

CIDRE

AUTEUR

François Michels

Pôle Technologique de Conservation Alimentaire de DiversiFERM

VERSION 1

Février 2025

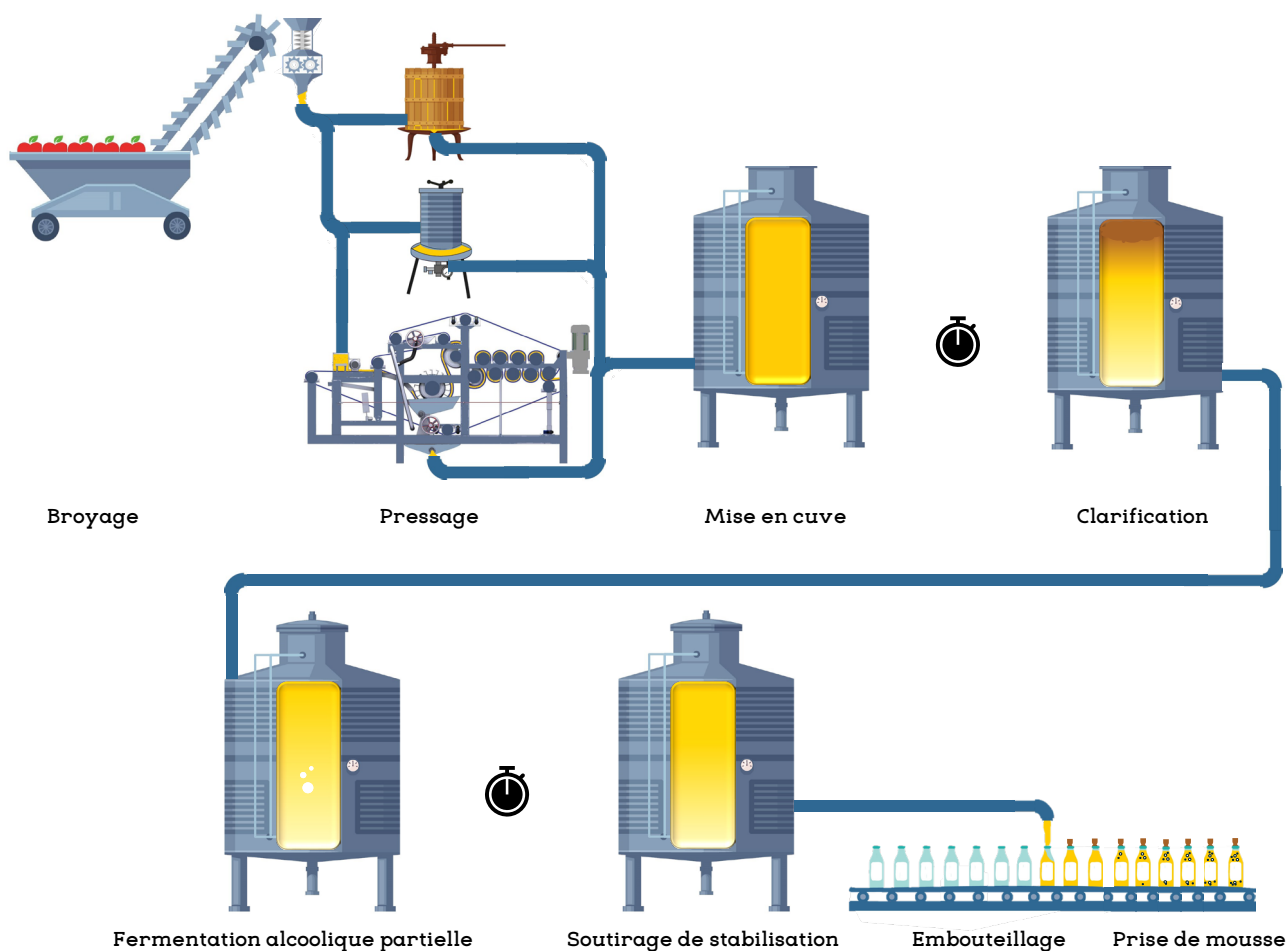


TABLE DES MATIÈRES

Contexte	1
Brassage	2
Fermentations	4
1. CHIMIE DE LA FERMENTATION ALCOOLIQUE	4
2. CLARIFICATION PRÉFERMENTAIRE	6
3. FERMENTATION ALCOOLIQUE PARTIELLE	11
4. PRISE DE MOUSSE NATURELLE	12
5. MÉTHODES ALTERNATIVES DE PRISE DE MOUSSE	15
6. EMBOUTEILLAGE	17
7. GUIDE DE CONDUITE DE FERMENTATION	18
Maladie des cidres	19
1. MAITRISE DES BACTÉRIES RESPONSABLES DE DÉFAUTS	19
2. TRANSFORMATION MALOLACTIQUE	21
3. MALADIES LIÉES À LA TRANSFORMATION MALOLACTIQUE	22
4. MALADIES LEVURIENNES	24
Contrôle et analyse	25
Bibliographie	26

1. Contexte

Le **cidre** peut se définir en tant que **boisson fermentée obtenue à partir de moût de pomme**. Cependant, il n'existe **aucune définition européenne du cidre et du poiré**

Certains états ont donc défini leurs propres normes par rapport à (*Registre de documents de la Commission - COM(2023)200, s. d.*) :

- la **teneur minimale en jus** de pommes/poires (y compris le jus et/ou le concentré) dans le cidre (ex. 100 % en France) et **en jus « frais »** (sans concentré) (ex. min. 50 % en France)
- l'adjonction d'**eau, de sucre** (chaptalisation) ou d'**alcool** (fortification)

Les étapes clés pour l'obtention du cidre sont :

1. **BRASSAGE** : Passage du fruit au moût (jus brut non traité)
2. **FERMENTATIONS** : Transformation du sucre en alcool et dioxyde de carbone par les levures
 - **CLARIFICATION PRÉ-FERMENTAIRE** : clarification naturelle du jus qui entraîne parfois la formation d'un « chapeau brun »
 - **FERMENTATION ALCOOLIQUE PARTIELLE** : consommation des sucres par les levures pour produire de l'alcool et des arômes
3. **EMBOUTEILLAGE**
4. **PRISE DE MOUSSE** : fermentation en bouteille des sucres résiduels pour obtenir la pétillance du cidre

La Belgique ne définit aucun cadre légal spécifique à la production de cidre. La plupart des producteurs belges suivent la tendance donnée par le marché français, notamment en termes de segmentation de produits (doux, brut, sec, etc), sans avoir l'obligation de respecter la législation à la lettre.

2. Brassage

La notion de **variété** de pomme est primordiale dans l'élaboration de cidre de qualité. La majorité des cidriers artisanaux wallons favorisent la transformation de variétés anciennes, poussant dans des vergers haute-tige avec un impact environnemental positif. **Le choix de la variété dépend de deux critères : le profil gustatif de la pomme et sa saison de récolte.**

L'objectif du cidre, comme pour le jus, est de trouver **un équilibre gustatif entre le sucre, l'acidité et l'amertume** :

- **Le sucre**, mesuré par densimètre : le densimètre est plongé dans un pied gradué rempli de moût. Au plus le moût est riche en sucre, au plus le densimètre flotte. La densité s'exprime en g/l et peut être convertie en quantité de sucres en g/l par une table.
- **L'acidité**, mesurée par titrage : on ajoute une solution basique jusqu'à neutraliser tous les acides du moût. En y appliquant un facteur de conversion, on obtient l'acidité titrable exprimée en g/l d'acide malique.
- **L'amertume**, liée à la quantité de tannins, exprimée en g/l d'acide tannique ou d'acide gallique (les deux sont équivalents). Elle se mesure en laboratoire par des méthodes avancées telles que la spectrophométrie ou le titrage au permanganate.

La France, l'Espagne et l'Angleterre ont chacun leur système de classification des variétés. La classification proposée par Claude Jolicoeur, cidriculteur canadien de référence internationale dans les pays francophones, permet de concilier les différents opinions (Jolicoeur, 2024):

CATÉGORIE	SUCRE (G/L)	DENSITÉ (G/L)	ACIDITÉ (G/L) EXPRIMÉ EN ACIDE MALIQUE	TANNIN (G/L), EXPRIMÉ EN ACIDE TANNIQUE/ACIDE GALLIQUE
FAIBLE	< 100	< 1045	< 4,5	< 1,5
MOYENNE	100 à 125	1045 à 1057	4,5 à 7,5	1,5 à 2,5
ELEVÉE	125 à 150	1057 à 1069	7,5 à 11	2,5 à 3,5
TRÈS ÉLEVÉE	> 150	> 1069	> 11	> 3,5

Les pommes idéales selon Jolicoeur sont des pommes avec une teneur élevée en sucre et moyenne en acide. Selon cette définition, il n'existe quasiment aucune variété au profil parfaitement équilibré entre le sucré, l'acide et l'amertume, à l'exception de la pomme à cidre anglaise Kingston Black et de la Bretonne Guillevic. En Belgique, la majorité des variétés sont acides, ce qui rend en général le cidre monovariétal peu intéressant. C'est la raison pour laquelle l'assemblage est favorisé avec les variétés belges. De plus, certaines variétés acides sont faibles en tannins (ex. Reinette Etoilée, Reinette Evagil) : il peut donc être intéressant d'y intégrer des variétés amères ou astringentes (ex. Gris Braibant, Belle-fleur de France) pour donner au cidre du corps, de la complexité et de la longueur en bouche.

Tout le procédé et le matériel de brassage (passage du fruit au moût) sont abordés dans la fiche « Jus de pomme, poire, petits fruits et tomates ». Cette fiche aborde donc exclusivement les étapes pour passer du jus brut, appelé moût par après, au cidre.

La saison est le deuxième critère important. En Belgique, la saison de la pomme s'étale de juillet à décembre. Les variétés précoces se récoltent jusque septembre, celles de milieu de saison jusqu'à fin octobre et les variétés tardives de novembre à décembre. On vise, comme pour le jus, à presser la pomme à pleine maturité, ce qui signifie en général celle qui est tombée au sol, et à une température maximale de 10°C, pour éviter un départ en fermentation des fruits lors du stockage. Il convient donc :

1. Conserver les variétés précoces et de mi saison au au frais. L'idéal est souvent de les transformer davantage en jus qu'en cidre, car elles ont en général un faible potentiel de conservation, même en chambre froide.
2. Privilégier les variétés tardives pour presser au maximum à basse température
Dans ces deux cas-là, un pressage le 15/11 et une mise en bouteille le 15/03 est idéale pour éviter les extrêmes de saison
3. Eviter les variétés extrêmes tardives (pommes à maturité en fin décembre – début janvier) : cela décalerait la mise en bouteille en avril, où le risque de maladie est davantage présent (pique acétique, framboisé, etc) car les températures sont déjà remontées. Toutefois, si l'on souhaite tout de même cidrifier ces variétés, il faut une bonne maîtrise de la température en la maintenant la plus fraîche possible.

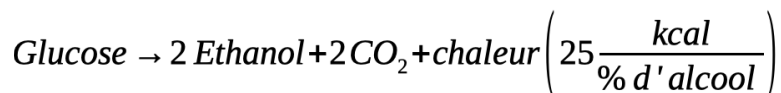
Plus d'informations quant au choix des variétés à planter (en assemblage ou en monovariétal) :

- sur le site de [DiversiFruits](#)
- dans les fiches émises par le [CRA-W](#) (Centre wallon de Recherches agronomiques)
- sur le site de [Biodimestica](#), qui renseigne beaucoup d'informations sur l'élaboration des vergers.

3. Fermentations

1. CHIMIE DE LA FERMENTATION ALCOLIQUE

La principale transformation du moût en cidre est causée par la **fermentation alcoolique**. Cette réaction, opérée par les levures naturellement présentes dans le moût, permet la transformation du sucre en alcool et dioxyde de carbone (CO_2). Cette réaction exothermique fait augmenter la température du moût d'environ $2.5^\circ C$ par degré d'alcool produit. Notons que les sucres principaux du moût sont le glucose, puis le fructose puis enfin le saccharose. Ce dernier est d'abord scindé en glucose et fructose par les levures. Celles-ci transforment ensuite le fructose en glucose.



