

La clarification des moûts de pomme par gélification des pectines

Le procédé appelé anciennement "défécation" figure sans doute parmi les procédés traditionnels les plus spécifiques de l'élaboration du cidre français bien qu'il ait été également utilisé en Angleterre sous le nom de "Keeving process". Ce procédé a été décrit depuis longtemps (Jacquin, 1955 ; Tavernier, 1961 ; Warcollier, 1928) et a toujours été considéré comme une étape favorable à la qualité des cidres mais sa réussite est longtemps restée aléatoire. Cependant, dès 1928, alors que le mécanisme en était encore relativement mal connu, Warcollier (Warcollier, 1928) citait déjà une bonne partie des conditions qui favorisent son bon déroulement : brasser des pommes saines à bonne maturité, ralentir le début de fermentation en pressant par temps froid, réaliser un cuvage des fruits broyés et ajouter du calcium au moût pour favoriser la "coagulation des pectines". Depuis, ce procédé a donné lieu à de nombreuses études par l'INRA du Rheu au cours des années 80 (Baron, Bougault, Bergman, & Darvill, 2005 ; Baron & Drilleau, 1982 ; Baron, Prioult, & Drilleau, 1981 ; Baron, Rombouts, Drilleau, & Pilnik, 1980 ; Calvez, Baron, & Drilleau, 1977 ; Denes, Baron, Renard, Péan, & Drilleau, 2000 ; Drilleau, 1973 ; Le Quéré, Baron, & Drilleau, 1986 ; Le Quéré, Latreille, Rouxel, & Drilleau, 1988). Ces travaux ont permis de mieux en comprendre le mécanisme et de définir un procédé plus fiable en préconisant l'ajout d'une enzyme et d'un sel de calcium soluble en quantités bien définies. Ainsi la fiabilité a pu être améliorée et le taux de succès du procédé, initialement compris entre 20 et 30 % a pu être porté à près de 95 %. Les causes d'échec restantes semblaient correctement identifiées et avaient surtout été attribuées au mauvais état sanitaire de la matière première. Mais, depuis une dizaine d'années il semble qu'il y ait un taux d'échec beaucoup plus important d'où la nécessité de refaire le point sur ce procédé et sur ses causes d'échec. Par ailleurs, devant les difficultés qu'ils rencontrent à réussir la clarification par ce procédé, certains cidriers y renoncent et préfèrent opter pour un autre mode de clarification, la dépectinisation, habituellement utilisée pour clarifier les jus de pomme et qui consiste en la réalisation d'un débouillage par sédimentation. Il est donc utile de rappeler ce que nous connaissons aujourd'hui à propos de la technique de gélification des pectines et en premier lieu son intérêt et son principe.

Pourquoi clarifier les moûts par "gélification des pectines"

Cette technique présente plusieurs intérêts pour les cidriers. Le premier est d'ordre technologique : clarifier c'est-à-dire éliminer les bourbes qui rendent le moût trouble. Le second est d'ordre fermentaire et qualitatif : un ralentissement de la fermentation et une amélioration de la qualité olfactive du cidre et selon certains cidriers sa stabilité.

Le premier objectif d'une clarification est d'éliminer le trouble et de faciliter la filtration. La suppression des bourbes et de la pectine diminue à la fois la viscosité du moût et la quantité de matière

en suspension. Ces deux modifications contribuent effectivement à faciliter la ou les filtrations ultérieures en réduisant, à la fois, la résistance à l'écoulement et la quantité de matière qui se dépose sur la surface filtrante. Cet effet est vrai quel que soit le mode de clarification enzymatique utilisé.

