



VINAIGRE, PICKLES & MOUTARDE

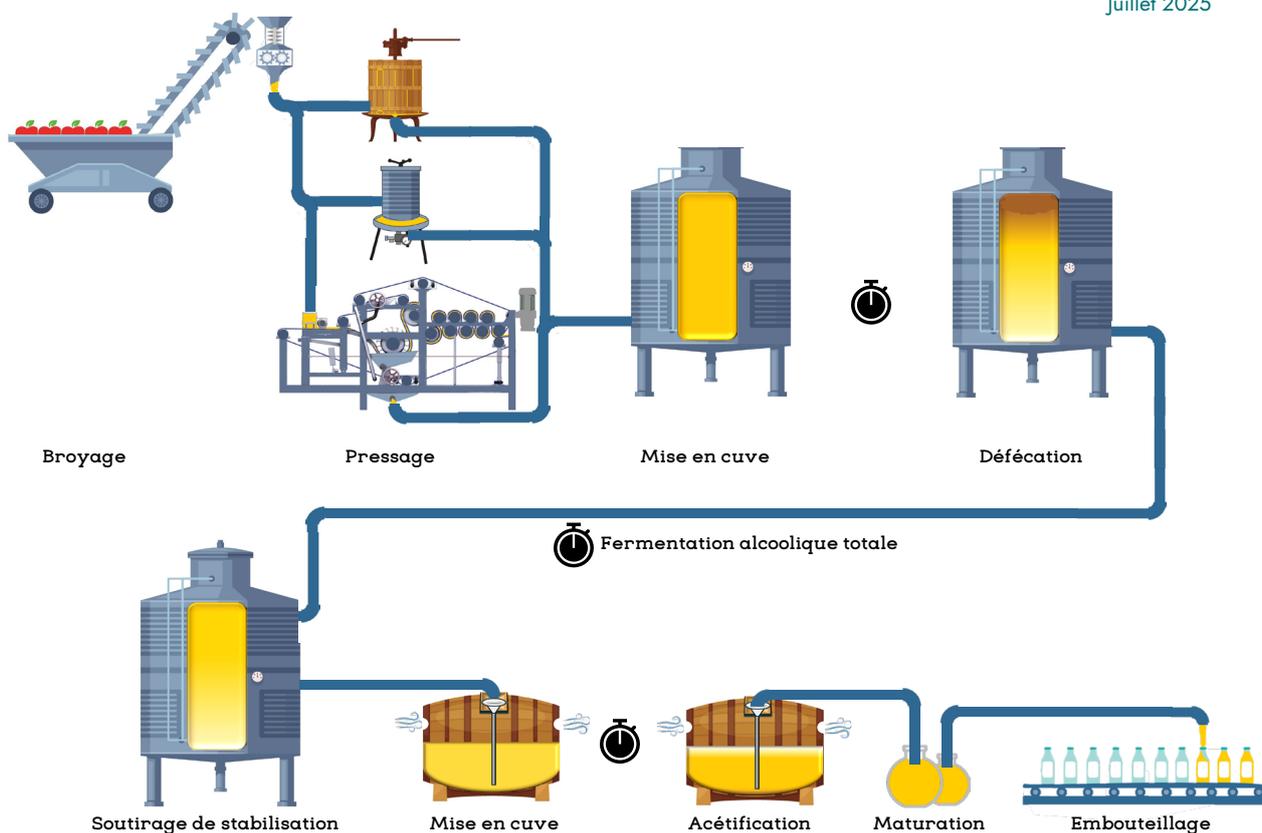
AUTEUR

François Michels

Pôle Technologique de Conservation Alimentaire de DiversiFERM

VERSION 1

Juillet 2025



Pour plus d'informations sur le contenu de cette
fiche, pour un accompagnement ou une formation sur
le sujet: info@diversiferm.be ou 081/62.23.17

Partenaires du projet **TRÈFLE**



Ensemble pour un système alimentaire durable



Financé par
l'Union européenne
NextGenerationEU



TABLE DES MATIÈRES

Contexte	3
Principe	5
1. CHIMIE DU VINAIGRE	5
2. LA MERE DE VINAIGRE	7
Conduite de fermentation	10
1. LEVURES & MOISSURES	10
2. BACTÉRIES ACÉTIQUES	12
3. ANGUILLULES	13
4. DROSOPHILES	13
Procédés de fabrication	14
1. MISE À L'AIR & PIED DE CUVE (BACKSLOPPING)	14
2. MÉTHODE EN FÛT (ORLÉANAISE)	15
3. MÉTHODE SUBMERGÉE (ACÉTATEUR)	19
Produits dérivés du vinaigre	20
1. PICKLES	20
2. MOUTARDE	21
Bibliographie	22

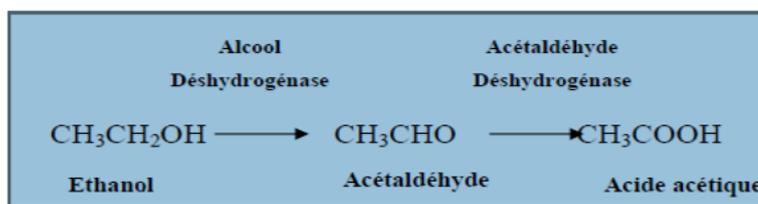
1. Contexte

Le **vinaigre**, à l'origine « vin aigre », est un condiment acide, dont l'acide principal est l'acide acétique. L'acide acétique est obtenu par oxydation de l'éthanol (C₂H₅OH). Le vinaigre est donc le produit d'une double fermentation, d'abord alcoolique puis acétique.

La **fermentation alcoolique** est opérée par les levures en absence d'oxygène et transforme le sucre (C₆H₁₂O₆) en éthanol (C₂H₅OH) et CO₂. Pour plus de détails sur la maîtrise de la fermentation alcoolique, consultez la Fiche « Cidre ».



La **fermentation acétique** oxyde l'éthanol en acide acétique (CH₃COOH). Cette transformation est opérée par les bactéries acétiques, grâce à des enzymes qui leur sont spécifiques, en présence d'oxygène :



La législation belge définit le vinaigre en tant que (ARRETE ROYAL du 23 OCTOBRE 1937 relatif au commerce des vinaigres et produits analogues, 1937) :

« Produit non distillé de la fermentation acétique d'un moût contenant de l'alcool éthylique. Le vinaigre doit contenir au moins 3 g d'acide acétique anhydre dans 100 centimètres cubes.

[...]. Entre la teneur réelle et la teneur indiquée, il ne peut y avoir un écart supérieur à 5 % de celle-ci. »

La législation européenne précise la définition du vinaigre de vin (Règlement - 1308/2013 - FR - EUR-Lex, s. d.) :

« On entend par «vinaigre de vin», le vinaigre :

a) obtenu exclusivement par fermentation acétique du vin ; ainsi que

b) ayant une teneur en acidité totale non inférieure à 60 grammes par litre, exprimée en acide acétique. »

Comment mesurer le taux d'acide acétique ou degré acétique ou acidité volatile ?

La législation belge renseigne une méthode à base d'une distillation et d'un titrage (ARRETE MINISTERIEL du 30 MARS 1938 pris en exécution de l'article 7 de l'arrêté royal du 23 octobre 1937, relatif au commerce des vinaigres et produits analogues, 1938). Pour simplifier le suivi du degré acétique, un simple titrage peut être réalisé, s'inspirant de la méthode légale.

L'acide acétique donne au vinaigre son goût acide et fait baisser son pH. Pour mesurer ce pH, on utilise souvent des bandelettes de papier, comme celles utilisées pour les piscines, ou encore un indicateur coloré, qui changent de couleur selon l'acidité. Le titrage consiste à ajouter une base, comme la soude (NaOH), qui est peu acide, dans le vinaigre. Au fur et à mesure que la base est ajoutée, elle capte de l'acide acétique, ce qui fait remonter le pH.



Lorsque on a rajouté assez de base pour capter tout l'acide du vinaigre, le pH monte brusquement: c'est le point d'équivalence. À ce moment-là, l'indicateur coloré du pH change de couleur : on sait alors que la quantité de soude ajoutée équivaut à celle d'acide acétique présente dans le vinaigre. Par un facteur de conversion sur base de volume de soude, on peut calculer le degré acétique.