Comment connaître la quantité de sucre du moût ?

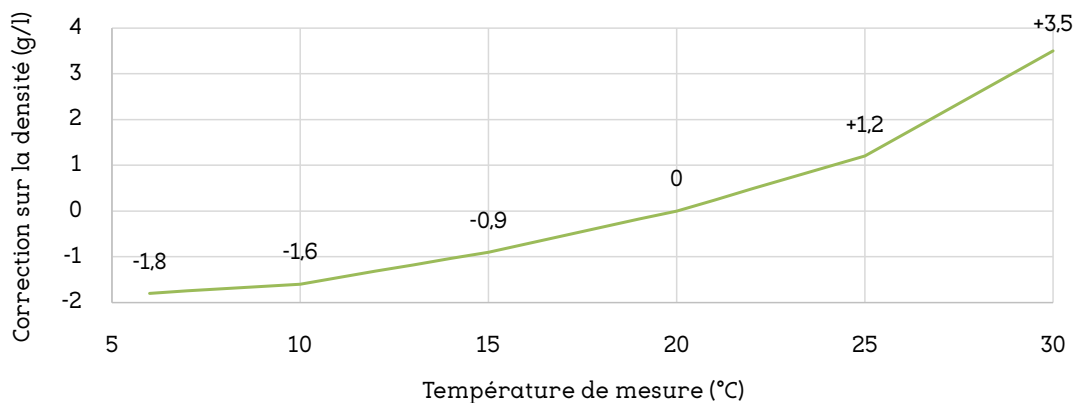
Pour connaître le potentiel fermentaire, il faut déterminer la quantité de sucre avec un densimètre :

1. Remplir un pied gradué avec du cidre dégazé pour éviter que le densimètre ne remonte
2. Introduire le densimètre en le faisant tourner sur lui-même
3. Lire le niveau de densité sur le ménisque
4. Une fois la densité obtenue, il suffit d'opérer l'équivalence en quantité de sucre via une [table de conversion](#).

La table ci-dessus est donnée pour une température de référence de $20^\circ C$. En fonction de la température de mesure, il faut apporter les corrections suivantes (Jolicœur, 2024) :



FIGURE 1. Lecture d'un moût à 1055 points de densité (à $25^\circ C$).



Comment connaître le potentiel fermentaire du moût ?

Le moût pris comme exemple juste avant a une densité de 1055 mesurée à $25^\circ C$.

1. Vu que la mesure a été prise sur un échantillon plus chaud que la température de référence ($20^\circ C$), il est logiquement moins dense. Pour connaître la correspondance à $20^\circ C$, il suffit d'ajouter le facteur de correction (1.2), ce qui donne une densité de 1056,2 à $20^\circ C$.
2. Par la formule de la quantité de sucre, on obtient une quantité de sucre de 111,6 g/l:

$$\text{Quantité de sucre} = 2130 \left(\frac{\text{densité}}{1000} - 1 \right)$$

Quelle est la quantité d'alcool et CO₂ produit par la réaction ?



En théorie, 1 g de sucre soit 0.0055 moles de glucose (masse molaire (m.m.) : 180 g/mole) donne 0.0111 moles d'éthanol (m.m. : 46 g/mole) et de CO₂ (m.m. : 44 g/mole), soit 0.51 g d'éthanol et 0.49 g de CO₂.

CALCUL DE LA PRODUCTION D'ÉTHANOL :

En pratique, dans le cidre, 1 g de sucre fermente pour donner environ 0,47 g d'éthanol (plutôt que 0.51 g), ce qui correspond à un rendement de 92% (Labounoux & Touchard, 1910). Etant donné que la masse volumique de l'éthanol vaut 0.79 g/cm³, une boisson indiquant 1% d'alcool (soit 10cm³ dans 1l) contient 7.9 g d'alcool. Pour produire **1% d'alcool (7.9 g d'éthanol), il faut donc 16.8 g de sucre (7.9 g d'éthanol * 1 g de sucre / 0.47 g d'éthanol)**.

Dans notre exemple, pour connaître l'alcool potentiel, on applique la formule de conversion du sucre en alcool :

$$\text{Alcool potentiel} = \frac{119.70 \text{ g de sucre}}{16.8 \frac{\text{g de sucre}}{\% \text{ d' ethanol}}} = 7.1 \% \text{ d' alcool}$$

CALCUL DE LA PRODUCTION DE CO₂ :

Il est communément admis que la réaction libère autant de CO₂ que d'éthanol, soit **0.47 g de CO₂/g de sucre fermenté** (Jolicoeur, 2024). Lorsque l'on introduit du CO₂ dans un liquide, on dit qu'on le sature. La quantité de saturation est mesurée dans les produits fermentés en **volume de CO₂, défini comme la quantité de CO₂ dans 1 l d'eau à 0°C à pression atmosphérique**. Un volume de CO₂ équivaut à 1,977 g/l. 1 g/l de sucre fermenté donne 0,47 g/l de CO₂ soit 0,24 volumes de CO₂ (0,47/1,977). Cette notion sera utile lors que l'on abordera la prise de mousse plus tard.

Comment connaître la pression apportée par la formation de CO₂ ?

L'unité de mesure du CO₂ dans les boissons gazeuses est le volume de CO₂ : c'est la quantité de gaz dissous dans un litre de cidre, à 0°C et sous pression atmosphérique. Dans ces conditions, la masse volumique du CO₂ est de 2 g/l (1.977 g/l précisément), ce qui correspond donc à 1 volume de CO₂. Par exemple, un cidre qui contient 6 g/l de CO₂ contient donc 3 fois (6/2 g/l) le volume qu'il peut normalement contenir à 0°C à la pression atmosphérique, ce qui le fait monter en pression. Cette pression dépend de la température, ce qui n'est pas le cas pour le nombre de volume de CO₂. C'est pour cela qu'on classe l'effervescence des cidres par rapport au nombre de volume de CO₂ qu'il contient (Liger-Belair, 2024; Normandie, 2024)

La pression d'un gaz saturant un liquide est définie par la loi de Henry, qui lie le nombre de volumes de CO₂ (V_{CO₂}) à la pression via une constante k_h, dépendante de la température T (°C):

$$P_{CO_2} = \frac{V_{CO_2}}{k_h} = \frac{V_{CO_2}}{0.0339 \times e^{\frac{19400}{8.314} \times \left(\frac{1}{T+273.15} - \frac{1}{298.15} \right)} \times 0.08314 \times (T+273.15)}$$

Par calcul de la formule, on obtient les valeurs de k_h :

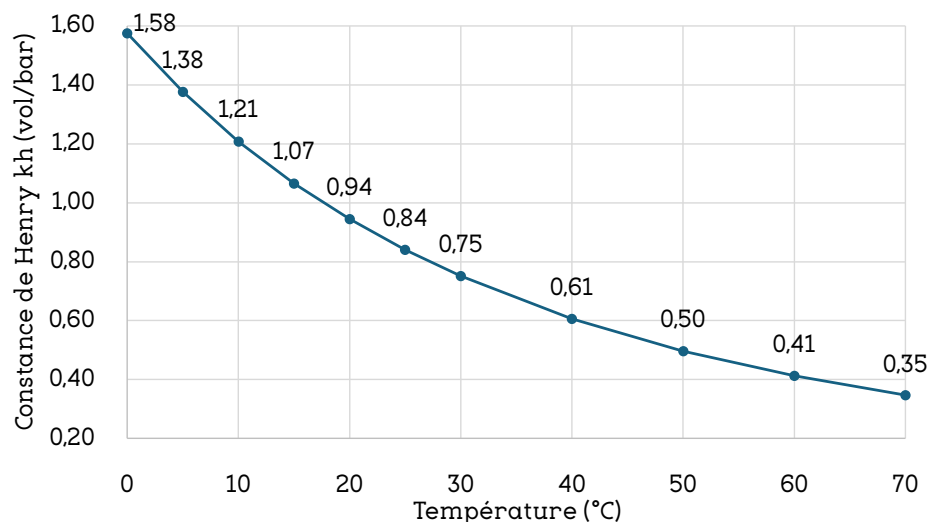


FIGURE 2. Constantes de Henry pour le CO_2 à différentes températures.

Si l'on considère l'exemple initial où on fermente la totalité du moût soit 119.7 g de sucre à 10°C :

- 119.7 g de sucre forme $0.47 \times 119.7 = 56.3$ g de CO_2 par litre
- 56.3 g/l de CO_2 équivaut à $56.3 / 1.977 = 28.5$ volumes de CO_2
- 28.5 volumes de CO_2 vaut à 10°C $28.5 / 1.21 = 23.5$ bars de CO_2

Par calcul, la fermentation totale du sucre libérerait donc 23.5 bars de pression, ce qui ferait exploser la cuve. C'est la raison pour laquelle il est nécessaire de munir toutes les cuves de fermentation d'un barboteur pour évacuer le CO_2 et éviter que celles-ci n'exploient !

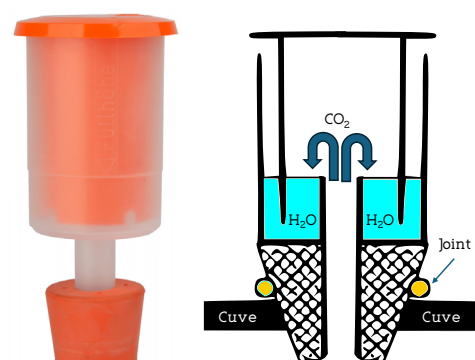


FIGURE 3. Barboteur à fermenteur : l'eau peut être remplacée par une solution d'anhydride sulfureux (5 à 10%). Laisser 3 à 5 cm entre le niveau du cidre et la bonde pour éviter qu'il ne déborde via la bonde.

Dans le cas du cidre, il existe deux fermentations :

1. **La clarification préfermentaire** : elle se produit parfois en tout début de fermentation alcoolique. C'est une fermentation tranquille qui consomme peu de sucre (max. 2 points de densité). Elle permet de clarifier le moût et de réduire partiellement la population en levure et en azote. Nous verrons plus tard que cette étape n'est pas indispensable à la réussite du cidre.
2. **La fermentation principale** : elle se produit à la suite de la clarification. C'est une fermentation turbulente, qui, si elle n'est pas stoppée, peut consommer la totalité du sucre du moût. Une fermentation lente permet de garder du sucre résiduel pour permettre la prise de mousse en bouteille et également un meilleur développement des arômes. C'est la raison pour laquelle on va chercher à stabiliser cette fermentation pour la ralentir.

2. CLARIFICATION PRÉFERMENTAIRE

L'étape de **clarification préfermentaire**, aussi appelée défécation ou clarification par le haut, est une étape qui permet de nettoyer naturellement le moût. Quelques jours après le pressage, les pectines vont réagir avec le calcium du moût et gélifier. Le démarrage de la fermentation alcoolique libère également du CO_2 , ce qui a pour effet de faire monter le gel de pectine. Celui-ci forme à la surface du contenant une mousse brunâtre : c'est le chapeau brun. En parallèle, le jus décante et certaines lies précipitent dans le fond. Le volume du chapeau et des lies représente 5 à 20% du volume total.

Le moût compris entre les lies et le chapeau est soutiré dans une autre cuve. Le jus après clarification est limpide et est soutiré dans des tonneaux ou autres cuves.