La gélification des pectines a aussi un effet plus spécifique, une modification des conditions fermentaires, dont l'interprétation est plus complexe. La vitesse de fermentation est effectivement fortement réduite par rapport à celle d'un moût brut ou d'un moût clarifié par dépectinisation/soutirage. A conditions identiques la vitesse de fermentation dépend surtout de la population de levure présente et l'explication de cet effet fermentaire est à rechercher dans la façon dont l'opération intervient sur la croissance des levures. La séparation des bourbes est consécutive à un début de fermentation, et par conséquent, à une première croissance de levures. Les premières générations de levures qui ont déjà consommé des nutriments sont en grande partie piégées dans le gel et donc éliminées au cours de l'opération. Cela se traduit par une élimination de nutriments et par une réduction du nombre de levures disposant de réserves. Ainsi la clarification par gélification des pectines provoque un arrêt de croissance plus précoce ce qui a pour conséquence une plus faible population de levures : la vitesse de fermentation et la quantité de levures sont souvent réduites d'environ 50 % après gélification des pectines. Selon certains cidriers cette réduction de l'activité fermentaire assure également une meilleure stabilité post-fermentaire mais cet effet est difficile à prouver car la stabilité post-fermentaire dépend probablement de plusieurs facteurs.

Plusieurs nutriments sont potentiellement concernés par ce mécanisme. L'hypothèse la plus couramment proposée, l'élimination de l'azote, est confortée par une baisse effective d'environ 30 % de l'azote total du moût brut. Cependant, compte tenu de la faible population de levure présente à ce stade, la quantité d'azote soluble consommée pendant l'opération est faible (de l'ordre de

La "défécation" est morte !

Le vocabulaire technique est souvent difficile à utiliser vis-à-vis du grand public, mais encore plus quand il est sorti de son contexte. Le mot "défécation" n'est pas heureux vis-à-vis des consommateurs.

Nous proposons donc d'arrêter d'utiliser ce terme, et de le remplacer soit par "clarification par gélification des pectines", soit par "clarification haute".

Le débat est ouvert mais ces nouveaux termes devraient quand même moins étonner.

Ainsi l'IFPC joue le jeu dans cet article et parle dorénavant de "clarification par gélification des pectines", précis techniquement.

Il s'agit d'un exemple : cela pourrait être l'occasion de lancer une réflexion plus globale pour la filière sur le vocabulaire dont elle veut se doter, sur les messages qu'elle veut véhiculer, sur l'image qu'elle veut travailler vis-à-vis des consommateurs.

5 à 10 mg/L). Par conséquent, pour la plupart des moûts actuels, l'impact de cette consommation ne saurait expliquer un niveau de population de levure plus faible. En réalité la réduction de l'azote total s'explique surtout par l'élimination de l'azote insoluble des bourbes or cet azote n'est pas assimilable par les levures et n'influence donc pas leur croissance.

Les facteurs de croissance (thiamine, stérols ...) sont plus à même d'expliquer le ralentissement des fermentations car les premières générations de levures peuvent faire des réserves importantes de certains facteurs de croissance comme la thiamine. Certaines levures de début de fermentation appelées levures apiculées, (en général *Hanseniaspora valbyensis*), peuvent même épuiser les moûts très rapidement en thiamine et créer une situation de carence pour les levures du genre *Saccharomyces* (levures qui réalisent l'essentiel de la fermentation).

Les stérols sont, eux, considérés comme des facteurs de croissance anaérobie (croissance en absence d'oxygène) car les levures sont incapables de les synthétiser dans ces conditions. Dans le moût il existe des stérols végétaux qui peuvent être utilisés par les levures à défaut de pouvoir produire elles-mêmes leurs stérols. Ces composés sont fixés sur les bourbes et sont donc éliminés par la clarification. Cependant les bourbes contiennent également la PPO, une enzyme qui catalyse l'oxydation des polyphénols et, par conséquent, la consommation de l'oxygène. Ces deux effets sont donc contradictoires car élimination de la PPO rend l'oxygène plus disponible pour les levures et vient compenser partiellement l'absence de stérols.