Le protocole a été adapté afin que la conversion du volume de soude en degré acétique soit facile :

1. Dans un pot, mettre 1 ml de vinaigre et 9 ml d'eau déminéralisée et 7 à 10 gouttes (ou une pointe de spatule) d'indicateur coloré (phénolphtaléine)
2. Ajouter au moyen d'une burette au goutte à goutte une solution de NaOH (concentration : 0.1 mol/l) jusqu'à ce que l'indicateur passe du transparent au rose (appelé le virage) et lire le volume de soude consommé
3. Appliquer la formule : $\text{Degré acétique} = V_{\text{NaOH (ml)}} \times 0.6$

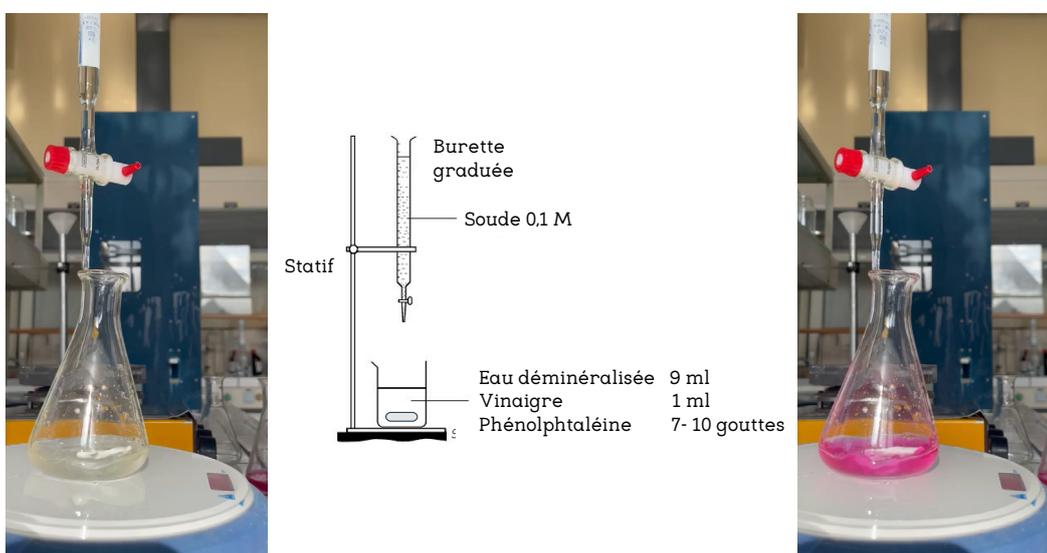


Figure 1. Protocole du titrage pour détermination du degré acétique du vinaigre.

Ainsi, si l'on atteint le virage après avoir rajouté 5 ml de soude, on assure que le vinaigre contient 3 g/100 ml (5×0.6) d'acide acétique.

La norme européenne NF EN 13188 fixe le taux d'alcool résiduel des vinaigres à 0.5% mais n'est applicable que si elle est reprise dans un arrêté fédéral, ce qui n'est pas le cas en Belgique à ce jour. En l'absence de législation spécifique belge, il est conseillé de vérifier que le vinaigre a un taux d'alcool résiduel inférieur à 1.2%, sans quoi l'affichage du taux d'alcool doit être présent sur la bouteille.

Pour trouver le matériel nécessaire au suivi de fermentation, voici quelques fournisseurs. Notez que les protocoles peuvent différer en fonction du produit acheté. Le matériel doit permettre de doser l'acidité volatile du vinaigre :

- [BMS Wijndepot](#)
- [Les laboratoires Dujardin-Salleron](#)
- [Led Techno](#)
- [Grosseron](#)

Pourquoi ne pas suivre l'évolution du pH uniquement par pH-mètre ?

Comme décrit ci-dessus, la première raison est légale, encore que l'on pourrait justifier une mesure du degré acétique uniquement sur le produit fini. La seconde raison est que le pH n'est pas directement proportionnel au degré acétique. En effet, l'acide acétique est un tampon : cela signifie que lorsque les bactéries acétiques en produisent, le pH peut rester stable malgré une augmentation du degré acétique, même significative. Cela justifie donc également l'emploi du titrage pour suivre la fermentation acétique.

Comme présenté dans la Fiche « Pasteurisation et Stérilisation : Conserves de fruits et légumes », un pH inférieur à 3.7 permet de s'émanciper de tout risque sanitaire. Il ne reste dès lors plus que la flore végétative d'altération, à savoir des microorganismes non pathogènes qui peuvent éventuellement conduire à un défaut uniquement organoleptique. On observe qu'un degré acétique de 3 g/100 ml permet d'atteindre en général un pH de 3.7.

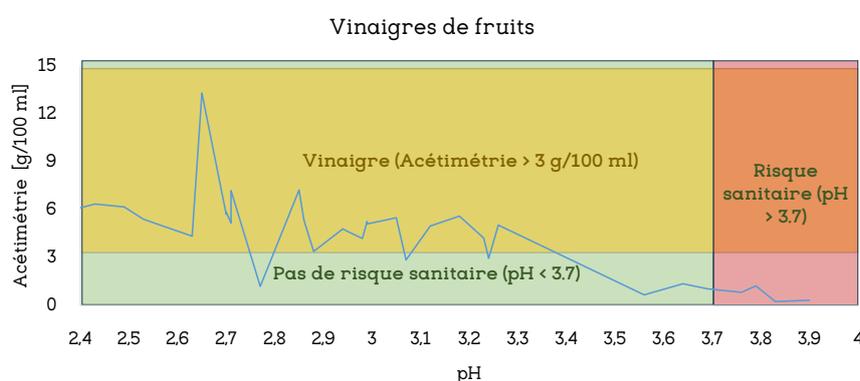


Figure 2. 3 g/100 ml d'acide acétique permet en général d'atteindre un pH suffisamment bas pour assurer une sécurité sanitaire du vinaigre.

Le suivi du degré acétique se fait donc pour le suivi de la fermentation et le pH peut se mesurer en fin de fermentation sur le produit fini pour assurer la sécurité sanitaire du vinaigre.

2. Principe

CHIMIE DU VINAIGRE

En 1867, Louis Pasteur, célèbre chimiste français, écrit au Maire d'Orléans (Pasteur, 1868) :

« L'air atmosphérique résulte principalement du mélange de deux corps simples gazeux ; l'azote [...] et l'oxygène [...]. Dans la transformation du vin en vinaigre, l'azote demeure inactif ; l'oxygène seul rentre en combinaison avec l'alcool. En d'autres termes, la transformation du vin en vinaigre est le résultat d'une oxydation. »

Le résultat de l'oxygénation ou oxydation (O₂) de l'alcool (éthanol) est donc le vinaigre (acide acétique) et de l'eau, par fermentation acétique :



Lorsque l'on met un bulleur d'aquarium pour injecter de l'air dans le cidre alcoolisé, on voit son degré acétique augmenter de manière significative, par rapport au cidre laissé simplement à l'air sans bulleur.

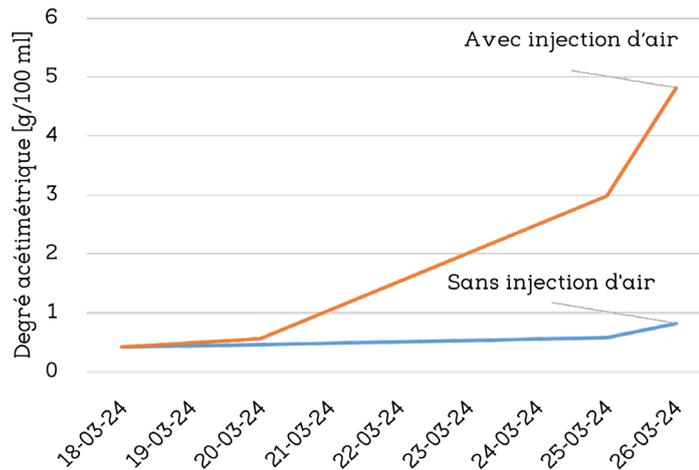


Figure 3. Evolution de l'acétimétrie avec ou sans injection d'air.

Quel taux d'alcool et quelle quantité d'air nécessaire pour obtenir 1 g/100 ml d'acide acétique ?

