹ durant la seconde moitié du vingtième siècle. A partir de l'automatisation complète du procédé, de l'enfournement des matières premières à la mise à l'arche de recuisson, effective en 1947, on observe peu d'évolution des éléments majeurs du verre jusqu'en 1962. La composition est très proche des recommandations de Turner en 1924 : 10 % d'oxydes alcalino-terreux et 15-16 % d'oxydes alcalins.

Evolution du système colorant
Par contre le système colorant change plusieurs fois durant cette même période, comme nous allons le voir.

En 1947, l'oxyde de manganèse assure l'oxydation du fer dans le verre, ce qui lui confère une certaine absorption dans l'ultraviolet favorable à la conservation des vins (figure 2 - 2,95 % Fe_2O_3).

Vers 1956, l'Histoire est à l'origine d'un changement important dans le système colorant : le Maroc devient indépendant et le prix de l'oxyde de manganèse augmente très rapidement. Cet élément oxydant est donc progressivement remplacé par le bichromate de potassium (figure 3 - L'évolution du système colorant). Dans l'analyse du verre Champagne de Vauxrot en 1962 on trouve 0,1 % d'oxyde de manganèse et 0,07 % d'oxyde de chrome combinés à 1 % d'oxyde de fer. Le bichromate de potassium apporte Cr^{III}

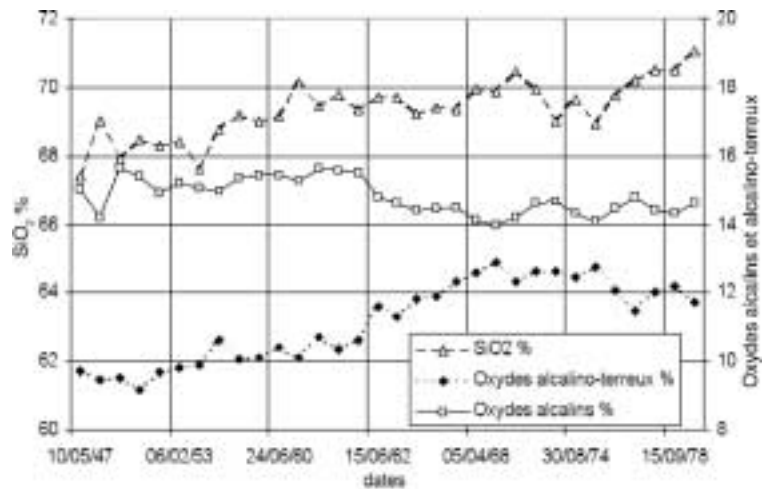


Figure 1. Evolution des éléments majeurs du verre durant la seconde moitié du XXème siècle

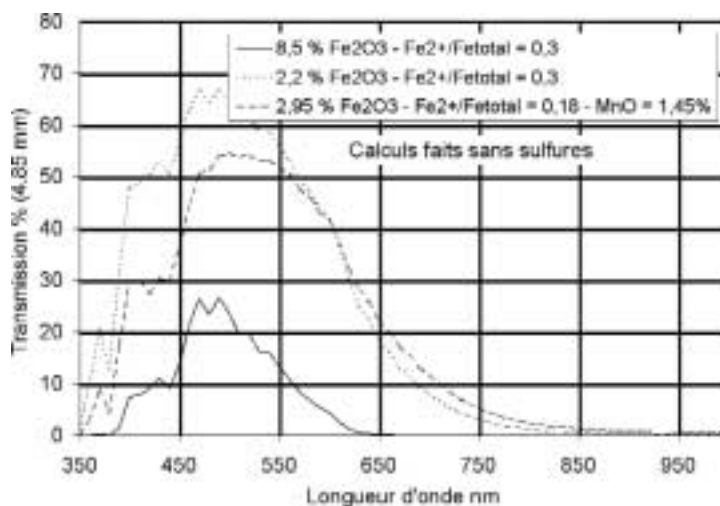


Figure 2. Evolution du spectre d'absorption durant la première moitié du XXème siècle