Même si tous les mécanismes ne sont pas entièrement élucidés, il apparaît aujourd'hui que l'élimination des bourbes modifie nettement la sélectivité du moût vis-à-vis des flores. Ainsi, les travaux récents de l'IFPC/INRA (projet CasDAR - flores mixtes) sur l'interaction entre les levures du cidre apportent un éclairage nouveau sur des observations longtemps restées inexplicables : dans la compétition entre *Saccharomyces* et *Hanseniaspora* la clarification par gélification des pectines favorise *Hanseniaspora*. Or cette levure est recherchée dans le cidre car elle contribue à son arôme fruité.

En résumé la clarification par gélification des pectines ne se réduit pas à une simple élimination des bourbes qui pourrait être obtenue par d'autres méthodes mais intervient fortement sur les conditions fermentaires. Les fermentations lentes qui en découlent sont intéressantes pour les cidriers parce qu'elles permettent de mieux contrôler l'évolution des cidres. De plus elles s'accompagnent souvent de la présence de levures apiculées dont on sait aujourd'hui qu'elles contribuent fortement aux arômes fruités des cidres.

La clarification par gélification des pectines : les trois étapes

Ce procédé de clarification n'est utilisé que pour l'élaboration des cidres car elle s'accompagne d'une croissance de levures et d'un début de fermentation ce qui l'exclut pour l'élaboration des jus de pomme. Contrairement à la clarification des jus de pomme (par dépectinisation), la gélification des pectines ne détruit pas la pectine mais la modifie par voie enzymatique. Les pectines ainsi modifiées peuvent alors gélifier en présence de calcium. Sous l'effet des bulles de CO₂ dégagées par le début de fermentation, le gel de pectine formée remonte et s'accumule en haut de cuve pour former une couche de bourbes nommé le "chapeau brun". Les

matières en suspension et les microorganismes se trouvent emprisonnés dans ce gel, puis sont éliminés par le soutirage du jus (Calvez, Baron, & Drilleau, 1977; Tavernier, 1961). Nous allons voir successivement les éléments qui sont importants pour le bon déroulement du procédé de façon à en déduire les principales causes d'échec connues.

Utiliser les pectines comme agent clarifiant

Ce procédé consiste, en réalité, à utiliser les pectines présentes dans le moût comme agent clarifiant puisque c'est le gel formé par la pectine qui va emprisonner les particules du moût et permettre de les séparer. Pour que le procédé fonctionne il faut donc qu'il y ait suffisamment de pectine dans le moût. Or, la quantité de pectine est très variable d'un moût à l'autre.



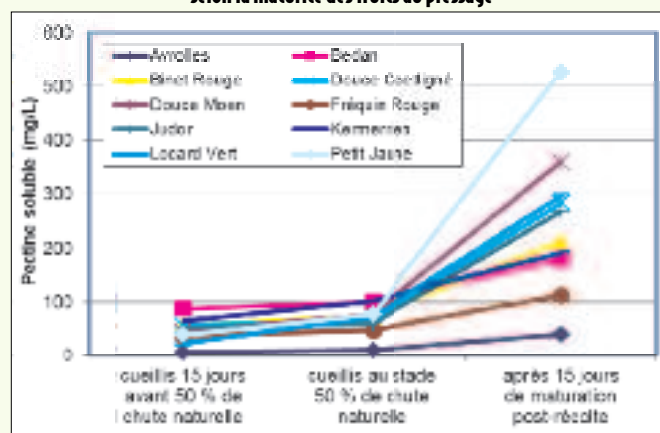
(Photo Y. Corven - UNICID)



(Photo C. Henry - UNICID)

Les pommes contiennent toujours des quantités importantes de pectine mais sous différentes formes classées selon leur mode d'extraction : pectines solubles à l'acide (PSA), soluble à l'oxalate (PSO) et soluble à l'eau (PSE). Seule une partie de cette dernière fraction (environ 10 % de la PSE) peut diffuser vers le moût lors du pressage. Or la teneur des fruits en PSE et, par conséquent, la quantité de pectine transférable vers le moût dépend des conditions de récolte et de conservation des fruits. La teneur en PSE est très faible (proche de zéro) lorsque le fruit se décroche de l'arbre, qu'il soit cueilli ou qu'il chute naturellement, puis augmente très fortement dans les semaines de maturation qui suivent (Drilleau, 1981). Il apparaît cependant que l'essentiel de l'augmentation de la pectine du moût a lieu dans les deux premières semaines après la chute (Langlais & Bauduin, 2006).