1. Calcul du nombre de moles d'acide acétique (masse molaire : 60 g/mole) : 1 g/100 ml représente 0.017 moles/100 ml d'acide acétique.
2. Calcul de la masse d'alcool nécessaire (masse molaire : 46 g/mole) et d'oxygène (volume molaire : 24.5 l/mole) : pour produire cet acide acétique, il faut autant de moles d'éthanol et d'air, soit 0.017 moles/100 ml, ce qui fait 0.77 g/100 ml d'éthanol et 0.41 l d'oxygène.
3. Calcul du taux d'alcool (masse volumique de l'éthanol : 0.79 g/ml) et de la quantité d'air (21% d'oxygène en volume) : cela revient à environ 1% d'alcool (0.77/0.79) et 2 l d'air (0.41/0.21).

« En théorie, 1% d'éthanol et 2l d'air suffisent pour obtenir 1 g/100 ml d'acide acétique. En pratique, il faut au minimum 4% d'alcool pour obtenir un vinaigre à 3 g/100 ml d'acide acétique car le rendement n'est pas total. Pour ce même vinaigre, il faudra au moins 60 l d'air : il faut donc privilégier des contenants avec la surface de contact à l'air la plus large possible. »

La fermentation acétique est due à l'action des bactéries acétiques, présentes naturellement dans l'environnement. Ces bactéries survivent en transformant l'alcool en acide acétique. Ce dernier est une molécule si petite qu'elle peut traverser les parois des autres micro-organismes et les détruire. C'est de là que vient l'effet conservateur du vinaigre.

Les bactéries acétiques ne sont pas détruites par l'acide acétique car elles ont plusieurs mécanismes de résistance qui leurs sont spécifiques :

- Elles ont des membranes cellulaires plus résistantes
- Elles métabolisent l'acide acétique
- Elles protègent leurs propres constituants de l'acide avec des protéines cytoplasmiques

LA MÈRE DE VINAIGRE

Il est communément admis que pour produire du vinaigre, il faut avoir une mère de vinaigre, sorte de masse gélatineuse qui flotte dans le liquide alcoolisé. Or, comme vu ci-dessus, les bactéries acétiques ne peuvent pas être immergées vu qu'elles doivent être en contact avec l'air pour produire l'acide acétique. En réalité, la mère gélatine est morte et les bactéries acétiques sont en résistance : elles ne produisent plus d'acide acétique.

La mère qui est réellement active pour former de l'acide acétique est le voile poudreux que l'on voit se développer après avoir laissé un vin ou un cidre à l'air pendant quelques jours.



Figure 4. Mères de vinaigre : à gauche, une mère morte – à droite, une mère active

Si l'on suit l'évolution de ce voile poudreux au cours du temps, on constate que le degré acétique augmente tant que le voile est flottant. Une fois que la mère devient gélatineuse et commence à couler, le degré acétique s'arrête de croître. L'apparition d'un voile poudreux est donc un indicateur que la fermentation acétique est bien active.

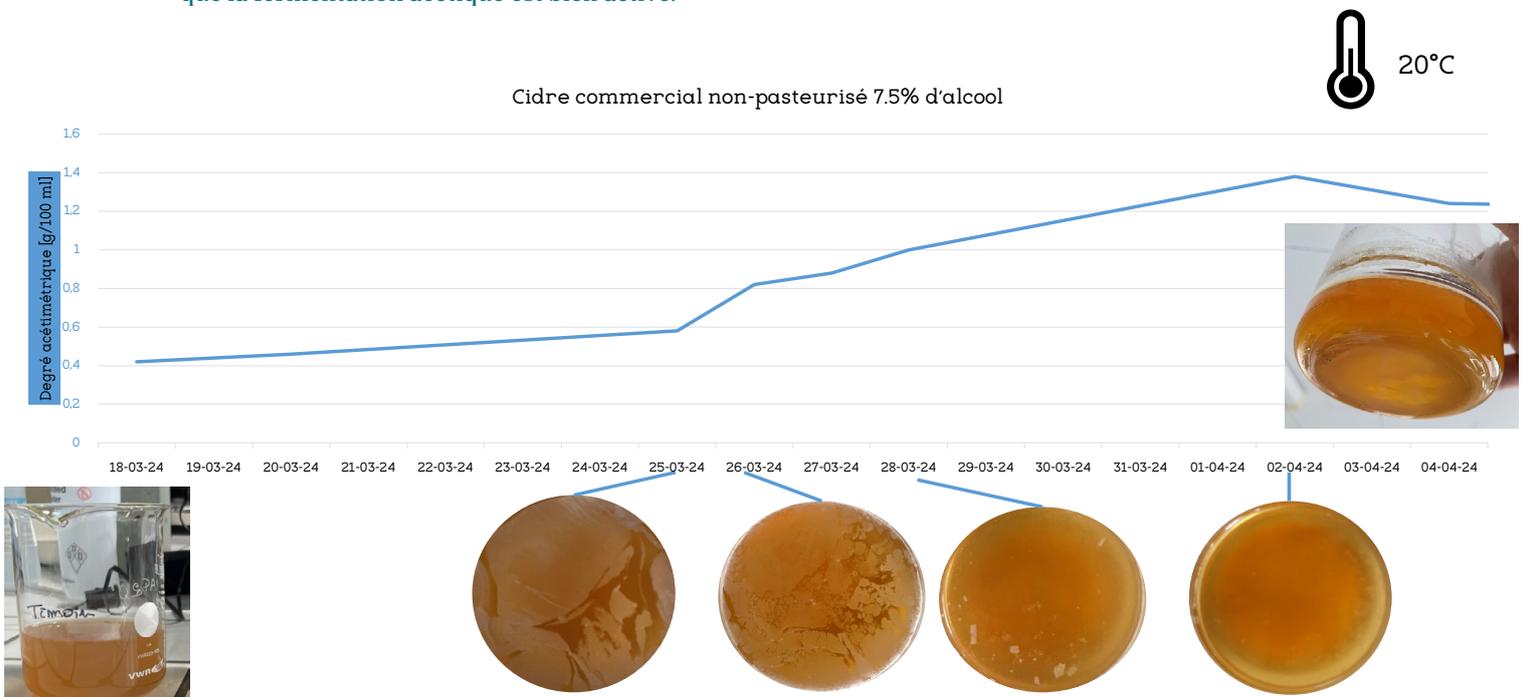


Figure 5. L'activité de la mère indique l'évolution de la production d'acide acétique

Cependant, il n'est pas obligatoire d'avoir le voile pour avoir une augmentation du degré acétique. C'est entre autres pour cela que l'évolution du degré acétique doit se faire par titrage et non pas uniquement par empirisme.

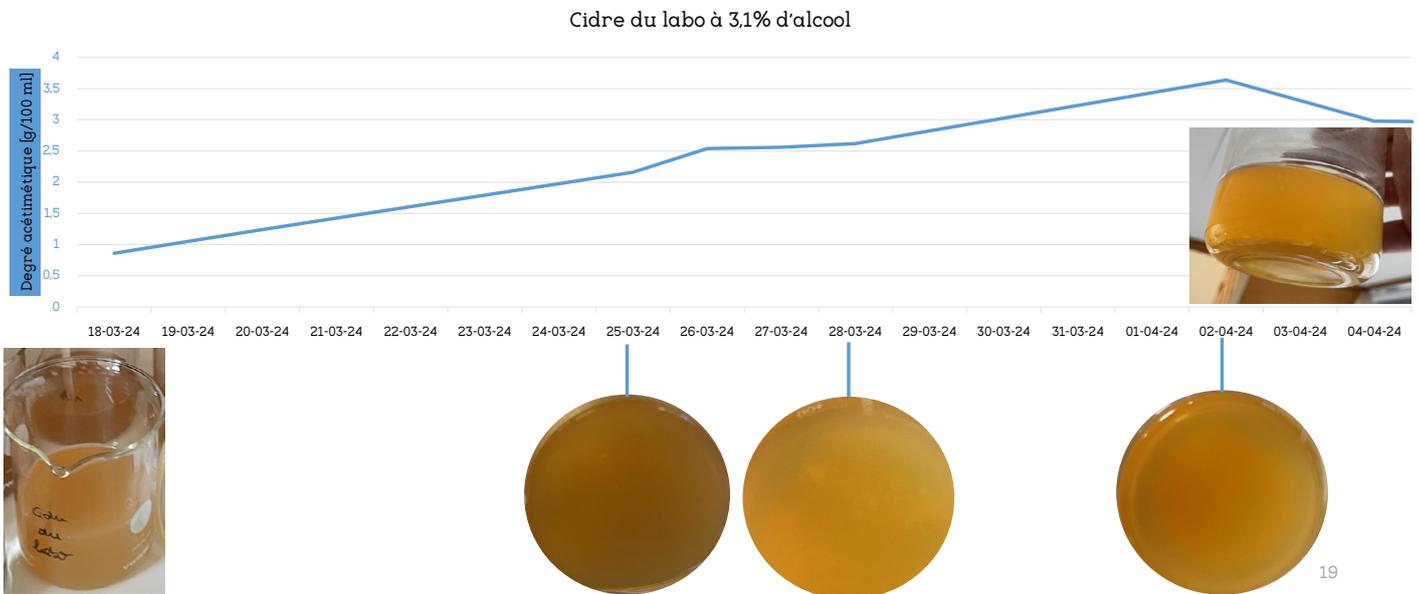
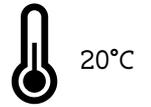


Figure 6. La présence de mère visible n'est pas obligatoire pour obtenir une acétification.