Dans sa migration, le chapeau capte :

- Des impuretés
- Des molécules colorantes
- Des levures responsables de la fermentation alcoolique
- Des matières azotées (entre 0 et 20 mg/l) : l'azote est le nutriment limitant pour les levures. En effet, si un moût contient du sucre et des levures mais pas d'azote, celles-ci ne pourront pas continuer de se développer. L'objectif est de carencer le moût en azote pour contrôler l'activité des levures.
- De la pectine, par la formation du gel mousseux



FIGURE 4.
Chapeau brun

La montée du chapeau permet donc :

1. de rendre le moût plus limpide
2. de ralentir l'activité fermentaire, en réduisant la population de levure et la quantité d'azote
3. de capter une partie des flores d'altération
4. d'éliminer les pectines, ce qui améliore la filtrabilité du cidre

La **durée de la montée du chapeau brun** dépend de la température : 4 à 8 jours après le pressage pour une température de 10 à 12°C. C'est la température idéale car il ne faut pas manquer le moment où le chapeau est formé. En effet, si on laisse la fermentation alcoolique se produire trop longtemps après formation du chapeau, le CO₂ vient le rompre et les morceaux de chapeau qui retombent dans la cuve : cela est notamment visible pour la formation d'une écume blanche. Inversement, si on n'attend pas suffisamment que le chapeau soit bien formé, si l'on soutire trop tôt, le chapeau risque de se reformer dans la cuve suivante. 10-12°C permet donc de bien suivre l'évolution du chapeau ((Guide Pratique de la Fabrication du Cidre - Rémi Bauduin - Librairie Mollat Bordeaux, s. d.).

TEMPÉRATURE	TEMPS DE MONTÉE
15 À 17°C	12 à 24 h
13 À 15°C	24 à 48 h
10 À 12°C	4 à 8 j
< 10°C	1 à 3 semaines



FIGURE 5.
Montée du chapeau au cours du temps.

Dans la figure ci-dessous, on observe les différentes phases de montée du chapeau. Le moût clarifié peut être soutiré lorsque le chapeau remonté à la surface est ferme et commence à se décoller des parois, sans fendillé ni écume blanche. La masse a chuté de maximum 1 à 2 points par rapport à la densité initiale (de 1050 à 1048 par ex.). Si cette chute est supérieure à 2 points, il faut soutirer vite car la fermentation a déjà bien débuté et il y a un risque que le chapeau ne se fendille, avec une apparition de mousse blanche. Par contre si elle est restée stable, la montée du chapeau brun n'a pas encore eu lieu.

Les cidriers bretons et normands considèrent cette étape comme obligatoire pour la réussite du cidre. Il a toutefois été démontré que la clarification du cidre pouvait s'obtenir par des soutirages successifs.

En théorie, les pectines naturelles du fruit gélifient difficilement à un pH inférieur à 3.6. La majorité des moûts de pomme belges ont un pH avoisinant ou plus bas que 3.6 : les chapeaux observés en Belgique sont plus clairs, moins foncés et moins francs qu'en France, ce qui n'empêche pas d'obtenir un cidre limpide et stable.

Comment savoir si le moût peut former un chapeau brun ?

Il faut faire **le test à l'alcool** pour mettre en évidence la présence de pectines :

- 1 Dans un tube à essai, mélanger 2 volumes de moût pour 1 volume de solution de méthanol à 1% d'acide chlorhydrique. Attendre quelques minutes
2. Lecture :
 - Tube limpide : il n'y a pas de pectine. Le moût ne pourra pas avoir un chapeau naturellement.
 - Gel léger et diffus : il y a une légère présence de pectine mais il sera difficile à clarifier.
 - Bouchon de gel : il y a suffisamment de pectine pour que le cidre se clarifie.
 - Bouchon de cidre

Le test à l'alcool est davantage détaillé dans le cahier technique de l'IFPC

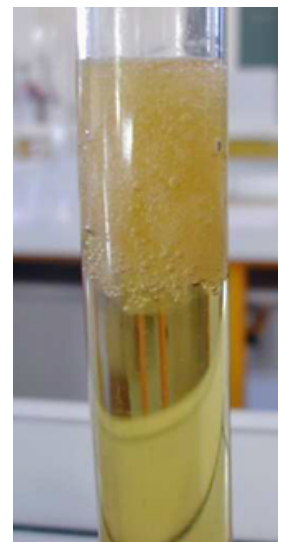


FIGURE 6.
Bouchon de gel du test à l'alcool.

La clarification préfermentaire peut aider à la stabilité et la limpidité du produit fini mais n'est en aucun cas obligatoire pour la réussite du cidre.

Il est possible d'aider à la formation du chapeau brun, même en pH acide, en ajoutant des pectines et du calcium (sous forme de chlorure de calcium CaCl_2).

Quels sont les conseils pour réussir la montée du chapeau brun ?

- **Presser un mélange de différentes variétés de pommes mûres :**
 - Seules les pommes mûres ont le bon type de pectine (acides pectiques) pour former le chapeau. Les pommes peu ou trop mûres ne contiennent pas les bonnes pectines pour former le chapeau (respectivement des protopectines et des acides galacturoniques)
 - Le mélange de variétés limite l'impact des pommes acides sur la formation du chapeau
- Travailler à **8-12°C** :
 - Au-delà, la fermentation va trop vite et le CO_2 libéré peut rompre le chapeau
 - En deçà, le chapeau peut mettre trop de temps à monter et à se rétracter
- **Remplir la cuve de réception du moût en moins de 24h** pour que le début de la fermentation démarre avant la fin du remplissage

- **Avoir une cuve adaptée :**

- Remplir les caractéristiques de cuve décrite dans la fiche « Jus de pomme, poire, petits fruits et tomate »
- Verticale et plus haute que large de max. 2 m de haut pour que le chapeau puisse arriver au-dessus
- Prévoir un espace libre de 15 à 20 cm pour le chapeau brun, en plus du volume du moût

La pectine méthyl estérase (PME) permet la formation du chapeau brun, en activant l'effet gélifiant de la pectine :

Acide pectinique → Acide pectique + Méthanol

Acide pectique + Calcium → Gel de pectinate (gel du chapeau)

L'enzyme est présente naturellement dans le moût mais peut être rajoutée pour aider à la montée du chapeau. L'ajout de PME se fait en général en début de remplissage de cuve et on ajoute le calcium en fin de remplissage, pour éviter que la formation du gel ne débute avant la fin du mouvement du liquide au sein de la cuve.

Des kits de clarification incluant de la PME et du calcium (sous forme de chlorure de calcium) sont vendus dans le commerce en ligne. Suivre les instructions du fournisseur en terme de dosage et de procédure:

- [Maison Frin des particuliers](#)
- [AgrialPro](#)
- [Fabriquer du vin.com](#)
- [NovoShape \(Novozymes\)](#)
- [Chlorure de calcium \(Brouwland\)](#)

La pectinase dégrade la pectine pour l'empêcher d'avoir un effet gélifiant. Son action est donc inverse à celle de la PME. En Belgique, elle se justifie pour les moûts souvent acides qui ne gélifient pas facilement. Les pectines lysées par la pectinase tombent dans le fond de cuve, dans les lies.

Ces 3 enzymes sont des références :

- [Fructozym P \(Erbsloeh\)](#)
- [Panzym Univers \(Eaton\)](#)
- [Rapidase \(DSM\)](#)

Comment procéder au soutirage de clarification préfermentaire ?

Les deux risques principaux d'altération du soutirage sont :

1. Le remélange des lies et/ou du chapeau brun avec le moût clarifié. Les bonnes pratiques de soutirage sont abordées dans la fiche « Jus de pomme, poire, petits fruits et tomate - page 14 ».
2. Le contact avec l'air, qui pourrait donner une piqure

L'air contient de l'oxygène (O₂) et peut donc oxyder l'alcool du moût en vinaigre (acide acétique).

Il est possible d'utiliser des enzymes pour faciliter l'étape de clarification préfermentaire. Pour comprendre quelle enzyme utiliser dans quel but, il faut comprendre leur mécanisme d'action : la pectine méthyl estérase épaissit le milieu tandis que la pectinase le liquéfie.

Le terme « pique » est employé lorsqu’une fermentation (acétique, lactique) non-désirée survient dans un produit. La pique acétique peut subvenir lorsque le cidre est en présence d’oxygène, ce qui défavorise la fermentation alcoolique et accélère la fermentation acétique.

Toutefois, l’oxygène n’est pas à éviter à tout moment de la fermentation. En effet, en fonction du taux d’alcool, certaines levures sont favorisées.

- De **2 à 4% d’alcool** : des **levures apiculées** provenant de la peau et de la chair de la pomme vont se développer grâce à l’oxygène présent au début de cette phase dite oxydative. La levure principale est *Hanseniaspora valbyensis* (*Kloeckera apiculata*), capable de produire des arômes fruités et floraux (esters). Elle est moins efficace que *Saccharomyces spp.* pour produire de l’alcool.
- De **4 à 11% d’alcool** : les levures ***Saccharomyces spp.*** prennent le relais. La levure naturelle des fermentations est *Saccharomyces uvarum* tandis que *Saccharomyces cerevisiae* est celle employé pour les ensemencements avec de la levure sèche active (LSA). Elle est 20% plus efficace que la levure apiculée pour produire de l’alcool.

Cider: The Phases of Wild Fermentation

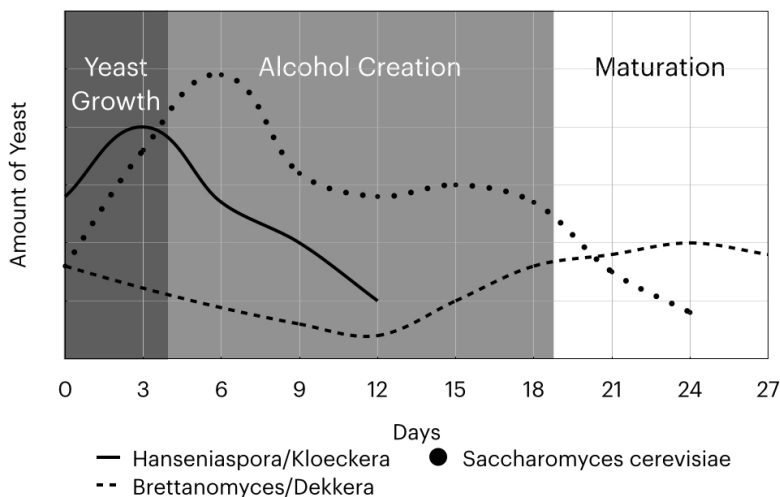


FIGURE 7.

Phases de fermentation d’un cidre (Prickly Cider, 2020) : *Brettanomyces* amène des défauts au cidre. Il sera abordé dans la section « Maladie des cidres » de cette fiche.

En phase de clarification préfermentaire, il est donc intéressant de favoriser la présence de levures apiculées par un contact avec l’oxygène, alors qu’en phase de fermentation principale, il faut éviter le contact à tout prix au risque d’une pique acétique.

Deux actions peuvent favoriser la présence des levures apiculées lors de la clarification préfermentaire :

1. Ne pas mettre de chapeau flottant (voir Fiche « Jus de pomme, poire, petits fruits et tomates ») tant que le chapeau brun n’est pas formé.
2. Faire le soutirage de clarification préfermentaire via un bac tampon qui permet d’oxygéner le moût et contrôler qu’aucun bout de chapeau brun ne passe dans le bac. Le jus déféqué est ensuite pompé dans l’autre cuve.



FIGURE 8.

Soutirage de clarification via bac tampon.

Une fois le soutirage de clarification effectué et l'autre cuve remplie par le fond, le chapeau flottant peut être mis à 5 cm du niveau du moût clarifié dans la nouvelle cuve :

1. Cela évite la contamination du moût clarifié par le chapeau flottant
2. Les levures vont rapidement consommer l'oxygène de l'espace de tête et le remplacer par du CO₂ produit de la fermentation alcoolique, qui a également pour effet d'inertier l'espace.

Eviter l'ancienne technique de défécation : remplir un fût/cuve totalement et laisser le chapeau brun déborder de lui-même, à proscrire pour raison d'hygiène.