Figure 1 - Augmentation de la teneur en pectine des moûts selon la maturité des fruits au pressage



Dans les années 80-90 cet impact de la maturité de brassage sur la teneur en pectine des moûts était connue mais ne paraissait pas déterminant car les fruits, chutant naturellement, restaient au moins 15 jours au sol avant récolte. En revanche, aujourd'hui, cet aspect pourrait constituer une explication de certains échecs car les délais entre la chute et le pressage peuvent être considéra-

blement réduit dans certains cas. En particulier, depuis une quinzaine d'années les producteurs essayant, à juste titre d'ailleurs, d'améliorer les conditions sanitaires de leur récolte, évitent de garder leurs pommes trop longtemps sur le sol car le contact avec le sol est la première cause de contamination par les moisissures ; de plus, la récolte étant de plus en plus mécanisée, les fruits doivent être pressés rapidement après récolte car les chocs et blessures provoqués aux fruits par la récolte mécanique augmentent les contaminations fongiques secondaires. A l'extrême, la chute est parfois provoquée par secouage juste avant que les pommes soient récoltées mécaniquement puis pressées dans les jours qui suivent. Lorsque le délai moyen entre la chute des fruits et le pressage est ainsi fortement réduit, la quantité de pectine transférée vers le moût est alors trop faible pour donner lieu à une gélification de bonne qualité.

Les conditions d'extraction du moût ont également un fort impact sur la richesse du moût en pectine. Dans le fruit la pectine est située entre les cellules. Le jus, situé dans la vacuole à l'intérieur de la cellule ne contient pas de pectine tant que le tissu est intact. Le transfert se fait, par diffusion depuis la paroi cellulaire vers le moût, après broyage/râpage des pommes. Un pressage rapide, effectué immédiatement après râpage, réduit donc fortement le transfert de la pectine vers le moût. Inversement un temps de contact pulpe/jus augmente la quantité de pectine du moût. C'est pourquoi la pratique du cuvage de la râpure a été identifiée très tôt comme un des éléments favorisant l'efficacité du procédé (Tavernier, 1961; Warcollier, 1928).

Aujourd'hui le cuvage est souvent abandonné notamment par manque de perception de son utilité. Cependant le stockage tampon de 15 à 20 minutes, qui existe souvent entre la râpe et la presse pour des raisons pratiques, est également une forme de cuvage court. Pour les râpures fines que délivrent les râpes actuelles ce cuvage court permet probablement une diffusion suffisante. Seules certaines installations comme les presses à bande alimentées directement par la râpe sont plus susceptibles de produire des jus faibles en pectine.

L'évolution technique de ces 15 dernières années a probablement généré des causes d'échecs du procédé en diminuant la teneur en pectine du moût. Cependant, un fort impact sur la teneur en pectine, suffisant pour expliquer les échecs, correspond probablement au cumul de plusieurs des situations défavorables décrites : des pommes récoltées rapidement après leur chute et pressées immédiatement sans le moindre cuvage vont effectivement donner un moût presque dépourvu de pectine. Le gel éventuel sera alors insuffisamment ferme pour avoir un effet clarifiant.