L'activité de la mère dépend de :

- Du taux d'alcool
- De degré acétique
- De la température

Le **taux d'alcool** impacte l'activité des bactéries acétiques : leur activité est maximale à 8% d'alcool et s'arrête dès 12% d'alcool.

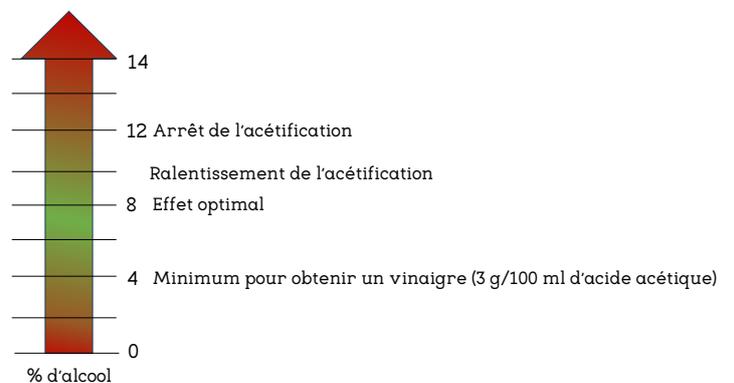


Figure 7. Taux d'alcool VS Bactéries acétiques.

Le **degré acétique** favorise la présence de bactéries acétiques, dès 2 g/100 ml et empêche le développement des autres microorganismes. Les bactéries acétiques qui sont actives en début de fermentation sont les *Acetobacter aceti*, suivi par les *Gluconoacetobacter* spp. vers 5 g/100 ml et au-delà, les *Gluconoacetobacter* et *Komogaeitobacter* spp. Au-delà de 8 g/100 ml, les bactéries acétiques de l'environnement ne se développent plus.

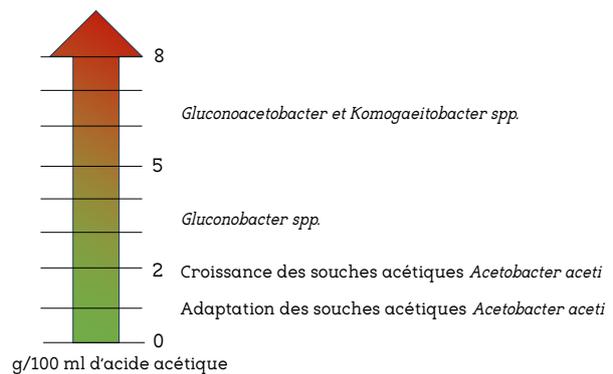


Figure 8. Croissance des souches acétiques en fonction du degré acétique.

La **température** a également une influence. Les vinaigres artisanaux ont en général un degré acétique entre 3 et 6 g/100 ml. C'est donc *Acetobacter aceti* qui fait la majorité de la fermentation. Si l'on observe sa courbe de croissance, on constate qu'il se développe dès 15°C, que son développement atteint un pic vers 28°C puis tombe au-delà de 33°C. Au-delà de 35°C, *Acetobacter aceti* ne se développe plus.

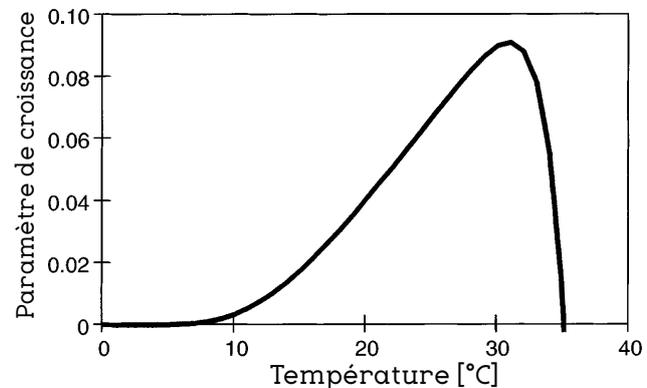


Figure 9. Température de croissance d'*Acetobacter aceti* (De Ory et al., 1998)

Notons qu'en plus de la croissance de la bactérie, la température influence le développement aromatique : au plus la température est basse, au plus le développement aromatique est important (Kong et al., 2023). Ainsi :

- En artisanat : on privilégie des températures de 18 à 24°C, à la fois pour avoir un bon développement aromatique et ne pas inhiber la croissance des bactéries acétiques car en général, la régulation de température est moins aisée et il y a donc plus de risque d'atteindre la température d'inactivation des bactéries acétiques.
- En industriel : on accélère le procédé au détriment du développement aromatique en travaillant en condition contrôlée au-dessus de 28°C

« **La lumière ambiante n'affecte pas la fermentation acétique : il ne faut pas plonger les contenants dans le noir. Il faut juste éviter la lumière directe du soleil et donc les bords de fenêtre en contenant transparent (Smith, 2018).** »

Les conditions initiales pour obtenir du vinaigre sont :

- Une **boisson alcoolisée (min. 4 – max. 12%)** : avoir une bonne qualité de matière première car il est impossible de faire un bon vinaigre avec un mauvais cidre ou vin.
- Dans un contenant inerte, ouvert à l'air
- Avec **2 g/100 ml d'acide acétique** pour aider au développement des bactéries acétiques, grâce à un ajout initial partiel de vinaigre non pasteurisé
- À une température de **18 à 24°C** pour un bon développement aromatique

3. Conduite de fermentation

Une conduite de fermentation adaptée permet de garantir un produit sûr au consommateur. En effet, même si le pH atteint est inférieur à 3.7 (degré acétique d'au moins 3 g/100 ml), il subsiste certaines altérations organoleptiques d'origine biologique, à maîtriser. Cela comprend principalement les levures, moisissures, anguillules et les drosophiles.

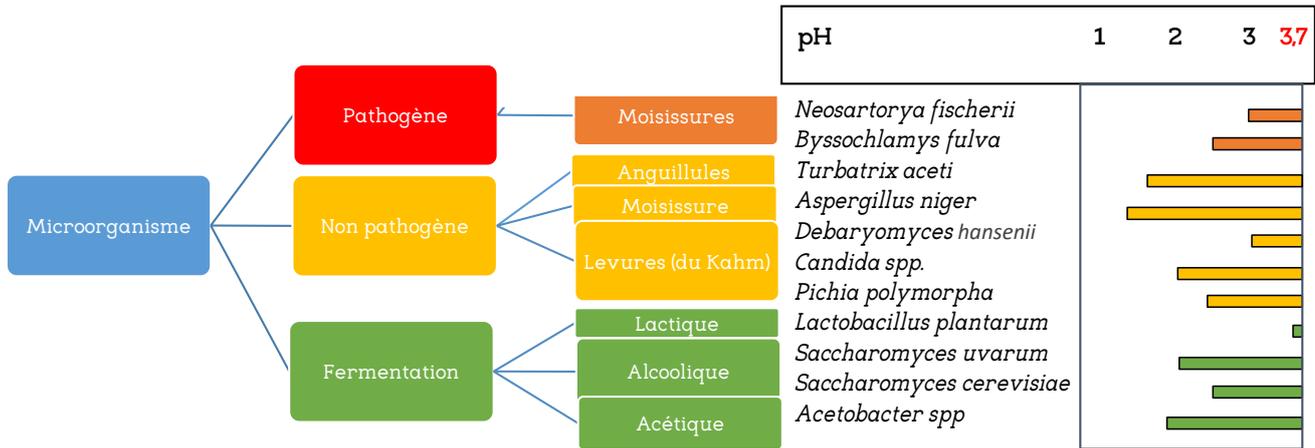


Figure 10. Risques microbiologiques du vinaigre.