3. FERMENTATION ALCOLIQUE PARTIELLE

L'objectif est de ne pas fermenter trop vite ni tout le sucre car :

1. Une fermentation trop rapide limite le développement des arômes
2. Ne pas assécher le moût permet de garder du sucre pour la fermentation en bouteille (prise de mousse)

Les facteurs qui influencent la vitesse de fermentation alcoolique sont :

- la température
- la quantité d'azote
- la quantité de levure

La **vitesse de fermentation** est visualisable sur la courbe de transformation du sucre en éthanol. Au plus la température augmente, au plus la fermentation est rapide. Vu que les levures apiculées, responsables de la majorité des arômes du cidre obtenus par la fermentation, se développent jusqu'à 4% d'alcool, on peut donc considérer que ce stade est atteint dans la courbe ci-dessous après 10 jours à 8°C et après 7 jours à 14°C. Donc au plus la température est basse, au plus la fermentation est lente et donc maîtrisable et au plus les levures apiculées peuvent développer les arômes du cidre.

La vitesse de fermentation se calcule en perte de points de densité par semaine, liée donc directement à la quantité de sucre. **Il est essentiel de noter fréquemment la densité et la porter en graphique pour suivre la vitesse.** Cette vitesse peut être maîtrisée par une intervention pour éliminer une partie des levures et de l'azote, présents principalement dans les lies des cuves. Cette élimination est en général permise par le soutirage mais cela peut être également réalisé par une filtration fine ou une centrifugation. En effet, la consommation de sucre est liée à la population de levures, elle-même conditionnée par la présence suffisante de nutriments, dont l'élément carentiel est l'azote. Dans l'exemple ci-dessous, on constate que la consommation de sucre par les levures leur permet de croître jusqu'à 225.000 CFU/ml mais que dès que l'azote vient à manquer, la population baisse malgré que le milieu soit encore chargé en sucre.

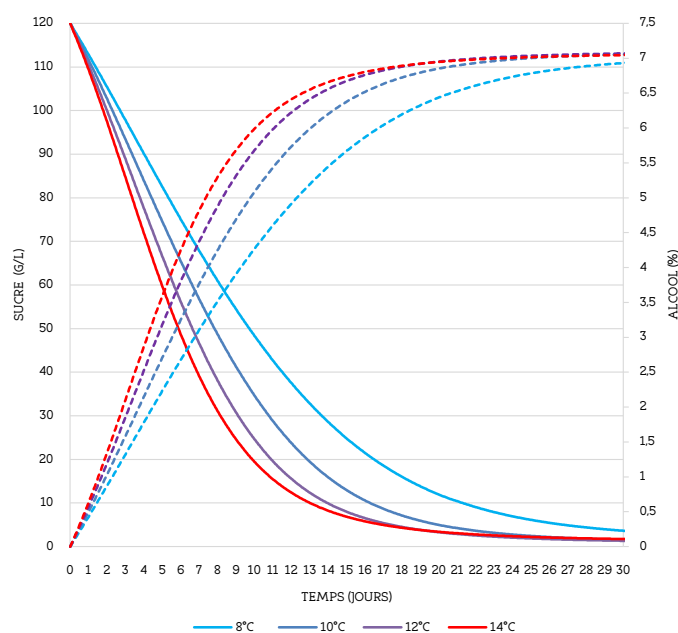


FIGURE 9.

Evolution du sucre et de l'alcool à différentes températures de fermentation : en trait plein, le sucre et en pointillé, l'alcool.

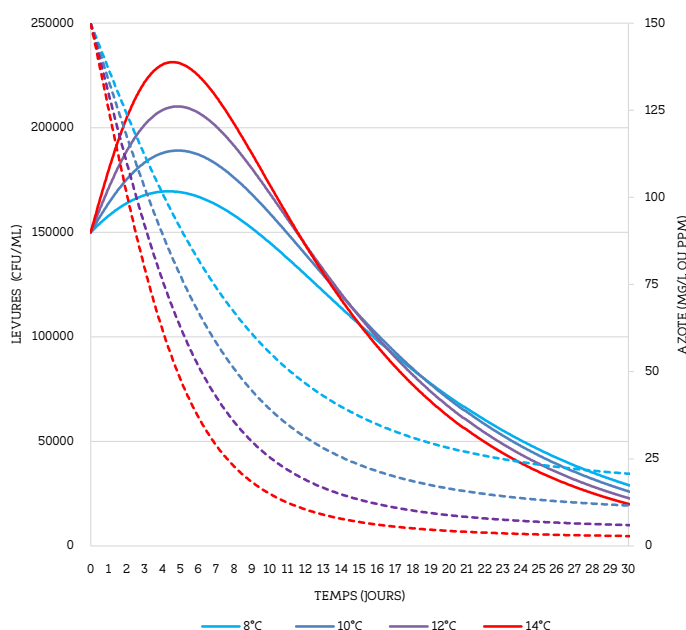


FIGURE 10.

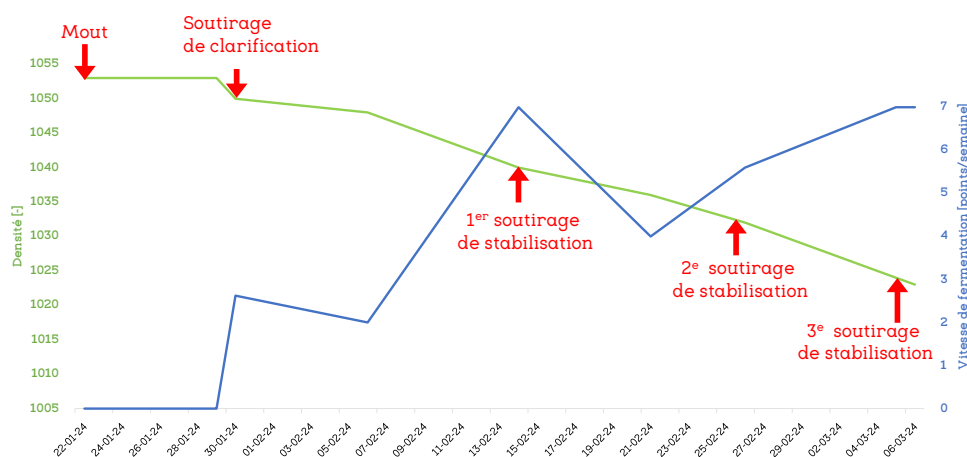
Evolution de la population en levure et la teneur en azote à différentes températures de fermentation : en trait plein, les levures et en pointillé, l'azote.

Une fermentation entre 10 et 12°C assure une maîtrise de sa vitesse et un bon développement des arômes

Travailler à l'abri de l'oxygène permet d'éviter la pique acétique, avec un chapeau flottant/couvercle et un contenant rempli.

La vitesse de fermentation permet de :

1. Juger si un soutirage est nécessaire pour réduire la quantité d'azote et de levures.
2. Connaître l'efficacité d'un soutirage en comparant la vitesse de fermentation avant et après le soutirage. Dans l'exemple ci-dessous, le 1er soutirage de stabilisation a permis de réduire la vitesse de 7 à 4 points de densité par semaine.
3. Anticiper sur une date d'embouteillage : en extrapolant, on peut estimer la date d'embouteillage pour une densité donnée. Par exemple, si la volonté est de réaliser un cidre doux à 1015 de densité, on vise en général 5 points au-dessus à l'embouteillage soit 1020. L'embouteillage dans ce cas-ci sera à réaliser vers mi-mars.



Un simulateur de fermentation est disponible en ligne pour visualiser l'impact des différents paramètres et vous aider à la conduite de fermentation.

FIGURE 11.
Impact des soutirages sur la vitesse de fermentation.

Que faire si les soutirages sont inefficaces ?

Il est possible de filtrer finement par filtre à plaque ou à alluvionnage (voir Fiche « Jus de pomme, poire, petits fruits et tomates »). Cependant, la filtration fait perdre un peu de pétillance au cidre et peut légèrement l'oxyder. Toutefois, la reprise de la fermentation corrige ces défauts.

Quel est l'impact du soutirage sur la quantité d'azote et sur la population de levure ?

À l'origine, un moût contient entre 10.000 et 1.000.000 CFU/ml en levures, soit 75 à 150 mg/l, mais celles-ci se développent ensuite dans le cidre (Beech, 1972). Le premier soutirage retire en général 85 à 95% des levures (Renouf & Lonvaud-Funel, 2004) puis on compte 10 à 20% par soutirage supplémentaire. La vitesse peut être réduite de 30 à 200% en fonction de l'efficacité du soutirage (Jolicoeur, 2024). L'impact des soutirages peut être estimée sur le **simulateur de fermentation**.

4. PRISE DE MOUSSE NATURELLE

Cette seconde fermentation permet de gazéifier naturellement le cidre, après embouteillage. Pour permettre cela, le moût doit contenir une quantité maîtrisée de sucres résiduels. On considère en général qu'il faut embouteiller à une densité de 4 à 5 points supérieure à la densité finale désirée. Cependant, la quantité de levure, dépendant du taux d'azote, est directement proportionnelle à la montée en pression.

Pour réussir la prise de mousse, il faut :

- Avoir un moût partiellement asséché pour avoir du sucre résiduel, suffisamment pour obtenir une effervescence mais sans risque d'explosion (gerbage)
- Avoir des quantités de levure et d'azote maîtrisées pour ne pas consommer tout le sucre
- Avoir une température de cave maîtrisée

Pour ce dernier point, la température conseillée est de 10 à 15°C (stockage en cave). Il est déconseillé de le faire dans une pièce d'une température supérieure à 19°C.

UN MOÛT PARTIELLEMENT ASSÉCHÉ

Si le moût est trop bas en sucre résiduel, il est possible de le chaptaliser, c'est-à-dire en lui rajoutant du sucre. Pour ce faire, il faut connaître la quantité de sucre résiduel et la densité que l'on veut atteindre pour atteindre une certaine effervescence. Pour cela, deux facteurs sont à prendre en compte (Jolicoeur, 2024) :

1. L'effervescence du cidre dépend de la quantité de CO₂ qu'il contient, exprimée en volumes de CO₂, dont la définition est abordée au point 3.1. Chimie de la fermentation alcoolique. La pression calculable par la loi de Henry donne la pression absolue, sans prendre en compte l'effet de la pression atmosphérique (1 bar) et de la bouteille. En réalité, les contraintes de la bouteille diminuent l'impact de la pression atmosphérique : la pression effective dans le cidre vaut donc 0.5 bar de moins que la pression absolue.
2. Le barboteur et les soutirages n'éliminent pas totalement le CO₂. En effet, à pression atmosphérique, environ 0.6 volumes de CO₂ (1.2 g/l) restent dissous dans le moût (60% de ce que le moût sait contenir au maximum à cette pression-là) . Cette valeur oscille donc en pratique entre 1.2 et 2 g/l (entre 0.6 et 1 volume de CO₂) et est mesurable en laboratoire pour mieux appréhender la prise de mousse.

En prenant en compte la correction de la pression absolue et la saturation partielle du cidre avant chaptalisation, on obtient le guide de chaptalisation suivant :

TYPE	CHUTE DE DENSITÉ (20°C)	CHUTE DE SUCRE (G/L)	CONCENTRATION EN CO ₂ (G/L)	VOLUME DE CO ₂	PRESSION À 25°C (BAR)	ALCOOL PRODUIT (%)
PERLANT	1	2	2	1.1	0.8	0.1
PÉTILLANT	2 à 4	4 à 8	3 à 5	1.6 à 2.5	1.4 à 2.5	0.2 à 0.5
MOUSSEUX	6 à 9	12 à 20	7 à 11	3.5 à 5.4	3.7 à 6	0.7 à 1.2
LIMITE HAUTE	7	14	8	3.9	4.7	0.8

La pression recherchée est de 1.4 à 3.7 bar à 25°C. Au-delà de 4.7 bars, il y a des risques d'ouverture et d'explosion. Une chute de 4 points de densité en bouteille (soit 8 g/l) suffit pour obtenir 2.5 bar à 25°C (ou 1.6 bar à 10°C). Il faut donc prévoir de mettre en bouteille le cidre environ 4 points au-dessus de la densité voulue à la fin de la prise de mousse.