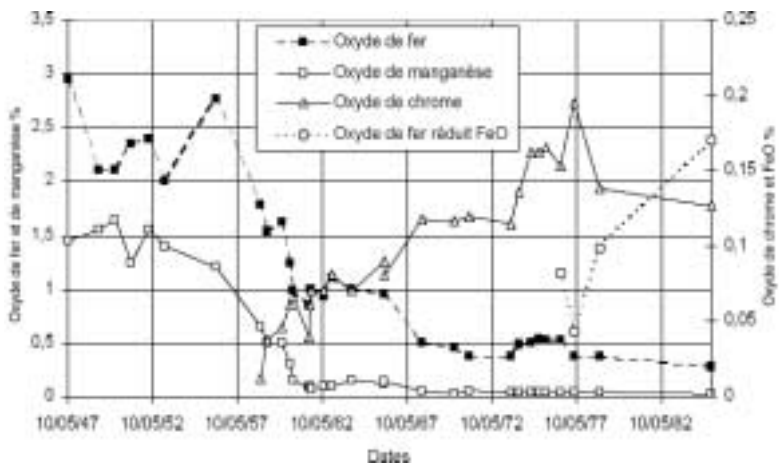


Figure 3. Evolution des colorants durant la seconde moitié du XXème siècle

1. Analyses effectuées et archivées à Saint-Gobain Recherches depuis 1947

et fort probablement Cr^{VI} , ce qui a un effet considérable sur la courbe de transmission proche de l'ultraviolet même à très basse teneur (figure 4 - Cr^{III} seul et 3-5 ppm Cr^{VI}). La présence de cette faible teneur en Cr^{VI} est suffisante pour retrouver la protection UV offerte par le mélange précédent à 2,95 % d'oxyde de fer et 1,45 % d'oxyde de manganèse (1947). A la fin de cette période, le bichromate de potassium est remplacé par la chromite de fer. Cela n'assure pas la protection anti-UV, le verre étant moins oxydé (figure 4 - Cr^{III} seul).

En 1968, la moitié du fer restant est substituée par du chrome, ce qui permet de maintenir la teinte tout en facilitant encore davantage le processus d'élaboration du verre, car le chrome n'absorbe pas le rayonnement infrarouge et permet donc un bon transfert thermique de la flamme vers le verre dans les fours de fusion.

Entre 1968 et 1972, la composition chimique se stabilise : les teneurs en SiO_2 et CaO sont plus élevées qu'auparavant, ce qui indique que la vitesse des machines a également augmenté, la courbe de viscosité étant plus raide.

D'un verre oxydé à un verre réduit dans les années 80
La dernière évolution, majeure car elle induit de profondes modifications de l'élaboration du verre, se déroule dans les années 1980 : la teinte Champagne passe en verre "réduit". Le graphique 3 montre une augmentation nette de la teneur en fer réduit FeO . Les propriétés anti-UV sont alors assurées par des sulfures de fer et non plus par la combinaison Fe^{III} -chrome (figure 5 - 1978 et 1985). L'utilisation de Cr^{VI} avait été envisagée puisqu'il est très colorant