LEVURES ET MOISSURES

Au visuel, la présence de voile levurien se différencie facilement de la présence de moisissure. En effet, le voile levurien se colore de la couleur du liquide, est rugueux et continu tandis que la moisissure prend en général une couleur blanche parfois tachetée de vert et est discontinue et cotonneuse.



Figure 11. A gauche, voile levurien inoffensif (Lea, 2016)- A droite, moisissure présentant un risque sanitaire (Le vinaigre maison c'est trop bon !, s. d.)

La moisissure présente sur un vinaigre peut produire des mycotoxines (patuline, ochratoxine A) dangereuses pour la santé humaine (Heperkan et al., 2023) : lorsque le vinaigre moisit, il doit être jeté car aucune technique ne permet d'éliminer ces mycotoxines. Ces moisissures peuvent apparaître en début de fermentation si la formation du voile prend du temps, en général quand la température est trop basse, par exemple en hiver. Pour éviter cela, il faut assurer une température de 18 à 24°C pour permettre le développement des bactéries acétiques et éviter celui des moisissures.

Les levures peuvent se développer en présence d'oxygène et à température ambiante, à la surface du vinaigre. En fermentation, il est habituel de parler de « levure du Kahm » ou simplement « le Kahm », dont la présence peut être détectée sur les fermentations lactique, alcoolique et acétique. Le Kahm est un terme provenant de la langue allemande du 19^e siècle et désigne une « moisissure sur liquides fermentés » (Kluge, 1891). En réalité, le Kahm n'est pas une moisissure mais bien une levure. La littérature scientifique n'emploie pas le terme « Kahm » mais préfère les termes « voile levurien » ou « maladie de la fleur » (Lea, 2016; Pasteur, 1868).



Figure 12. Levure du Kahm sur un pot de cornichon (« Ciel, des moisissures ! Que faire ? », 2017).

La voile levurien ou maladie de la fleur (angl. « film yeast ») peut se développer sur le vin (La maladie de la fleur, s. d.) mais également à la surface du cidre (Lea, 2016). Cette altération se développe dans les liquides peu acides, en présence d'oxygène, à un taux d'alcool inférieur à 11% et à une température supérieure à 20°C, ce qui rejoint les conditions visées pour le développement des bactéries acétiques. C'est la raison pour laquelle la fabrication des vinaigres est plus à risque de voile levurien que les produits en cours de fermentation alcoolique, à l'abri de l'oxygène et fermentés à plus basse température (voir Fiche « Cidre »).

Les levures responsables du voile sont *Candida vini* (anciennement *Mycoderma vini*) et *Pichia spp.* (anciennement *Hansenula spp.*). Elles ont pour effet d'oxyder l'éthanol ou le faire réagir avec l'acide acétique, ce qui donne dans les deux cas des composés aromatiques indésirables :

Candida vini :



Les moyens de maîtrise sont :

- Aérer pour éliminer le CO₂ amené par *Candida vini*
- Favoriser le développement des bactéries acétiques au détriment de *Candida vini*
- Majorer l'acide acétique : ajout d'alcool par petites portions (backslopping)
- Maintenir 2% d'acide acétique (ex. 1/3 vinaigre – 2/3 cidre ou vin)
- Chauffer le local au-dessus de 25°C

Pichia spp. :



Le moyen de maîtrise est la maturation en dame jeanne, afin d'éliminer l'acétate d'éthyle. Cette méthode sera abordée par après.

« Si le vinaigre moisit, il présente un risque sanitaire et doit donc être jeté. Si le vinaigre présente un voile levurien, le produit peut être altéré gustativement et peut aussi devenir dangereux s'il n'est pas maîtrisé »

BACTÉRIES ACÉTIQUES

Un des principaux problèmes du vinaigre provient des souches acétiques elles-mêmes, en cas de mauvaise conduite de fermentation. En effet, comme présenté ci-dessus, à 20°C, la molécule la plus présente à l'état gazeux dans le vinaigre est l'éthanol. Cela signifie qu'elle est plus volatile que l'eau et l'acide acétique et que si on laisse le procédé d'acétification se réaliser sans surveillance, celui-ci peut totalement disparaître en s'évaporant.

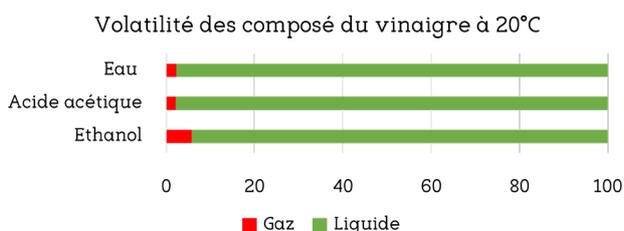


Figure 13. Volatilité des composants du vinaigre.

Un alcool à acétifier (cidre, vin, etc.) contient de l'eau, du sucre et de l'éthanol. Toutes les souches acétiques vont consommer en priorité l'éthanol tandis que *Gluconobacter spp.* va préférer le sucre. Ainsi, si on oublie le contenant et que tout l'éthanol est évaporé (TAV < 0.2%), *Gluconobacter spp.* va consommer le sucre et les autres l'éthanol résiduel puis l'acide acétique, en le suroxydant :



La suroxydation de l'acide acétique, causé par les bactéries acétiques en absence d'éthanol ou si la mise à l'air est trop importante, transforme donc l'acide en eau : on dit que le vinaigre tourne à l'eau. Cette diminution d'acidité peut à terme provoquer une remontée du pH et donc une augmentation du risque d'apparition des levures et moisissures.

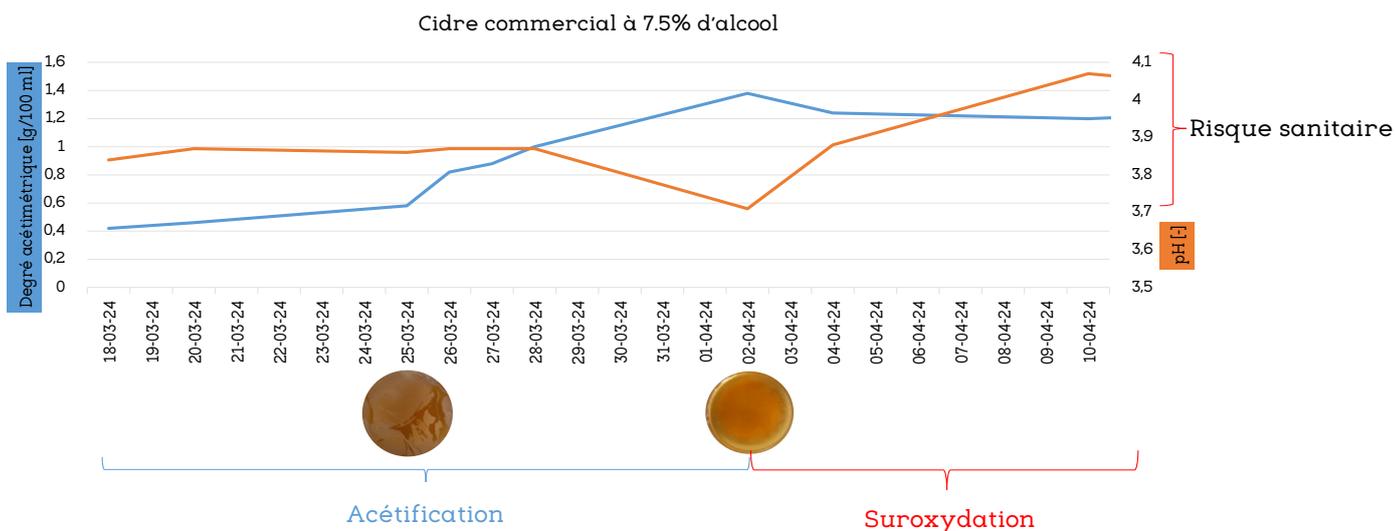


Figure 14. Effet de la suroxydation sur le degré acétique : dans ce cas-ci, le degré alcoolique est suffisant mais la mise à l'air est trop importante, ce qui a provoqué un retour à l'eau de l'acide acétique.