Embouteiller 4 à 5 points de densité au-dessus de la densité finale voulue. Cela permet d'atteindre 1.6 à 2.2 bar après 2 à 4 mois à 10°C.

Le tableau ci-dessous présente les taux de sucre résiduels requis par la législation française (Décret n°53-978 du 30 septembre 1953 relatif à l'orientation de la production cidricole et à la commercialisation des cidres, des poirés et de certaines boissons similaires, 1953). Il est conseillé de s'inspirer de ces normes pour positionner son produit.

APPELLATION	SUCRES RÉSIDUELS	DENSITÉ (20°C) FINALE	DENSITÉ (20°C) À L'EMBOUEILLAGE
DOUX	< 35 g/l	> 1017	> 1022
BOUCHÉ DOUX	< 42 g/l	> 1019	> 1024
DEMI-SEC	Entre 28 et 42 g/l	1013 à 1019	1018 à 1024
BRUT	< 28 g/l	< 1013	< 1018
EXTRA-BRUT	< 9 g/l	< 1004	< 1009
ZÉRO	< 1 g/l	< 1000	< 1005

MAITRISE DE LA POPULATION DE LEVURE ET DE L'AZOTE

Chaque soutirage permet d'appauvrir le moût en levures et en azote. La biomasse comprend des levures vivantes et des levures mortes, ainsi que l'azote du moût, qui représente 9 à 10% de cette biomasse. La pression du cidre finale est directement liée à la quantité de levure : c'est la raison pour laquelle il faut avoir une quantité maîtrisée de levure pour une prise de mousse réussie.

- Soit on désire travailler **en fermentation spontanée** (avec les levures naturelles développées dans le cidre): la dose de levure résiduelle conseillée est entre **500.000 et 1.500.000 CFU/ml**.
- Soit on désire travailler avec du **levurage** (exogène) : il faut alors s'assurer que le cidre contienne moins de **25.000 CFU/ml** de levures indigènes, soit en soutirant, soit en filtrant suffisamment. Ensuite, il est possible d'ensemencer avec des levures sèches actives (LSA) : la dose recommandée est de 0.25 g de levure sèche/l. Notons que la LSA contient environ 15 à 20 milliards de cellules viables par gramme : un moûtensemencé à la dose recommandée contient donc 4 à 5.000.000 CFU/ml. Comme celles-ci sont rajoutées, elles ne sont pas adaptées au milieu et c'est la raison pour laquelle la quantité est supérieure à celle des levures indigènes. La procédure de mise en œuvre des levures est renseignée dans les fiches des fournisseurs (Lalvin, Enolevure, Safcider, etc).

Comment évaluer la quantité de levures ?

Au plus un moût est chargé en biomasse et donc en levures, au plus il est trouble. La dose de levures indigènes recommandée correspond à 95% de turbidité, mesurable en labo par un turbidimètre ou par comptage sur une cellule de Malassez. Chez le producteur, la turbidité peut s'évaluer en mettant un journal derrière un contenant transparent et en essayant de lire le texte au travers. Si les titres et sous-titres sont lisibles, le moût est suffisamment appauvri en levures.

FIGURE 12.
Evaluation de la turbidité: à gauche, le cidre est encore trop trouble et donc chargé en levures - à droite, il est légèrement troublé et on devine les écritures, il peut donc être embouteillé.



MAITRISE DE LA QUANTITÉ D'AZOTE

La multiplication des levures au sein du moût dépend de la quantité d'azote. Cette teneur en azote est liée aux paramètres arboricoles (type de sol, âge du verger, variété, effet, année) et également aux opérations effectuées pendant la fermentation principale (qualité de la clarification préfermentaire, soutirages, filtration).

Tout l'azote n'est pas assimilable par les levures : dans certains cas, jusqu'à 20% de l'azote peut ne pas être consommé (Nogueira et al., 2008). En réalité, deux formes d'azote sont assimilables par les levures (en anglais « **Yeast Assimilable Nitrogen** » ou **YAN**) : l'azote organique sous forme d'acide aminé et l'azote minéral sous forme d'ammonium, dont la somme compose le YAN. Le YAN est donc déterminant pour la prise de mousse mais également pour la conduite de la fermentation alcoolique principale.

DiversiFERM propose le service d'[analyse des boissons](#) pour vous aider dans la conduite de fermentation et vous permet de connaître la quantité d'azote assimilable dans vos moûts et boissons.

Le moût doit être appauvri en azote jusqu'à 60 mg/l pour permettre une bonne prise de mousse.

Comment évaluer la capacité de prise de mousse ?

Il est possible d'effectuer un **test de fermentescibilité simplifié** en provoquant une prise de mousse accélérée à 20°C pendant 15 jours (plutôt que 2 à 4 mois à 10°C) et mesurer ensuite la densité. La méthode est la suivante :

- Prendre deux bouteilles qui viennent d'être embouteillées du même lot
- Placer une bouteille au frigo et l'autre dans une pièce à 20°C
- Après 15 j, mesurer la densité des deux bouteilles à 20°C, en ayant dégazé au préalable
 - Si la différence de densité est inférieure à 3 points : la prise de mousse sera modérée. Le cidre pourra se conserver plus longtemps sans risque de surpression. Les bouteilles pourront être stockées couchées.
 - Si la différence de densité est supérieure à 3 points : la prise de mousse sera importante. Ne pas dépasser 2 mois de vieillissement et maintenir les bouteilles debout. Les bouteilles devront être stockées debout car si elles sont couchées, l'interface des levures, non mobiles, en contact avec le moût sera plus important et la formation de bulles sera trop proche du goulot, ce qui risque de faire gerber le cidre. Debout, il y a moins de contact et le bouchon sert de soupape en cas de surpression.

La pression en bouteille peut être suivie par un aphromètre : un manomètre qui se fixe ou se pique dans le bouchon.



FIGURE 13
Aphromètre

Que faire si la prise de mousse est excessive ?

Les étapes à suivre sont :

1. Sélectionner 5 bouteilles par lot
2. Mettre les bouteilles au frais (4°C) pendant 3 jours pour calmer l'activité fermentaire
3. Laisser ouverte chacune des 5 bouteilles pendant un temps différent : 2 – 4 – 6 – 8 – 10 min, puis refermer
4. Remettre 3 jours à température ambiante puis goûter la pétillance et en déduire le temps d'ouverture idéal à appliquer pour le lot

5. MÉTHODES ALTERNATIVES DE PRISE DE MOUSSE

On distingue les méthodes où le CO₂ est apporté par la fermentation et les méthodes où l'on sature avec du CO₂ exogène.

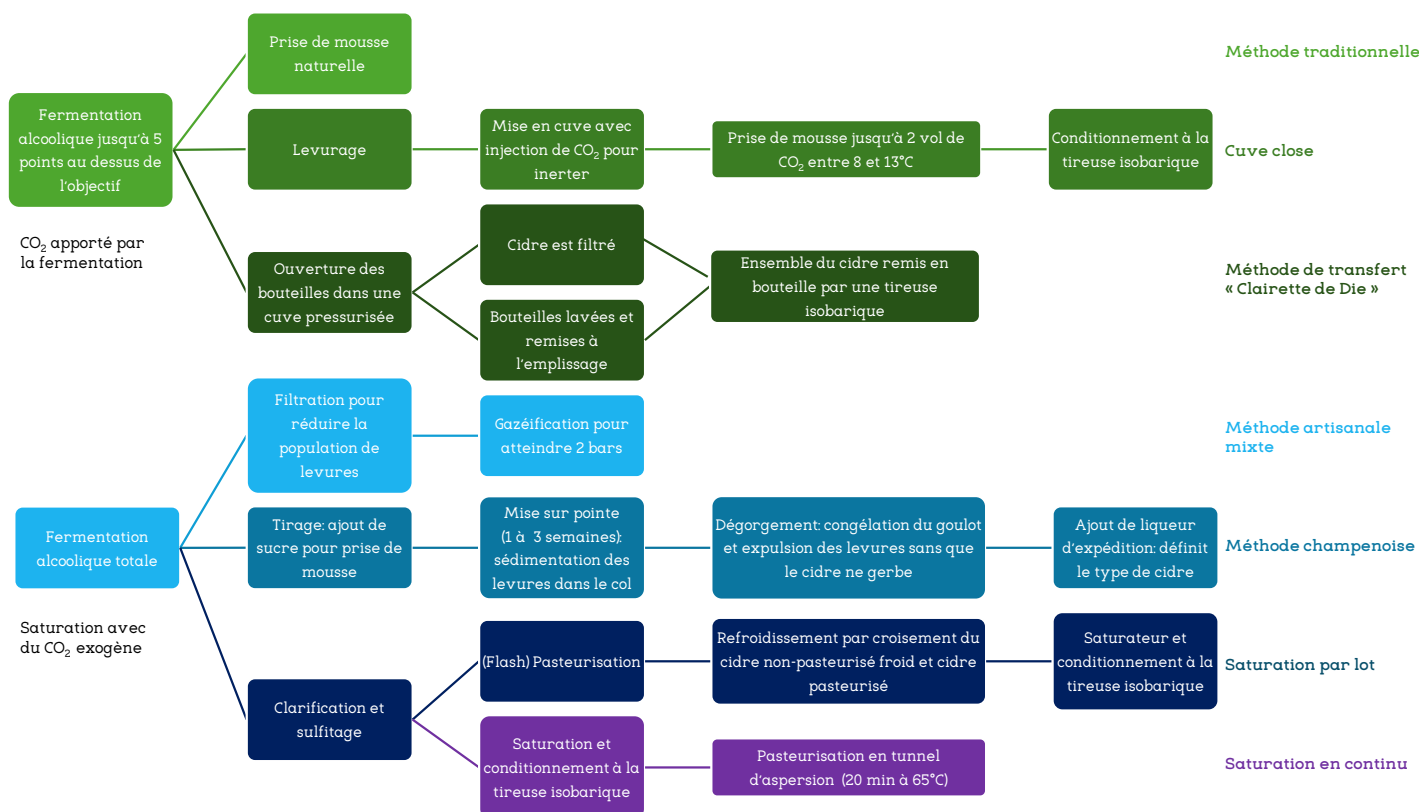


FIGURE 14.
Méthodes alternatives de prise de mousse

La méthode de prise de mousse employée dépend du volume : les productions artisanales préfèrent la méthode traditionnelle, la méthode de saturation mixte « artisanale » ou la cuve close s'ils viennent à travailler à plus grande échelle. Les industriels favorisent la saturation par lot et s'il y a du débit, la saturation dynamique en continu. Cette section reprend les méthodes alternatives à la prise de mousse naturelle les plus propices d'être utilisées par les producteurs belges, à savoir la méthode en cuve close, la méthode artisanale mixte et la méthode champenoise.

LA MÉTHODE EN CUVE CLOSE OU CHARMAT :

Elle est identique au process de fabrication de cidre décrit ci-dessus, à la différence que la prise de mousse ne se fait pas en bouteille mais en cuve pressurisée hermétique. Le cidre y est introduit, l'air excédentaire est chassé par une injection partielle de CO₂. Au préalable, le cidre peut éventuellement être levuré et chaptalisé. L'objectif est d'approcher les conditions de la prise de mousse naturelle, mais en obtenant un produit plus homogène vu que toute la prise de mousse se déroule en une fois. On laisse le cidre monter en pression jusqu'à 2 volumes de CO₂ (4 g/l dissout), en maintenant la cuve entre 8 et 13°C. Il est ensuite conditionné à la tireuse isobarique, après filtration, ce qui permet de ne pas perdre la pression acquise lors du transfert en bouteille. Cette méthode fonctionne bien avec une tireuse à 4 têtes.