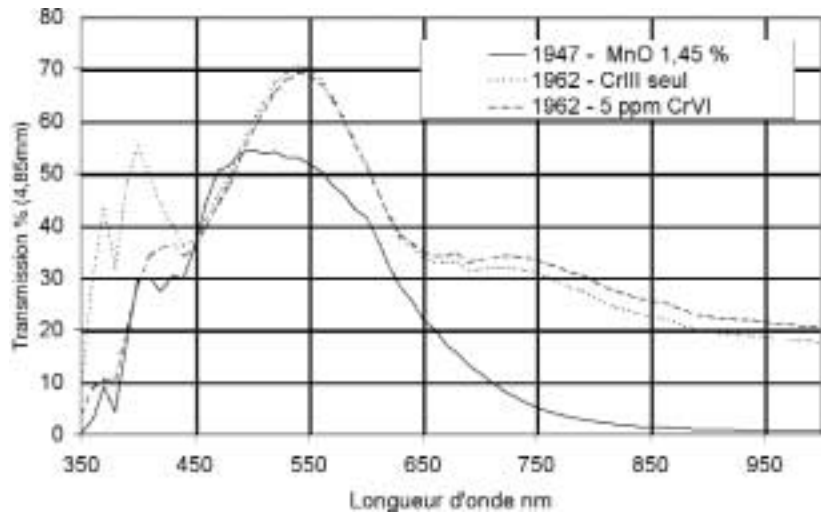


Figure 4. 1947 - 1962

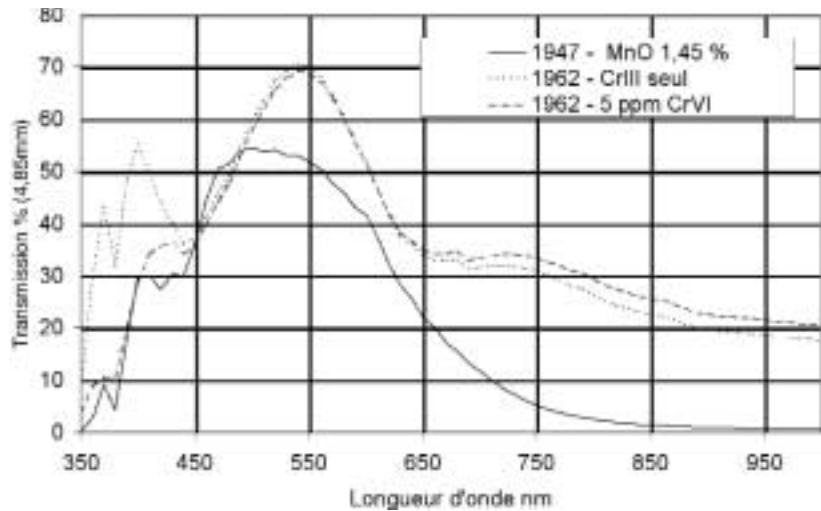
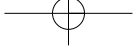


Figure 5. 1978 - 1985

mais rejeté du fait de problèmes d'affinage liés à l'élaboration de verres très oxydés. Cela permit l'abaissement de la teneur totale en fer jusqu'à 0,3 % (figure 3). La teneur en Fe^{II} augmente de 0,1 à 0,17 %, le rapport $\text{Fe}^{\text{II}} / \text{Fe}_{\text{total}}$ montant à 0,6 puis 0,7 %. Un avantage au changement, qui ne se révélera d'ailleurs qu'ultérieurement, est la disparition complète du chrome oxydé (Cr^{VI}) des verres, cet élément étant reconnu comme nocif depuis ces dernières années, contrairement au chrome réduit (Cr^{III}) encore présent.

Ceci dit, le verre ambre avait toujours eu une mauvaise réputation auprès des verriers, non pas à cause de problème d'affinage mais en raison de difficultés de fusion et de rebullage : la basse teneur en sulfate et la teneur élevée en réducteur introduites dans le mélange s'opposent au mécanisme d'homogénéisation généré par le sulfate dans les verres oxydés. Les verriers eurent à apprendre à travailler avec ce type de verre aux tirées habituellement élevées pratiquées en verre creux.



Introduction du recyclage du calcin ménager

L'utilisation de "groisil", du verre de récupération, était tout à fait courante depuis les débuts de la bouteille, bien que peu recommandée pour la champenoise car cela rendait le verre "sec et cassant". Théoriquement, l'addition de verre dans un mélange vitrifiable accélère pourtant l'élaboration en économisant l'énergie de réaction entre sable et carbonate de sodium. A l'origine du problème rencontré se trouve fort probablement la difficulté que représente le mélange homogène de deux verres déjà élaborés.

L'utilisation du four à bassin dans lequel se développe une convection intense au sein du verre fondu, le développement de l'appoint électrique et la meilleure maîtrise des processus d'affinage ont résolu ce problème de manière satisfaisante. Les mélanges vitrifiables de cette seconde moitié du siècle contiennent de plus en plus de "calcin" ou "groisil".