Les moyens de maîtrise sont :

- Ne jamais laisser trainer un vinaigre, en assurant son suivi du degré acétique
- Diminuer la température & l'aération pour limiter l'évaporation de l'éthanol
- Pasteuriser
- Emplir dans une bouteille étanche avec faible espace de tête : sans oxygène, pas de suroxydation

ANGUILLULES

Les anguillules (*Turbatrix aceti*) sont des vers parasites, vivant sur les bords des tonneaux. Ils se développent facilement dans les milieux peu acides (donc en début d'acétification) et fortement chargés en matières en suspension. Ces vers aérobies rentrent alors en compétition avec les bactéries acétiques à la surface et prennent la place des bactéries si le voile tarde à se créer. Ils peuvent donc ralentir voire stopper la production de vinaigre mais ne présentent aucun danger pour la santé humaine.



Figure 15. Anguillules.

Comment récupérer le vinaigre ?

- Filtration : filtre à étamine ou café suffisant
- Pasteuriser 10 min à 65°C

Comment récupérer le tonneau ?

- Ouiller à fond avec de l'eau pour asphyxier les anguillules
- Mettre le fut sous vapeur à l'envers
- En dernier recours : vider – nettoyer fort – mécher fort – laver à l'eau froide

DROSOPHILES

La mouche du vinaigre, aussi appelée drosophile, pond à la surface du vinaigre, ce qui déchire le voile et gêne l'acétification.

Les moyens de maîtrise sont :

- Couvrir les ouvertures avec des tamis métalliques ou gaze
- Méthode Orléanaise : obturer les ouvertures avec une solution 10% acide salicylique (10 g dans 100 ml d'alcool neutre) – laisser sécher et introduire dans la canne de remplissage ou le tube de niveau si le fut en est pourvu
- Lucarne sur le bord du contenant : évite son ouverture

Le vinaigre peut être récupéré par filtration avec un filtre à café ou une étamine.

4. Procédés de fabrication

MISE À L'AIR & PIED DE CUVE (BACKSLOPPING)

Le procédé de base du vinaigre est le suivant :

1. Laisser un alcool de 8% d'alcool à l'air entre 18 et 24°C, protégé des drosophiles par une gaze dans un contenant avec une bonne surface à l'air. S'il s'agit d'une dame-jeanne, la remplir à moitié ou aux deux tiers.
2. Mesurer l'acide acétique 2 fois par semaine et goûter. Atteindre min. 3 g/100 ml pour un vinaigre simple et min. 6 g/100 ml pour un vinaigre de vin.
3. Filtrer
4. Embouteiller



Le pied de cuve permet d'amorcer une fermentation en ajoutant un petit volume de vinaigre non pasteurisé à l'alcool à acétifier. Le pied de cuve n'est pas indispensable mais assure donc d'avoir un minimum de bactéries acétiques. Il faut alors prendre un vinaigre non pasteurisé et en introduire 10% du volume total du liquide à acétifier. Le vinaigre de cidre est le plus neutre en goût et permet donc de démarrer d'autres vinaigres de fruits sans dénaturer le goût de l'alcool initial.

Figure 16. Pied de cuve avec 10% de vinaigre de cidre non pasteurisé et 90% de cidre.

Yannick, de chez [Fermenthings](#), recommande de démarrer dans des contenants de 15 à 20 l à l'air, protégés avec une gaze. À une température de 24 à 28°C, l'acétification peut durer 1 mois tandis qu'à 18°C, cela peut prendre entre 2 et 3 mois. Notons que cette durée peut être beaucoup plus courte si le local/matériel a déjà été le lieu de nombreuses acétifications et est donc plus chargé en bactéries acétiques.

« Il est possible de faire du vinaigre avec de l'alcool sulfité. En effet, l'effet antimicrobien du sulfite ne dure que quelques jours : il faut juste attendre quelques jours après le sulfitage de l'alcool pour le mettre à l'air et commencer l'acétification ».

MÉTHODE EN FÛT (ORLÉANAISE)

La méthode orléanaise consiste à réaliser l'acétification dans un fût en bois. Cela présente trois intérêts principaux :

- Le bois est respirant et favorise donc la transformation de l'alcool en acide acétique
- Le fût rempli de la moitié au trois quart garantit une surface de contact maximal avec l'air
- Le bois est un bon support pour les bactéries acétiques, qui pourront ainsi subsister à plusieurs productions de vinaigre : un vinaigre réalisé dans un fût déjà utilisé sera souvent plus rapide pour acétifier qu'un fût neuf

Le procédé de la méthode est le suivant :

1. Préparation du fût
2. Démarrage de la fermentation acétique avec un pied de cuve
3. Rajout progressif d'alcool à acétifier
4. Soutirage d'une partie du vinaigre et complétion par de l'alcool
5. Maturation en dame jeanne

PRÉPARATION DU FUT

Un fût neuf doit être adapté pour convenir à la méthode.

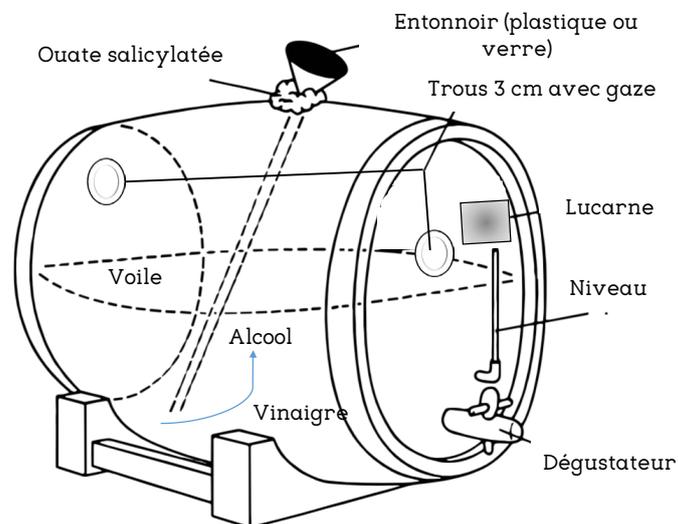


Figure 17. Fut en méthode Orélanaise

Conditions initiales :

- Capacité du fût adapté à la production visée: 20 L, 220 L, 400 L
- Positionnement :
 - Surélevé pour faciliter le soutirage
 - Ne pas déplacer en cours de fermentation pour éviter la rupture du voile acétique.

- **État du fût :**
 - En bon état, sans goût parasite.
 - Neuf : ébullantage + rinçage à l'eau froide (élimination des tanins).
 - Etanchéité : remplissage complet d'eau pour le faire gonfler et le rendre étanche.
- **Environnement :**
 - Local dédié, chauffé à 20-30 °C.
 - Séparé des vins et cidres pour éviter leur piqure.
- **Matériaux :**
 - Bois massif privilégié (chêne, châtaignier).
 - Parties métalliques : à vernir si oxydables.
- **Ouverture :**
 - Trous d'aération de 15 x 15 cm sciés et de la gaze pour empêcher l'entrée des drosophiles.
 - Option : rebords ou scratch pour maintenir la gaze.
- **Manipulation :**
 - Ajout d'alcool par le fond avec entonnoir pour préserver le voile.
 - Niveau intégré vissé sur bouchon de liège

Où trouver des futs ?

Il n'y a pas de souci à récupérer des futs sains d'occasion. On préférera des anciens futs de vin blanc pour le vinaigre de cidre afin d'éviter les tannins du vin rouge qui pourraient dénaturer le gout du vinaigre.

Si vous cherchez des futs neufs, voici une liste non-exhaustive des fournisseurs en Europe :

- [Tonneaux Boutique](#)
- [Wine and Barrels](#)
- [Wilhelm Eder](#)
- [Polsinelli Enologia](#)
- [Excellence Rhum](#)
- [Moens Packaging](#)
- [Reoaked](#)

DÉMARRAGE DE LA FERMENTATION ACÉTIQUE AVEC UN PIED DE CUVE

Le rendement de la méthode Orléanaise est d'environ 60% : cela signifie que pour atteindre les 3 g/100 ml d'acide acétique, il faut au moins 5% d'alcool.

L'objectif de la méthode Orléanaise est de toujours maintenir un taux d'alcool et d'acidité favorable à l'acétification, à savoir un taux idéal de 8% d'alcool, qui aide le développement d'*Acetobacter* spp. et un taux minimal de 2 g/100 ml d'acide acétique, qui favorise également la bactérie acétique et limite le risque de maladie de la fleur.