Une étape enzymatique indispensable

La pectine a la propriété de former deux types de gel mais, dans les conditions du moût, elle peut seulement gélifier en présence de calcium après avoir été désestérifiée (Axelos & Thibault, 1991). La première étape est donc la désestérification qui est réalisée par la pectinestérase, une enzyme naturellement présente dans la pomme et dans le moût. Cependant, son activité est souvent trop faible pour que le procédé fonctionne bien avec un taux de réussite élevé. Au cours des travaux de l'INRA sur ce sujet, il est rapidement apparu que la fiabilisation du procédé passait par une augmentation de cette activité enzymatique dans le moût. Il avait également été démontré que le moût ne doit pas contenir d'en-

zymes dépolymérisantes, capables de couper la chaîne pectique, comme la polygalacturonase (PG) ou la pectine-lyase (PL). Ces enzymes, qui sont présentes dans les préparations utilisées pour la clarification (dépectinisation) des jus de pomme, dégradent le gel, même à l'état de traces, et font échouer le procédé. Contrairement à la pectinestérase, la PG et la PL ne sont pas naturellement présentes dans la pomme : elles sont apportées soit par les moisissures (pommes pourries), soit par les levures en pleine fermentation, soit par apport exogène (par exemple en tant qu'enzymes contaminantes dans une préparation enzymatique ajoutée au moût).

A la suite des travaux des années 80, des contacts avaient été établis avec différentes sociétés produisant des enzymes industrielles destinées à l'industrie alimentaire afin qu'elles produisent une préparation enzymatique industrielle de pectinestérase dépourvue de PG et PL, c'est-à-dire une préparation spécifique à ce procédé cidricole. A l'époque, seule une société avait souhaité développer une telle préparation. Cette préparation a longtemps été la seule sur le marché et le procédé s'est développé jusqu'à représenter environ 50 % de la production de cidre. Depuis, d'autres fournisseurs ont proposés également des préparations de pectinestérase. L'existence accidentelle chez un fournisseur d'un lot d'enzymes défectueux, a jeté un doute sur la qualité des enzymes mais il s'agissait probablement d'une mauvaise compréhension des contraintes du procédé (en particulier l'importance de l'absence d'enzymes contaminantes). Il n'en reste pas moins que cette cause d'échec s'ajoute aux autres causes et rend encore plus difficile la compréhension et l'identification des causes par les cidriers. Il est conseillé aux entreprises cidricoles de mettre en place un contrôle qualité à réception de ces préparations enzymatiques.

L'activité enzymatique nécessaire est très faible dans le cas du procédé traditionnel car la séparation des bourbes est réalisée après un début de croissance de levures c'est-à-dire entre 2 ou 4 jours après l'extraction du moût. Il n'y a donc aucun intérêt à rechercher une action enzymatique plus rapide et les doses d'enzymage qui avaient été préconisées restent valables : une préparation titrant environ 100 Unités PE par ml additionnée à raison de 10 ml/hl permet une déméthylation satisfaisante au bout d'environ 48 heures. En revanche dans le cas d'une flottation provoquée, il pourrait être judicieux d'accélérer cette étape. C'est alors principalement le coût élevé de l'enzyme qui limite l'activité apportée. Un contrôle de l'activité serait également nécessaire dans le cadre d'un contrôle qualité des préparations enzymatiques afin de pouvoir comparer leur efficacité.

En résumé la pectine native du moût doit subir une déméthylation par voie enzymatique afin qu'elle puisse gélifier. La quantité d'enzyme contenue naturellement dans le moût est, en général, insuffisante pour une déméthylation efficace mais cette carence peut, aujourd'hui, être compensée par l'ajout de préparations enzymatiques produites pour cet usage. Celles-ci doivent contenir l'activité prévue et surtout être dépourvues d'enzymes contaminantes qui risqueraient de dégrader le gel.

La gélification en présence de calcium

Après désestérification, les ions divalents, en particulier les ions calcium, peuvent former des ponts entre les chaînes de pectine, entraînant ainsi la formation d'un réseau responsable de la gélification. L'ajout de calcium était déjà préconisé par Warcollier en

1928 sous forme de divers "sels défécants" contenant du calcium sous diverses formes (carbonates, phosphates ou "sucrates" de calcium). La principale difficulté était la faible solubilité de ces sels qui pouvaient parfois augmenter localement le pH des lies et générer des développements bactériens problématiques. L'utilisation de chlorure de calcium (Tavernier, 1961) a permis de résoudre ces difficultés. Au cours des travaux sur ce sujet l'INRA a montré l'existence d'une teneur seuil en calcium en dessous de laquelle la gélification ne peut pas avoir lieu. Pour les moûts de pomme étudiés la concentration minimale en calcium se situait au voisinage de 0,16 g/L de calcium. En réalité cette concentration seuil en calcium est liée à la présence d'acide malique qui a pour effet de réduire la teneur en calcium disponible pour la pectine : ainsi cette valeur seuil est dépendante du type de moût.