FIGURE 15.
Tireuse isobarique à 4 têtes
The Philler (©Microbrasseur)



FIGURE 16.
Cuve pressurisée et refroidie (©Speidel)

LA MÉTHODE DE SATURATION MIXTE « ARTISANALE » :

Elle consiste en la fermentation alcoolique totale, en une filtration pour éliminer la majorité des levures et en une gazéification par saturation pour atteindre 2 à 3 volumes de CO₂ à 10°C, pour un cidre pétillant. Pour savoir quelle pression mettre avec la bouteille de gaz carbonique, on peut utiliser la constante de Henry kH du CO₂ à 10°C (voir Figure 2). A 10°C, kH vaut 1.21 vol/bar. La pression à ajouter au cidre est donc pour 3 volumes de 2,5 bar à 10°C en pression absolue. Notons que les manomètres affichent généralement la pression effective car ils indiquent 0 bar à pression atmosphérique. Il faut donc rajouter dans ce cas 1.5 bar effectif en CO₂ dans le cidre, à vérifier au manomètre de la bouteille. Tout peut se réaliser avec :

- Une bouteille de CO₂
- Un kit de détendeur comprenant un tuyau d'arrivée de CO₂ et tuyau de boisson, des raccords et anti-retour sur le fût, compatible avec la tête de fût
- Un fût type Soda-Keg contenant le cidre à pressuriser
- Un robinet de distribution

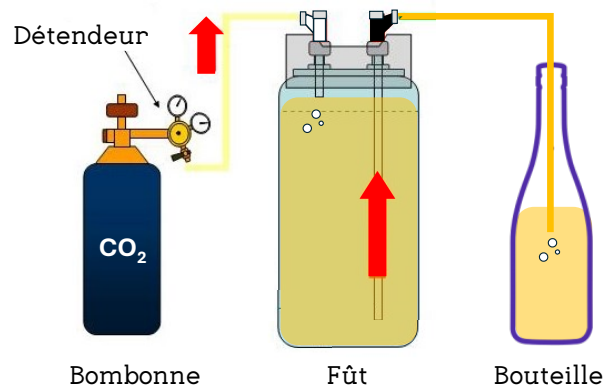


FIGURE 17. Installation pour embouteiller à partir d'un fût pressurisé.

LA MÉTHODE CHAMPENOISE :

Après une fermentation alcoolique totale, une liqueur de tirage (une solution sucrée) est ajoutée au cidre pour permettre une prise de mousse en bouteille et les bouteilles sont capsulées. Cette prise de mousse dure parfois jusqu'à 6 mois. Ensuite, les bouteilles sont placées sur la pointe dans un pupitre ou retournées par une gyropalette. Pendant trois semaines, les levures séudent dans le goulot des bouteilles retournées.

L'étape suivante est le dégorgement : les cols des bouteilles sont plongés dans une saumure d'eau glycolée très froide, ce qui permet de congeler les levures. Les levures congelées sont expulsées, le volume libéré est complété par une liqueur d'expédition (une autre solution sucrée) et la bouteille est immédiatement bouchée. La teneur en sucre de la liqueur d'expédition définit la quantité de sucre qui va refermenter en bouteille et donc le type de cidre obtenu au final (sec, demi-sec, doux).

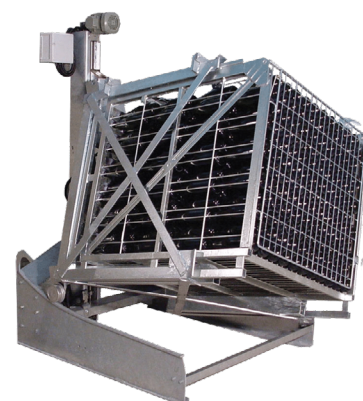


FIGURE 18. A gauche, pupitre - A droite, gyropalette.

FIGURE 19. Dégorgement d'une bouteille à l'aide d'une clé de dégorgement (©Choinière)



6. EMBOUTEILLAGE

Les bouteilles doivent être propres et peuvent être désinfectées par trempage une nuit dans une solution de SO₂ à 500 mg/L, puis rincées. Pour limiter la désaturation du cidre, privilégier des bouteilles égouttées plutôt que sèches. Le remplissage doit se faire doucement, en versant le cidre au fond de la bouteille via la tireuse, afin de préserver le CO₂ et limiter le contact avec l'oxygène. Laisser 2-3 cm d'espace de tête pour anticiper une éventuelle dilatation due aux variations de température.

Le bouchage peut se faire avec différents types de bouchons (*Guide Pratique de la Fabrication du Cidre* - Rémi Bauduin - Librairie Mollat Bordeaux, s. d.) :

BOUCHONS	POINTS NÉGATIFS	POINTS POSITIFS
MÉCANIQUES EN PORCELAINE	Changer les joints tous les ans Bouteille ad hoc nécessaire	Esthétisme Refermable
PLASTIQUE	Faible tenue à la pression	Coût
LIÈGE AGGLOMÉRÉ	Coût (bonne qualité), fuites	Esthétisme
CAPSULE MÉTALLIQUE	Esthétisme	Facilité, étanchéité, coût

PHASE DE FERMENTATION	FÉQUENCE DES PRISES DE DENSITÉ	VITESSE VISÉE À 10°C	YAN (MG/L)	EFFET SUR LA FERMENTATION	RECOMMANDATIONS DE SOUTIRAGE
MOÛT INITIAL ET SOUTIRAGE DE CLARIFICATION	Sur le moût		80 à 120	Fermentation lente/moyenne	Pas de 1er soutirage sauf si un chapeau brun est remonté et qu'il est rétracté
	En milieu et fin de clarification si elle a lieu	Perte de max. 2 points de densité par rapport à l'initial	120 à 150	Fermentation rapide	Prévoir 1 soutirage d'office
			300	Fermentation très rapide	Prévoir plusieurs soutirages
ENTRE CLARIFICATION ET 1ER SOUTIRAGE DE STABILISATION	Tous les 2 jours	3 points/semaine			1 soutirage si la vitesse est dépassée
					Effectuer un 2e soutirage si la vitesse dépasse 7 points/semaine
			Diminution du YAN	Ralentissement de l'activité fermentaire	Remarque: Soutirer lorsque la perte de densité est de 10 à 12 points par rapport au moût initial car : Si < 10 points : efficacité du soutirage limitée Si < 15 points : blocage temporaire de la fermentation
STABILISATION SUPPLÉMENTAIRE	1 fois par semaine	Jusqu'à 1020 : 2 points/semaine En dessous de 1020 : 1 point/semaine			1 soutirage si la vitesse est dépassée Remarque: Toujours attendre une perte de 10 à 12 points depuis le soutirage précédent (sauf si l'objectif est de réaliser la stabilisation finale pour embouteillage)
JUSTE AVANT EMBOUTEILLAGE	Tous les 15 jours lorsque la vitesse est inférieure à 0,5 points par semaine	1 point/3 semaines	30 à 50	Prise de mousse lente, incomplète	Pas de soutirage: Compléter avec apports azotés (DAP, extraits de levures) si besoin
		Critères d'embouteillage : - 4 à 5 points de densité au-dessus de l'objectif	60	Bonne prise de mousse	Non
		- 500.000 à 1.500.000 CFU/ml en levures - Ou 95% de clarté	70	Risque d'excès d'activité fermentaire	Prévoir un soutirage

4. Maladie des cidres

Les maladies des cidres sont des défauts apportés par des bactéries. Le risque d'apparition des maladies dépend de la phase de fermentation. Cette section aborde différentes maladies et les moyens de maîtrise éventuelles.

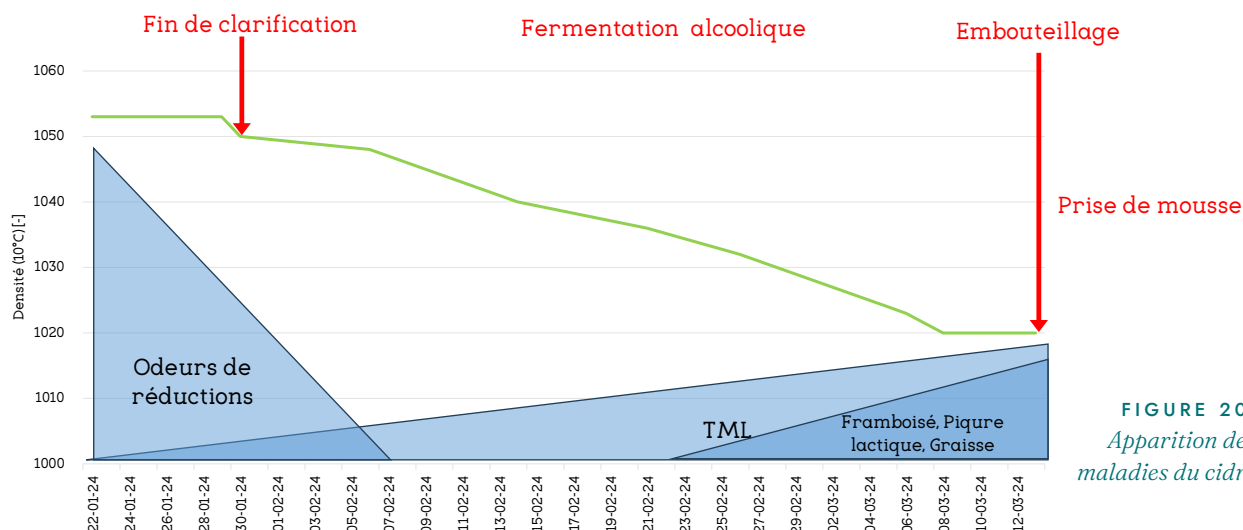


FIGURE 20.
Apparition des
maladies du cidre

1. MAITRISE DES BACTÉRIES RESPONSABLES DE DÉFAUTS

Il existe trois moyens d'actions : la pasteurisation, la filtration et le sulfitage.

LA PASTEURISATION :

Pour mieux appréhender cette technique, nous vous renvoyons à la fiche spécifique : « Conserves de fruits et légumes : Pasteurisation et Stérilisation ». Cette fiche renseigne le lien entre l'acidité du produit, mesurable par le pH et la valeur pasteurisatrice (VP). Le cidre a un pH inférieur à 4.5 : il peut donc dans tous les cas être pasteurisé. Cependant, vu qu'il contient de nombreuses molécules aromatiques volatiles et qu'il est partiellement sucré, un traitement thermique réduit doit lui être appliqué afin d'éviter un éventement et un goût de cuit. Hors, la VP pour les pH inférieurs à 4.5 est de l'ordre de 5 min à 95°C, ce qui est excessif pour garder les qualités du cidre. Cependant, contrairement au jus, le cidre contient de l'alcool, qui a un effet conservateur sur les microorganismes et permet donc de réduire la VP.

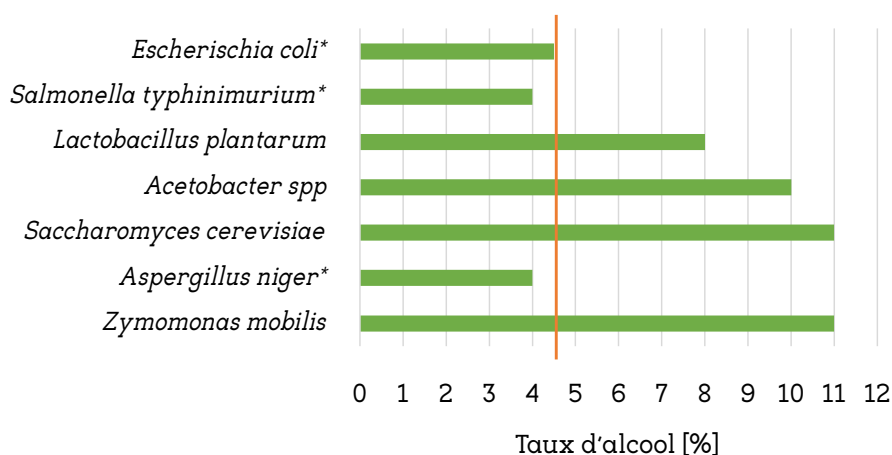


FIGURE 21.
Plage de développement des
microorganismes, à un pH
inférieur à 4.5: les * indiquent les
microorganismes pathogènes.