En pratique, les cidres atteignent rarement ce taux d'alcool tandis que pour les vins, le taux d'alcool est souvent trop élevé. L'acide acétique lui est amené par un pied de cuve, faible pour le cidre afin de diluer au minimum l'alcool tandis que pour le vin, il est dilué dans une quantité de vinaigre de telle sorte que le taux d'alcool atteigne les 8%.

- **pour le cidre** : le pied de cuve idéal est un mélange de 10% de vinaigre non pasteurisé de cidre à 5 g/100 ml d'acide acétique et 90% de cidre extra brut à 9% d'alcool. Cela permet d'avoir un mélange initial au taux d'alcool idéal. Cependant, le taux de 2 g/100 ml initial du mélange n'est pas atteignable sans l'utilisation de vinaigre cristal au degré acétique plus élevé, qui peut alors diluer les goûts. Dans un fut de 220 l, le pied de cuve peut donc être 3 l de vinaigre à 5 g/100 ml de degré acétique avec 27 l de cidre extra brut à 9% d'alcool.
- **pour le vin** : le pied de cuve idéal est un mélange d'1/3 de vinaigre à 5 g/100 ml d'acide acétique avec 2/3 de vin à 12% d'alcool. Cela permet d'arriver aux conditions idéales. Dans un fut de 220 l, le pied de cuve peut donc être 10 l de vinaigre à 5 g/100 ml d'acide acétique avec 20 l de vin à 12% d'alcool.

RAJOUT PROGRESSIF D'ALCOOL À ACÉTIFIER

Une fois que le vinaigre développe son voile, il faut ajouter 5 à 15 l par semaine jusqu'à atteindre le niveau maximum (mi-hauteur), pour un fut de 220 l. Ce type de fut est donc rempli après environ 9 semaines.

L'alcool doit être rajouté délicatement dans le fut, idéalement avec une canne à fut. En effet, la densité de l'alcool (0.8) est inférieure à celle de l'eau (1) et à celle de l'acide acétique (1.2). Dans le fut, l'alcool va donc se mettre au-dessus tandis que l'acide acétique va se mettre dans le fond. Avec la canne, l'alcool va donc être introduit par le fond du fut pour ensuite remonter naturellement sous le voile, au contact des bactéries acétiques.

La canne à fut est simplement un entonnoir avec un tube de 90 cm. Elle peut se fabriquer aisément. Le tube peut être en plastique alimentaire, tandis que l'entonnoir doit être idéalement en inox.



Figure 18. Fût de vinaigre en méthode Orléanaise & sa mère
(Vinaigrerie de la Guinelle, Banyuls-sur-Mer, France)

SOUTIRAGE D'UNE PARTIE DU VINAIGRE ET COMPLÉTION PAR DE L'ALCOOL

Une fois le fut rempli, on effectue une analyse de degré acétique toutes les semaines. Lorsque le degré est atteint (min. 3 g/100 ml pour du vinaigre et min. 6 g/100 ml pour du vinaigre de vin), il faut soutirer une partie du volume de vinaigre et le compléter par un volume de vinaigre correspondant afin d'être à volume constant dans le fût. Le soutirage du vinaigre se fait toujours par le fond, que ce soit pour le prélèvement de l'analyse ou pour le soutirage lorsque le vinaigre est prêt.

Pour un vinaigre de cidre, on soutire donc 10% du volume total tandis que pour le vin, on peut soutirer 30% sans aucun problème. Lors des premières utilisations du fut, il est déconseillé de soutirer plus de 2/3 du volume. Au cours des cycles d'acétification, la bactérie acétique va se développer de plus en plus dans l'environnement de la vinaigrerie. À la Guinelle, plus vieille vinaigrerie artisanale de France, il ne faut plus de pied de cuve ou même de soutirage tant la bactérie est présente : un fut peut être vidé totalement du vinaigre de Banyuls et remplacé par du vin de Banyuls. L'acétification démarre quoi qu'il en soit tant la bactérie s'est adaptée en vingt-cinq ans d'activité.

MATURATION EN DAME JEANNE

Sur les vinaigres jeunes d'un mois, une odeur et un goût de dissolvant sont toujours présents. Ceci est dû à la réaction entre l'alcool résiduel et l'acide acétique qui forme l'acétate d'éthyle, composé identique à celui retrouvé en cas de maladie de la fleur.

La solution pour éliminer l'acétate d'éthyle réside en la maturation du vinaigre en dame Jeanne ou en fûts minimum 6 mois, jusqu'à 6 ans et au chaud (au soleil). Ainsi, l'acétate d'éthyle évolue vers d'autres esters ou se vaporise (Uysal, 2024), ce qui a pour effet d'arrondir le goût du vinaigre et d'éliminer l'odeur de dissolvant. La chaleur permet l'évaporation de l'alcool résiduel si le bouchon de la dame Jeanne est respirant et d'éliminer les dernières bactéries acétiques si la température excède 35°C.

Au cours de la maturation, le vinaigre de vin s'assombrit tandis que le vinaigre de cidre brunit. Une solution pour éviter le brunissement du vinaigre de cidre reste les sulfites.



Figure 19. Maturation du vinaigre en dame Jeanne.

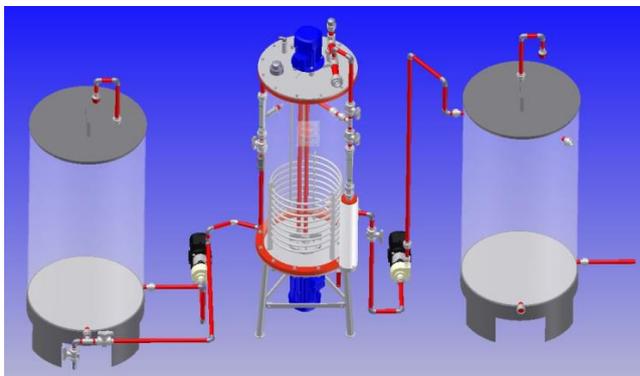
L'acétification des boissons sucrées (ex. vin sucré à 20, 30 g/l) est limitée : *Gluconobacter* spp. préfère le sucre à l'éthanol, ce qui donne lieu à une mère visqueuse, un moins bon rendement en acide acétique et goût d'acétate d'éthyle plus prononcé, corrigible par un temps de vieillissement plus long.

MÉTHODE SUBMERGÉE (ACÉTATEUR)

La **méthode submergée** permet de réaliser la méthode orléanaise de manière automatique au moyen d'un équipement nommé « acétateur ». Deux fournisseurs connus sont Gilson et Frings. C'est la méthode la plus utilisée en industrie. On la nomme « submergée » car le procédé se fait avec des bactéries acétiques sélectionnées, rajoutées dans l'acétateur, qui peuvent travailler dans le vinaigre et non plus seulement en surface. Dès lors, l'apport se fait par l'injection de microbulles d'air via un bulleur (Frings) ou un débitmètre à air lors d'une recirculation de l'alcool (Gilson). La température d'acétification est régulée par des échangeurs de chaleur chaud/froid.



Figure 20. Acétateur ©Gilson



Cuve avec Alcool Acétateur Cuve de dépotage
avec vinaigre non filtré

Figure 21. Fonctionnement de l'acétateur de ©Frings

L'acétateur permet même d'introduire l'alcool de manière automatique en soutirant progressivement le vinaigre, grâce à une mesure en direct du taux d'alcool ou de l'acidité. Dans ce procédé optimisé, l'acétification est obtenue en quelques heures, alors qu'il faut parfois plusieurs semaines en méthode orléanaise.

Cependant, contrairement à la méthode Orléanaise, le vinaigre obtenu a un développement aromatique bien plus faible dû à la rapidité du procédé. De plus, sans le fut, le vinaigre peut manquer de structures ou de tanins du bois : le vinaigre de l'acétateur est donc parfois mûré en futs de chêne pour lui apporter du corps !

5. Produits dérivés du vinaigre

PICKLES

Les pickles sont définis légalement comme des « Produits préparés par traitement de légumes ou de fruits crus avec du sel et/ou du vinaigre et de l'huile, contribuant de manière significative à la stabilité de l'aliment » (Guidance document describing the food categories in Part E of Annex II to Regulation (EC) No 1333/2008 on Food Additives, 2008).