A l'issue des travaux, l'INRA avait demandé l'autorisation d'un ajout d'une teneur de 0,32 g/L, soit le double de la valeur seuil observée, de façon à assurer une gélification de tous les moûts utilisés en cidrerie. Mais la commission qui a examiné la demande avait revu cette valeur à la baisse et retenu un ajout maximum de 0,16 g/L avec, comme principal argument, un risque de surcharge calcique en cas de consommation simultanée de produits laitiers.

Comme la réglementation porte sur l'ajout, la teneur finale, qui est égale à la somme des teneurs initiale et ajoutée, dépasse, en général, la valeur seuil pour les moûts les plus utilisés en élaboration de cidres (pommes douces, douces-amères et légèrement acidulées). En revanche, du fait de ce maximum légal, les moûts de pommes acides ne permettent pas d'obtenir une gélification correcte avec un ajout de la quantité de calcium autorisée.

L'apport de calcium, sous forme de sel soluble, à la dose autorisée, permet de faire gélifier les moûts des pommes les plus couramment utilisées pour l'élaboration de cidre mais pas les jus les plus acides car l'acide malique entre en « compétition » avec la pectine pour fixer le calcium.

Séparation du gel et des bourbes

En général, au bout de 2 à 14 jours après le pressage, le gel vient flotter à la surface du liquide et se compacte en une mousse brune appelé "chapeau brun" qui représente entre 5 à 10 % du volume de la cuve (figure 1). Souvent, une partie des bourbes sédimentent au fond de la cuve. Le soutirage du jus (plus ou moins) limpide situé entre le "chapeau brun" et les lies de fond de cuve permet d'éliminer les bourbes emprisonnées dans le gel.

Les raisons de la rétraction du gel restent encore mal connues, les hypothèses allant d'une simple synérèse du gel (séparation liquide / gel) lors de sa fragmentation à des modifications enzymatiques non identifiées de la pectine. En revanche, la montée du gel en surface s'explique par le piégeage de micro-bulles de gaz carbonique dans le gel. Ces bulles, produites par le début de fermentation, provoquent une réduction de la densité apparente du gel. Pour qu'il y ait séparation du gel il faut qu'il y ait eu une croissance de levure jusqu'à environ un million de germes par ml. Il arrive exceptionnellement que l'ensemencement en levures ne soit pas suffisant (cas de nouvelles installations) ou que la croissance soit très lente du fait de températures très basses. Dans ces cas, la levure tarde à se développer et la séparation est difficile. Dans le cas des très basses températures, cependant, la clarification est souvent de bonne qualité mais après 2 ou 3 semaines.



(Photo P. Gestin - INRA)

A l'inverse une fermentation trop rapide à ce stade est une des causes classiques d'échec du procédé. Deux mécanismes se conjuguent pour produire cet effet négatif : d'une part, lorsque la fermentation est très rapide, le fort dégagement de gaz carbonique provoque une trop forte agitation qui empêche physiquement la séparation de se faire correctement et d'autre part les levures de type *Saccharomyces* produisent des polygalacturonases qui dégradent le gel. En situation "normale" (début de fermentation correspondant à environ 1 million de levures par millilitre) l'activité pectinolytique des levures est trop faible pour provoquer ces effets négatifs mais, pour une population 10 fois plus élevée, la pectine est partiellement détruite et le gel n'est plus assez ferme. On assiste alors au développement d'un "chapeau blanc" qui est une mousse de fermentation probablement rendue compacte par le gel de pectinate résiduel. Les principales raisons qui entraînent une fermentation rapide sont les températures élevées (supérieures à 15-20 °C) ainsi que les conditions qui augmentent la production de levures : ensemencement initial très élevé du à de mauvaises conditions sanitaires, aération excessive de moûts ayant peu de PPO. Dans beaucoup de cas il s'agit, en réalité, d'une intervention trop tardive mais, lorsque les températures sont très élevées, la plage d'intervention optimale est très courte et l'évaluation du moment de soutirage est difficile à prévoir. Un contrôle de la température entre 8 à 12 °C permet, en général, d'éviter ce type d'échec.