Par la figure ci-dessus, on apprend qu'en dessous d'un pH de 4.5, les microorganismes pathogènes ne se développent pas au-delà de 4.5% d'alcool. Les deux risques résiduels sont donc une potentielle fermentation, soit lactique par des *Leuconostoc* et des *Lactobacillus*, soit acétique par des *Acetobacter* soit alcoolique par les levures *Saccharomyces*, et l'apparition de « framboisé », maladie des cidres causée par *Zymomonas mobilis* et abordée plus tard dans cette fiche.

À un pH inférieur à 4.5 et avec un taux d'alcool de 4.5%, il reste donc uniquement la flore végétative d'altération. Pour la détruire, on peut prendre la même VP qu'à un pH inférieur à 5.7 sans alcool : 5 min à 70°C, soit un remplissage à 80°C en équivalence.

LA FILTRATION :

La filtration est davantage abordée dans la fiche « Jus de pomme, poire, petits fruits et tomates ». Pour éliminer toutes les bactéries responsables de défauts, il faut une filtration à plaque très fine idéalement inférieure à 0.1 µ. Le souci est qu'un filtre si fin colmate rapidement. Il faudra donc filtrer 2 à 3 fois successivement avec des maillages de filtre décroissants, d'abord à 5 puis 1 puis 0.1 µ par exemple.

LE SULFITAGE :

Le sulfite (SO₂) est à la fois antiseptique et antioxydant mais il est également un allergène, dont la teneur est donc légiférée. En moyenne, la fermentation alcoolique libère 14-15 mg/l de sulfite en parallèle de l'alcool et du CO₂, mais certaines souches de levures produisent jusqu'à 30 mg/l de SO₂. Il est donc recommandé de contrôler le moût au début de la fermentation pour ajuster le sulfitage si nécessaire, puis en fin de fermentation, avant l'embouteillage, afin de vérifier que le cidre respecte les seuils légaux, même en l'absence de sulfitage. En effet, la législation européenne impose la mention « Contient des sulfites » dès 10 mg/l. Des seuils maximums sont également définis par type de produit.

Lorsqu'un produit est sulfité, le soufre peut y rester libre ou se combiner à d'autres molécules. La forme libre est donc le principe actif préservant le produit des microorganismes et de l'oxydation. Au cours de la fermentation, la forme libre se combine progressivement, si bien qu'à la fin, il n'y en a plus. C'est pour cela que c'est la teneur totale en SO₂ (libre et combinée) qui est légiférée, à maximum 200 mg/l (*Regulation - 1333/2008 - EN - Additives - EUR-Lex*, s. d.).

Cependant, lorsque la concentration en SO₂ libre est trop faible, une partie du SO₂ peut redevenir libre. Dans cet état, le SO₂ libre prend deux formes, dont l'un est le SO₂ moléculaire et soluble qui est réellement antiseptique. Sa solubilité dépend notamment du pH et de la température et c'est la raison pour laquelle il faut adapter le dosage du SO₂ par rapport à ces deux paramètres. En effet, au plus le pH est acide, au plus le SO₂ est efficace et au moins, il faudra sulfitier. La concentration en SO₂ moléculaire requise est de 0.5 à 1 ppm. Le tableau ci-dessous décrit la quantité de SO₂ libre pour atteindre 1 ppm de SO₂.

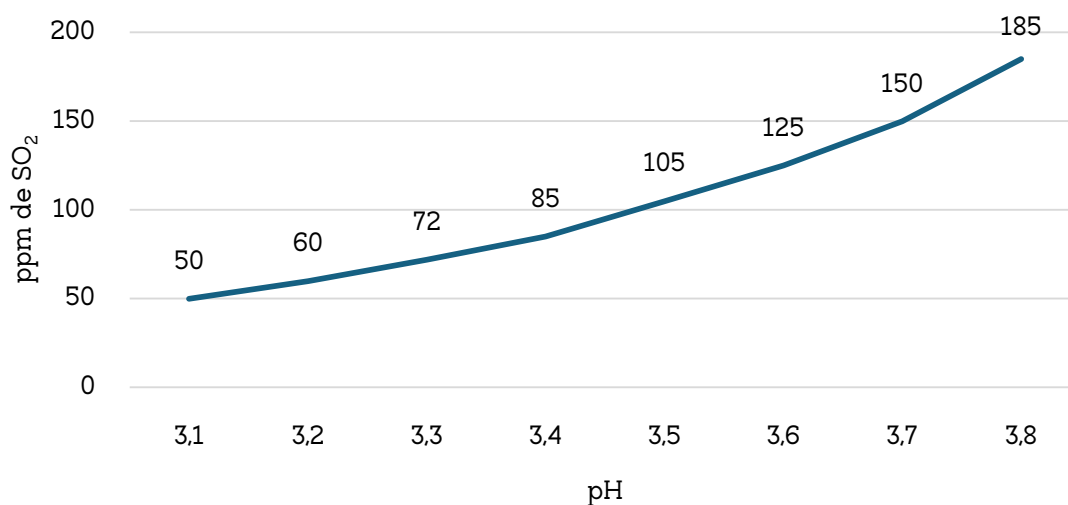


FIGURE 22.
Dosage de sulfite (total) à apporter
pour obtenir 1 ppm de SO₂ libre à
différents pH (Lea, 2016).

Le sulfitage du moût initial permet de le rendre stérile, pour le levurer un ou deux jours après. Le moût de poire capte davantage le SO_2 libre donc la dose recommandée est d'augmenter de 30 à 50 ppm la dose que l'on mettrait pour un moût de pomme au même pH. Pour un pH inférieur à 3, le moût est suffisamment protégé et il ne faut pas sulfiter. Pour un pH supérieur à 3,8, la dose recommandée dépasse les limites légales : on conseille donc d'abaisser le pH par assemblage ou par ajout d'acide malique.

Le sulfitage du cidre se fait en fin de fermentation, avant la mise en bouteille. En effet, il est inutile de sulfiter un cidre en cours de fermentation, car le SO_2 va rapidement se combiner aux produits de fermentation et n'aura donc aucun effet protecteur, tout en augmentant le SO_2 total. Cela permet de limiter l'impact des bactéries lactiques (voir point suivant sur la transformation malolactique) et l'oxydation de l'air qui pourrait être présent lors de l'embouteillage. La dose recommandée est plus faible que pour le moût initial, de l'ordre de 10 à 15 ppm en SO_2 libre. Il faut prendre en compte le SO_2 déjà présent car s'il est surdosé, il peut se goûter dans le produit fini, ce qui est considéré comme un défaut gustatif grave. Pour protéger le cidre de l'apparition des maladies de bouteille (pique, graisse), il est conseillé d'incorporer 50 mg/l de SO_2 en cuve avant la mise en bouteille, pour que la répartition soit homogène.

Le sulfitage peut être réalisé **au moyen de trois produits** :

- Les mèches soufrées : il s'agit de soufre en mèche que l'on fait brûler, ce qui amène de l'oxygène et le transforme en SO_2 . Sa dose est difficilement maîtrisable et il est donc exclusivement utilisé pour sulfiter un fût vide que l'on désire stériliser.
- La poudre de métabisulfite de potassium : poudre soluble dans l'eau qui contient 50% de SO_2 en masse. Il faut donc prévoir deux fois plus de poudre que le dosage de SO_2 visé et suivre les recommandations du fournisseur.
- La solution sulfureuse liquide : les solutions de SO_2 titrent à 6-8-10-18%. Il faut adapter le dosage en fonction de la concentration.

2. TRANSFORMATION MALOLACTIQUE

La transformation malolactique

(TML) est une réaction opérée par les bactéries lactiques naturellement présentes dans le cidre. Elles convertissent l'acide malique, molécule avec deux fonctions acides, en acide lactique, avec une seule fonction acide et en CO_2 . **Cette réaction réduit l'acidité totale jusqu'à 40 % et entraîne une augmentation du pH.**

À l'inverse, la fermentation alcoolique acidifie légèrement le milieu. En effet, les levures transforment les sucres en acides organiques et assimilent des matières azotées, notamment l'ammonium, chargé positivement. Pour maintenir l'équilibre de leur milieu interne, elles rejettent des protons, ce qui contribue à l'acidification du cidre. Ensuite, la production d'éthanol a pour effet de dissocier les acides organiques et ainsi de faire remonter le pH à l'initial (Akin et al., 2007). La fermentation alcoolique ne permet donc pas de compenser la baisse d'acidification causée par une TML éventuelle.

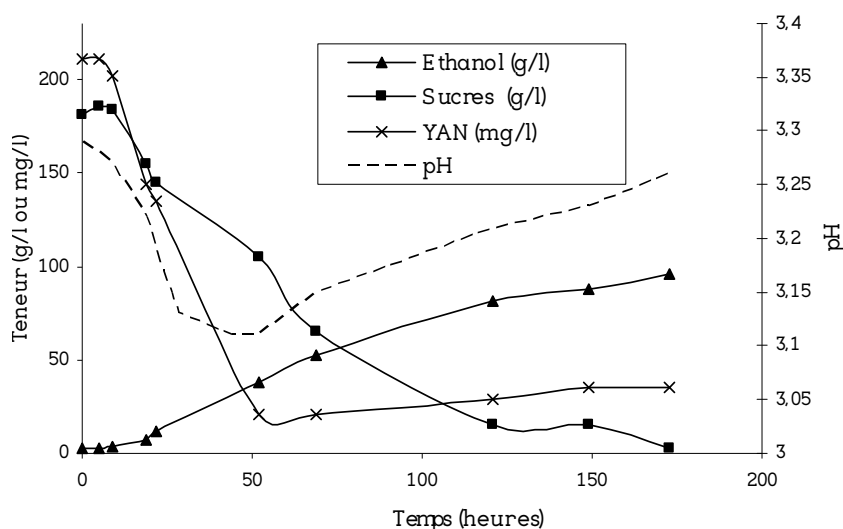


FIGURE 23.

Evolution des paramètres de fermentation alcoolique à 20°C.

La TML peut subvenir dès le pressurage du moût ou plus lentement à la mise en bouteille. Elle n'est pas considérée comme une maladie mais modifie la composition et la perception du cidre. Les bactéries lactiques sont apportées par des fruits en surmaturité ou pourris, ayant séjourné longtemps au sol. Ces bactéries, outre la TML, peuvent provoquer des maladies comme la piqure lactique ou la graisse. Comme elles sont très petites, elles sont difficilement filtrables.

Les **moyens de maîtrise** sont :

- l'acidification avec de l'acide malique ou par assemblage car elles se développent moins bien à bas pH
- le maintien d'une température froide (10°C) pour ralentir leur activité
- le sulfitage pour les éliminer

Les **effets de la TML** sur le cidre sont nombreux :

- Remontée du pH : davantage de risque de maladies bactériennes (framboisé, piqure lactique, graisse), notamment pour les cidres non pasteurisés
- Changement lors de la dégustation : davantage de rondeur (augmentation de la perception sucrée due à la baisse d'acidité)
- Création de produits secondaires :
 - Diacétyle : notes de beurre, rance
 - Acide acétique : augmentation de l'acidité volatile (+ 0.2 g/l)
- Baisse de fermentescibilité : consommation des nutriments par les bactéries lactiques, qui ne sont par conséquent plus disponibles par les levures

Dans nos régions, on préfère donc généralement retarder la TML. Cependant, certains cidriers la recherchent pour des raisons gustatives, bien que cela augmente le risque de développement de maladies post-embouteillage.

Le suivi de la TML consiste à savoir à quel point l'acide malique du moût a été transformé en acide lactique. Cet avancement peut être vérifié par un protocole simple de chromatographie sur papier. Le protocole est disponible sur le site de l'Institut Français de la Vigne et du Vin. Le suivi doit idéalement être réalisé depuis le pressurage, jusqu'à la mise en bouteille, tous les 15 jours.