Dans le cas des pickles au vinaigre, le mélange classique de marinade suit la règle des proportions 3-2-1 :

- 3 volumes d'eau
- 2 volumes de vinaigre
- 1 volume de sucre

Ce mélange-là permet d'atteindre en général un pH inférieur à 3.7 et donc une température de remplissage, pour permettre la pasteurisation du légume, de 80°C (Voir Fiche « [Conserve de Fruits & Légumes : Pasteurisation & Stérilisation](#) »). La marinade est donc généralement chauffée jusqu'à ébullition puis est rajoutée sur les légumes froids.

Cependant, il se peut que la pasteurisation ne suffise pas car les légumes et le bocal sont froids et donc que les 80°C ne soient pas atteints au cœur du produit. C'est ce qu'il s'est produit dans l'exemple des choux-fleurs en pickle ci-dessous : le manque de pasteurisation n'a pas permis d'éliminer toute la flore végétative et une fermentation a libéré du CO₂, ce qui fait remonter les légumes à la surface. Les légumes, au contact avec l'oxygène, ont donc plus de risque de voir se développer des moisissures.



Figure 22. Pickles de choux-fleurs refermentés

« Pour garantir une bonne pasteurisation des pickles, plonger les légumes quelques secondes dans la marinade chaude, les mettre en bocal et verser la marinade chaude par-dessus. Il faut ensuite retourner les bocaux pour pasteuriser l'espace de tête. »

MOUTARDE

La **moutarde** vient du latin « Mustum Ardens », qui signifie le moût piquant. Il en existe deux espèces botaniques principales : la noire et la jaune. La graine noire, employée notamment pour la moutarde de Dijon, est la plus piquante mais est celle qui est la plus courte en bouche. La machine qui permet d'enlever les téguments coûte 50.000 € donc les moutardes fermières sont toutes avec des marquants noires de téguments de graine de moutarde. La graine jaune ou blonde, employée notamment pour la moutarde Savora, est la plus douce mais son goût est plus persistant en bouche.



La moutarde est définie légalement comme « la pâte obtenue en mélangeant avec du vinaigre ou avec un liquide contenant de l'acide acétique, soit des graines de moutarde *Brassica nigra*, *Brassica juncea* et *Sinapis alba*, soit de farine de moutarde obtenue à partir de ces graines soit encore des graines précitées et de la farine de moutarde, à laquelle peuvent être ajoutées les denrées et substances alimentaires suivantes: vin, vin de fruits, sel de cuisine, du sucre, de la poudre de curcuma, des épices et plantes aromatiques et des arômes naturels dérivés de ces épices et plantes aromatiques; » (ARRETE ROYAL du 14 OCTOBRE 1970 relatif à la moutarde, 1970).

La moutarde conserve car lors du procédé de macération qu'elle subit, il y a libération de molécules antifongiques grâce à une enzyme spécifique. Après la récolte, les graines de moutarde doivent être séchées entières à une température maximale de 32°C pour éviter qu'elles ne pourrissent. Cette température maximale recommandée permet de ne pas désactiver l'enzyme de libération des molécules antifongiques (Mazza, 1998).

Après le séchage des graines, celles-ci sont éclatées légèrement au pilon pour écarter la pelure (tégument) de la graine, car c'est cette dernière qui contient l'enzyme (myrosinase). La libération des composés antifongiques (isothiocyanates) par l'enzyme est uniquement possible en milieu acide : on mélange alors 1/3 de graines avec 1/3 d'eau et 1/3 de vinaigre. Le mélange est ensuite laissé à macérer pendant 3 semaines à 1 mois à 20°C.

« Ne pas macérer trop chaud (> 30°C) car sinon, la moutarde sera trop piquante dû à un emballement de l'activité de l'enzyme. Au-dessus de 32°C, l'enzyme sera désactivée et donc il n'y aura pas de flaveur ».

Pendant la macération se produit la transformation synapique : l'acide du verjus (mélange eau – vinaigre) vient au contact de l'enzyme dans la graine et libère l'isothiocyanate, qui donne non seulement la flaveur spécifique à la moutarde mais en plus, a un effet antifongique. Ainsi, la moutarde, avec un pH inférieur à 3.7 et avec des composés antifongiques, ne nécessite pas de pasteurisation et peut être conservée telle quelle à température ambiante.

Ensuite, le mélange de macération est mixé : attention à éviter trop de cisaillement car si cela chauffe, on risque de perdre en goût. De plus, cela peut oxyder la moutarde et donc la faire brunir et l'éventer menant à une perte de la sensation piquante. Il est possible de sulfiter légèrement pour prévenir le problème.

Au remplissage, le produit peut parfois paraître fort amer. Cela s'atténue avec une maturation d'au moins 2 ou 3 semaines en bocal. L'autre solution consiste alors à laisser le produit mixé 2-3 jours à éventer au frigo : c'est le moment pour rajouter des aromates pour varier les types de moutarde.

6. Bibliographie

ARRETE MINISTERIEL du 30 MARS 1938 pris en exécution de l'article 7 de l'arrêté royal du 23 octobre 1937, relatif au commerce des vinaigres et produits analogues (1938).

ARRETE ROYAL du 14 OCTOBRE 1970 relatif à la moutarde (1970). <https://faolex.fao.org/docs/pdf/bel27181.pdf>

ARRETE ROYAL du 23 OCTOBRE 1937 relatif au commerce des vinaigres et produits analogues (1937).

Ciel, des moisissures ! Que faire ? Manger ou jeter ? (2017, décembre 1). Ni Cru Ni Cuit. <https://nicrucnicuit.com/aide/sos/sos-legumes/ciel-des-moisissures/>

De Ory, I., Romero, L. E., Cantero, D., De Ory, I., Romero, L. E., & Cantero, D. (1998). Modelling the kinetics of growth of *Acetobacter aceti* in discontinuous culture : Influence of the temperature of operation. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 49(2), Article 2. <https://doi.org/10.1007/S002530051157>

Guidance document describing the food categories in Part E of Annex II to Regulation (EC) No 1333/2008 on Food Additives (2008). https://food.ec.europa.eu/system/files/2022-12/fs_food-improvement-agents_guidance_1333-2008_annex-2.pdf

Heperkan, Z. D., Gunalan-Inci, E., & Ceyhan, T. (2023). Unexpectedly high patulin contamination and co-occurrence of ochratoxin A in homemade vinegar. *Food Control*, 148, 109685. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.109685>

Kluge, F. (avec Robarts - University of Toronto). (1891). *Etymological dictionary of the German language*; London, Bell. <http://archive.org/details/etymologicaldict00kluguoft>

Kong, H., Kim, S. H., Jeong, W.-S., Kim, S.-Y.,

& Yeo, S.-H. (2023). Microbiome and Volatile Metabolic Profile of Acetic Acid Fermentation Using Multiple Starters for Traditional Grain Vinegar. *Fermentation*, 9(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/fermentation9050423>

La maladie de la fleur. (s. d.). IFV Occitanie. Consulté 17 avril 2025, à l'adresse <https://www.vignevin-occitanie.com/fiches-pratiques/la-maladie-de-la-fleur/>

Le vinaigre maison c'est trop bon ! (s. d.). Consulté 17 avril 2025, à l'adresse <https://art-et-tonneaux.fr/blog/fabriquer-vinaigre-maison-vinaigrier-bois-gres-n2>

Lea, A. (2016). *Craft Cider Making* (Third edition). The Crowood Press.

Mazza, G. (1998). *Functional Foods : Biochemical and Processing Aspects*, Volume I. CRC Press.

Pasteur, L. (1822-1895) A. du texte. (1868). Études sur le vinaigre, sa fabrication, ses maladies, moyens de les prévenir : Nouvelles observations sur la conservation des vins par la chaleur / Par M. L. Pasteur,... <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k15100294>

Règlement - 1308/2013 - FR - EUR-Lex. Consulté 4 avril 2025, à l'adresse <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2013/1308/oj/fra>

Smith, R. (2018, juin 21). The deal on light and vinegar (and kombucha) fermentation. *Supreme Vinegar*. <https://supremevinegar.com/the-deal-on-light-and-vinegar-and-kombucha-fermentation/>

Uysal, R. S. (2024). Effects of Aging in Wood Casks on Anthocyanins Compositions, Volatile Compounds, Colorimetric Properties, and Sensory Profile of Jerez Vinegars. *Fermentation*, 10(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/fermentation10090469>