Enfin signalons que la séparation peut être obtenue par flottation provoquée en injectant dans le moût de l'azote gazeux sous pression. Le moût pressurisé est injecté dans un "flottateur", au travers d'une buse qui provoque la formation de micro-bulles par dé-

tente brutale, tandis qu'une injection de calcium est réalisée simultanément à l'aide d'une pompe doseuse asservie au débit de moût. Cette opération de séparation permet de clarifier efficacement mais n'a pas toujours un effet fermentaire aussi impactant car le moment de la séparation est choisi indépendamment de la croissance levurienne et donc de la consommation en nutriments.

Pour le procédé traditionnel statique la séparation reste une étape délicate du procédé car il est à la fois nécessaire d'attendre la croissance des levures qui produisent le gaz carbonique et assurent la consommation de nutriments mais il faut aussi éviter une fermentation trop active qui détruit le gel et empêche une séparation par soutirage. Une régulation de la température peut être préconisée pour mieux maîtriser cette étape. Un ensemencement par une levure apiculée devrait permettre d'utiliser la compétition entre levures pour orienter cette étape. Dans le cas de la flottation provoquée ces aléas sont évités mais en perdant une partie du bénéfice fermentaire du procédé statique.

Conclusion

L'identification, par le cidrier, des raisons d'une mauvaise clarification par gélification des pectines est rendue difficile par la multiplicité des causes possibles. Les principales causes en sont :

- l'absence de pectine, soit due à un délai trop court entre la chute du fruit et son pressage, soit due à un pressage trop rapide et sans cuvage ;
- une dégradation de la pectine due à un mauvais état sanitaire des fruits ou à la présence d'une enzyme contaminante dans la préparation enzymatique, un développement excessif de levures ;
- une mauvaise déméthylation due à une activité enzymatique insuffisante ;
- une mauvaise gélification due à une acidité excessive du moût ou un teneur insuffisante en calcium ;
- une mauvaise séparation due à un développement excessif de levures, une température trop élevée, trop basse.

A ce nombre élevé de causes potentielles s'ajoutent l'absence de données analytiques dans les ateliers cidricoles. L'absence de données chiffrées mais aussi le délai entre le début de l'opération (moment du pressage) et le résultat (moment du soutirage) compliquent énormément l'acquisition du savoir-faire par le cidrier et l'identification de la ou des causes, pour le technologue qui souhaite aider le cidrier. Bien souvent également la correction d'une situation défectueuse est impossible car il n'est pas aisé de réaliser le diagnostic avant le constat d'échec.

Pour ces raisons, l'IFPC a travaillé avec l'ARAC et les conseillers cidricoles, au moyen d'une enquête, afin d'identifier statistiquement les conditions technologiques les plus fréquentes dans les situations d'échec ou, réciproquement, les situations les plus favorables. Un prochain article sur ce sujet fera le point sur les résultats de l'enquête.

Ce qu'il faut retenir

La clarification par gélification des pectines ne se réduit pas à une simple élimination des bourbes qui pourrait être obtenue par d'autres méthodes mais intervient fortement sur les conditions fermentaires. Les fermentations lentes qui en découlent sont intéressantes pour les cidriers parce qu'elles permettent de mieux contrôler l'évolution des cidres. De plus elles s'accompagnent souvent de la présence de levures apiculées dont on sait aujourd'hui qu'elles contribuent fortement aux arômes fruités des cidres.