C'est d'ailleurs durant cette période que le recyclage des bouteilles récupérées se répand. Les verriers sont donc amenés à introduire de plus en plus de calcin de recyclage dans les fours qui fabriquent du verre de couleur. Cela ne pose pas de problème insurmontable, même avec près de 80% de calcin de recyclage comme aujourd'hui et l'utilisation de verres réduits.

L'amélioration des performances des installations de fusion et de formage conduit à une homogénéisation conforme à la qualité mécanique recherchée et à une diminution des défauts dans les bouteilles, ce qui rend leur comportement mécanique beaucoup plus régulier.

Diminution de la teneur en sodium

Ces améliorations permettent enfin

aux verriers de diminuer légèrement les teneurs en Na_2O de ces verres tout en augmentant les teneurs en alcalino-terreux comme on le voit sur le graphique [1], ce qui leur confère une durabilité renforcée... à moindre coût et à comportement mécanique égal.

Conclusion

En conclusion, citons une dernière fois G. Bontemps en 1868 : "On donne le nom de bouteille aux vases de verre plus ou moins foncé en couleur, ayant un col assez étroit, de manière à pouvoir être facilement bouché, généralement avec un bouchon de liège ; elles sont, à l'exclusion de toute autre matière, en usage pour contenir les vins. Les bouteilles servent aussi à renfermer d'autres liquides spiritueux et d'autres matières liquides ou solides dont on craint l'évaporation ou l'évent. Cette fabrication offre un grand intérêt, en raison de son importance ; elle s'élève, en effet à une somme très considérable ; car, en France seulement, on fabrique de cent à cent quinze millions de bouteilles. [Les vins mousseux] seuls sont estimés employer vingt-cinq à trente millions de bouteilles, tant pour la consommation intérieure que pour l'exportation".

L'avenir de la bouteille champenoise semblait prometteur aux hommes du dix-neuvième siècle. La suite de l'histoire a montré qu'ils avaient raison (300-350 millions de bouteilles uniquement pour les champenois en 1999) même si les évolutions techniques successives se sont parfois révélées ardues du fait des exigences imposées par le procédé de fabrication du Champagne en ce qui concerne les propriétés mécaniques et chimiques des bouteilles. Cette histoire de deux ou trois siècles est celle d'un couple inséparable, le verrier et le

fabricant de Champagne.

Cette histoire est également fascinante à écrire car elle révèle que, malgré l'ancienneté de la verrerie et donc la tendance des verriers à l'empirisme, dès la fin du dix-huitième siècle, dès que la science toute neuve qu'est la chimie se développe, ou bien aux moments où les difficultés techniques se font plus grandes, au début du vingtième siècle par exemple, des travaux scientifiques se trouvent suscités et sont très rapidement mis en application par les verriers : on pense à l'utilisation constamment optimisée des alcalins ou bien aux travaux sur la viscosité ou la durabilité.

Il s'agit là d'un bel exemple de coopération entre ceux qu'on appellerait maintenant des chercheurs, des verriers et des champenois dans le but de répondre au mieux aux attentes du ... client final, le consommateur de Champagne ■

Bibliographie

- [1] Bontemps, G., 1868, Guide du verrier, Paris
- [2] Chopinet, M-H., Verre, 6(2000), 5, p. 63
- [3] Henrivaux, J., Le verre et le cristal, (1897)
- [4] Appert, L., Henrivaux, J., La verrerie au XXème siècle, 1911
- [5] Bary, P., Herbert, J., La verrerie, 1941
- [6] Damour, E., Cours de verrerie, 1929, réédité en 1951
- [7] Givelet, J., Les verreries de Courcy, Document aimablement fourni par A. Orsini
- [8] Turner, W.E.S., J. Soc. Glass Technology, 3(1919), p. 43
- [9] Turner, W.E.S., J. Soc. Glass Technology, 3(1919), p. 228
- [10] Turner, W.E.S., J. Soc. Glass Technology, 8(1924), p. 7
- [11] Turner, W.E.S., J. Soc. Glass Technology, 10(1926), p. 313
- [12] Dowse, G., Meigh E., J. Soc. Glass Technology, 5(1921), p. 135
- [13] English, S., J. Soc. Glass Technology, 8(1924), p. 207