Les principales causes d'échec de cette clarification sont :

- l'absence de pectine soit due à un délai trop court entre la chute du fruit et son pressage, soit à un pressage trop rapide et sans cuvage ;
- une dégradation de la pectine due à un mauvais état sanitaire des fruits ou à la présence d'une enzyme contaminante dans la préparation enzymatique, un développement excessif de levures ;
- une mauvaise déméthylation due à une activité enzymatique insuffisante ;
- une mauvaise gélification due à une acidité excessive du moût ou un teneur insuffisante en calcium ;
- une mauvaise séparation due à un développement excessif de levures, une température trop élevée, trop basse.

Bibliographie

- Axelos, M. A. V., & Thibault, J. F. (1991). The chemistry of low-methoxyl pectin gelation. In *The chemistry and technology of pectin*, (pp. 109-118): Academic Press.
- Baron, A., Bougault, C., Bergman, C., & Darvill, A. (2005). Behaviour of the pectin methyl esterase from *Aspergillus niger*. In *European Symposium on apple processing (16-18 March)*. Rennes (France).
- Baron, A., & Drilleau, J. F. (1982). Utilisation de la pectinestérase dans les industries cidricoles. In D. P. (Ed.), *Utilisation des enzymes en Technologie Alimentaire*: Tech. et Doc. Lavoisier éd., Paris.
- Baron, A., Prioult, C., & Drilleau, J. F. (1981). Gélification des pectines de pommes. Méthode expérimentale et étude de l'influence de la concentration en pectinestérase sur la gélification des pectines. *Sci. Aliments*, 1, 81-89.
- Baron, A., Rombouts, F., Drilleau, J. F., & Pilnik, K. W. (1980). Purification et propriétés de la pectinestérase produite par *Aspergillus niger*. *Lebensmittel-Wiss. und Technol*, 13, 330-333.
- Calvez, J., Baron, A., & Drilleau, J.-F. (1977). Description des principaux facteurs intervenant dans la défécation des moûts de pomme. *C.R. Acad. Agric. De France*, 1196-1204.
- Denes, J. M., Baron, A., Renard, C. M., Péan, C., & Drilleau, J. F. (2000). Different action patterns for apple pectin methyl esterase at pH 7.0 and 4.5. *Carbohydrate Research*, 327, 385-393.
- Drilleau, J. F. (1973). Note sur l'utilisation des sels de calcium pour la défécation des moûts de pomme. *Bulletin Analytique Station Recherches Cidricoles*(7).
- Drilleau, J. F. (1981). Rapport scientifique. In *Bulletin Analytique Station Recherches Cidricoles*, (pp. 1 - 18).
- Jacquin, P. (1955). Pectine-méthylestérase et matières pectiques dans la pomme et la poire, leur importance dans la fabrication des cidres et des poirés. *Annales de Technologie*(1), 67-99.
- Langlais, C., & Bauduin, R. (2006). Maturité et maturation post-récolte des pommes à cidre. Influence sur la qualité des fruits et sur la composition des moûts. *Pomme*(14), 15-17.
- Le Quéré, J. M., Baron, A., & Drilleau, J. F. (1986). La flottation appliquée à la clarification des jus de pomme. Essais d'optimisation au laboratoire. In J. Druck & Verlag (Eds.), *Fédération Internationale des Producteurs de Jus de Fruit ; XIXème Symposium International*, (pp. 199-217). Zurich.
- Le Quéré, J. M., Latreille, R., Rouxel, B., & Drilleau, J. F. (1988). Note sur la clarification préfermentaire des moûts de pommes à cidre. *Ind. Alim. et Agric*, 105, 137-139.
- Tavernier, J. (1961). Guide pratique de cidrerie fermière. In 5ème édition ed., (pp. 1-31). Paris : Comité des fruits à cidre et des productions cidricoles.
- Warcollier, G. (1928). Cidrerie. In W. G.; (Ed.), *Encyclopédie agricole Troisième édition ed.*. PARIS : Librairie J.-B. Baillière et fils