Le test de chromatographie, en simplifié, est le suivant : on place sur un papier une goutte d'acide lactique, une goutte d'acide lactique et une goutte de cidre, sur une même ligne. On suspend à la verticale le papier dans une cuve contenant un liquide appelé « éluant », qui entraîne sélectivement l'acide malique et l'acide lactique. Cet éluant va monter progressivement par capillarité dans le papier jusqu'à arriver au niveau des gouttes et les faire monter dans le papier. Vu que l'acide malique est plus gros que l'acide lactique, il va migrer moins haut. Le cidre va migrer jusqu'à un certain niveau, qui va dépendre de sa quantité en acide lactique. Ci-dessous, voici trois cidres pour lequel l'avancement de la TML a été évalué :

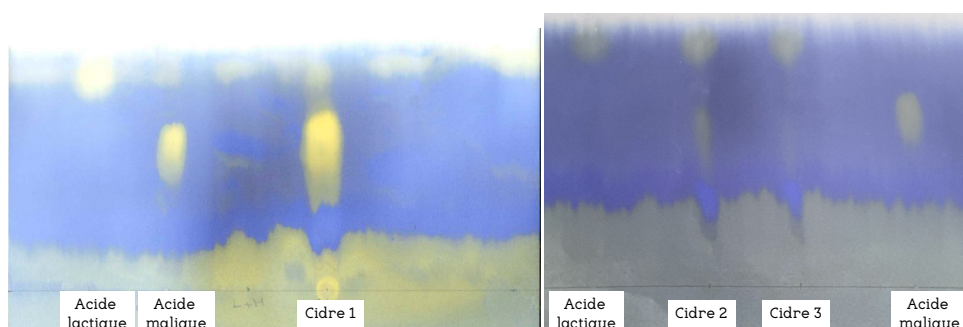


FIGURE 24.
Chromatographie sur papier pour le suivi de l'avancement de la TML.

Voici ce que l'on en déduit :

1. Cidre 1 : la TML n'est pas encore passée car le cidre reste au niveau de l'acide malique
2. Cidre 2 : la TML est avancée au 2/3 car il y a une tache importante au niveau de l'acide lactique et celle de l'acide malique est réduite
3. Cidre 3 : la TML est finie

On considère en général que si la TML est avancée au-delà de 2/3, il ne faut pas embouteiller car le cidre risque de développer des maladies. Il faut alors soit le sulfiter, soit le pasteuriser.

3. MALADIES LIÉES À LA TRANSFORMATION MALOLACTIQUE

MALADIES DES BACTÉRIES LACTIQUES

En cas de **piqure lactique**, les bactéries lactiques convertissent le sucre en acide lactique, acide acétique et autres molécules.

Symptômes : perte de fruité, évolution vers un cidre dur, « vieux cidre »

Contrôle : augmentation de l'acidité totale, augmentation de l'acidité volatile

En cas de **maladie de la graisse**, les bactéries, en se multipliant, forment des réseaux de polymères de sucre dans le cidre.

Symptômes : cidre huileux, effervescence faible, dépôts de filaments

Contrôle : pas de témoin analytique, observation visuelle au service et dégustation

Il n'existe pas de traitement curatif mais il est important d'assurer que les maladies ne se transmettent pas à d'autres cuves.



FIGURE 25.

Maladie de la graisse (Les maladies liées aux bactéries lactiques planent sur les vins 2022 | Réussir Vigne, 2025)

! **L'autre piqure qui peut subvenir dans les cidres est la piqure acétique, qui consiste en la formation d'acide acétique en présence d'oxygène par les bactéries acétiques.**

• **Symptômes:** apparition d'un voile jaune épais et gluant à la surface du liquide, odeur de vinaigre, forte acidification du produit

Contrôle : suivi de l'acidité volatile (acétimétrie)

Les moyens de maîtrise sont d'avoir une bonne hygiène des fruits et du matériel, et de limiter les aérations. Si l'acétification est trop avancée, la seule valorisation du cidre est de le convertir en vinaigre.

Pour produire votre vinaigre, nous vous renvoyons vers la fiche « Vinaigre, Pickles et Moutarde ».

FRAMBOISÉ

Cette maladie apparaît suite à la TML : au-dessus d'un pH de 3,8, la bactérie *Zymomonas mobilis* peut se développer et convertir le sucre en éthanal et CO₂, puis l'éthanal réagit avec les tannins en composés laiteux.

Symptômes :

- produit moins sucré
- acquisition rapide d'effervescence en bouteille
- pression importante (5 à 7 bars), mousse importante et persistante au service
- produit trouble lié aux composés laiteux
- arôme caractéristique de type herbacé

Contrôle : mesure de la densité, mesure de la pression, mesure de la teneur en éthanal

Le framboisé est souvent difficile à maîtriser et la maladie arrive en bouteille. Pour l'anticiper, il existe **le test prédictif du framboisé (PAF)**. Si le pH est inférieur à 3.8 et que la TML est peu avancée : le test PAF n'est pas nécessaire car il y a peu de risque. Si le pH est supérieur à 3.8 et que la TML est avancée, le test PAF est nécessaire. Le déroulement du test est le suivant :

- Filtrer le cidre à 0.1 μ pour enlever toutes les bactéries
- Embouteiller et incubé 15 et/ou 30 jours à 25°C
- Déguster pour détecter les notes herbacées caractéristiques du framboisé et mesurer la pression

Le tableau suivant présente le risque de framboisé en fonction de l'issue du test PAF :

TEMPS D'INCUBATION	PAF POSITIF	PAF NÉGATIF
15 JOURS	100%	6 à 21%
30 JOURS	84 et 100%	1 à 12%

L'intérêt de laisser l'incubation à 30 jours est d'augmenter la sensibilité du test.

Les moyens de maîtrise sont d'avoir une bonne hygiène des fruits, du matériel, de suivre la TML et de stocker à basse température.

Si le framboisé est détecté sur un lot de bouteille, il convient de laisser debout 2 ou 3 ans car les levures vont consommer petit à petit l'éthanal résiduel.

LA SOURIS

L'action de certaines bactéries lactiques type *lactobacillus* peuvent lors de la TML produire des composés rappelant l'odeur d'une cage à souris surpeuplée. Une fois présente, c'est quasiment impossible de s'en débarrasser mais elle est facilement évitable si on sulfite le moût initial pour éliminer la population de bactéries lactiques.

4. MALADIES LEVURIENNES

Les levures sont beaucoup plus résistantes que les bactéries au soufre. Elles sont cependant beaucoup plus grandes et donc plus faciles à filtrer. Comme précisé plus tôt, il existe des levures utiles à la production de cidre comme les levures apiculées ou les *Saccharomyces uvarum* ou *cerevisiae* mais également des levures d'altération. Cette section aborde les différentes levures d'altération, leurs effets sur le cidre ainsi que leurs moyens de maîtrise.

ODEURS DE RÉDUCTION

Ces odeurs apparaissent en début de fermentation sur deux semaines, si la fermentation va trop vite, la levure consomme très vite l'oxygène. En absence d'oxygène, le soufre du moût, soit libéré par la fermentation alcoolique, soit présent à cause d'un sulfitage, est réduit en H₂S à l'odeur soufrée.

Symptômes : Formations de composés soufrés = odeurs de réduction: œuf pourri, croupi, vomi

Contrôle : odorat, gustatif, aérer autant que possible en ne mettant pas le chapeau flottant en contact au début de la fermentation

Le moyen de maîtrise est de soutirer rapidement en explosant le jet, afin d'aérer et d'oxygéner au maximum le moût pour éliminer les composés soufrés. Si on attend de trop, les composés soufrés se fixent à des mercaptans qui deviennent alors très difficiles à éliminer.

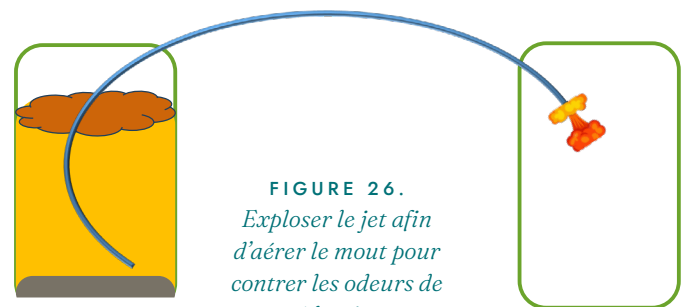


FIGURE 26.
Exploser le jet afin
d'aérer le moût pour
contrer les odeurs de
réduction.

Si on arrive à ce stade, l'acétification permet d'éliminer une partie des mercaptans et donc il est possible de réutiliser le cidre avarié en vinaigre. Il est aussi possible d'éliminer les mercaptans par distillation car ils sont peu volatiles.

LA « BRETT »

La « Brett » est une dégradation des tannins par *Brettanomyces spp.* ou *Saccharomyces POF+*. Elle concerne les variétés amères: il y a donc peu de risque pour nos variétés belges. Notons qu'en Belgique, on produit de la bière avec de la Brett mais comme celle-ci ne contient pas de tannins, il n'y a pas d'odeur animale.

Symptômes : odeurs animales (phénolées), d'écurie

Contrôle : odorat, gustatif

La Brett est le défaut le plus difficile à gérer en cuve. En effet, elle est éliminable par un nettoyage à l'ammonium quaternaire ou à la vapeur mais peut revenir car elle s'insère facilement partout.

Pour traiter le cidre directement, des moyens de maîtrise existent :

- Filtration serrée puis relancer la fermentation avec des LSA ou un pied de cuve
- Utilisation de charbon actif, qui absorbe aussi bien les bonnes que les mauvaises odeurs
- Utilisation de chitosan, une poudre absorbante puis soutirage
- Flash pasteurisation

L'odeur de « Brett » peut être confondue avec l'odeur de souris. En général, des cidres fortement infectés peuvent contenir les deux.

MALADIE DE LA FLEUR (ANGLAIS : FILM YEAST)

Les levures aérobies des genres *Candida*, *Pichia* ou *Hansenula*, peuvent contaminer un cidre lors d'une fermentation lente et non protégée de l'air. Elles sont plus fréquentes dans les cidres que dans les vins car elles préfèrent les faibles taux d'alcool (< 11% d'alcool).

Symptômes : odeurs d'esters rappelant le vinaigre ou le dissolvant pour vernis à ongles, apparition d'un film gris clair, gras et poudreux

Contrôle : visuel, odorat

Les moyens de maîtrise sont :

- le sulfitage de 50 à 100 ppm de SO₂
- garder le récipient plein pour éviter la présence d'oxygène, avec le chapeau à contact

Une intervention rapide permet généralement de sauver le cidre avant une infection avancée.

Notons que la maladie de la fleur peut également apparaître dans les vinaigres : les moyens de maîtrise sont abordés dans la fiche « Vinaigre, Pickles et Moutarde ».



FIGURE 27.
Maladie de la fleur (Lea, 2016).

5. Contrôle et analyse

ETAPE	PARAMÈTRE/CONTRÔLE	OBJECTIF
I. FRUITS	Test du lugol (Test à l'iode)	Estimer la maturité de la pomme (régression de l'amidon en sucres)
	Indice réfractométrique (Brix)	Déterminer la richesse en sucres
	Dureté du fruit (Pénétrromètre)	Évaluer la maturité à l'aide d'un pénétromètre,
	Contrôle visuel	Évaluer la qualité sanitaire des fruits (adapter le lavage et tri)
II. MOÛT	Température	Surveiller la durée/faisabilité de la défécation, départ en fermentation, développement bactérien
	Densité	Estimer la richesse en sucres et orienter l'élaboration
	Test à l'alcool	Évaluer les pectines (défécation/débouillage) et le pouvoir colmatant
	Acidité totale	Caractériser le jus (organoleptique) et évaluer les risques bactériens
	pH	Mesurer l'acidité et évaluer les risques bactériens (complément de l'acidité totale)
	Dégustation	Caractériser l'équilibre et la richesse, identifier d'éventuels défauts (moisi, champignon, etc.)
III. PENDANT LA CLARIFICATION PRÉ-FERMENTAIRE	Test au calcium	Estimer la dégradation des pectines pour le moment d'ajout du calcium
	Contrôle visuel	Observer la gélification des pectines et la montée/rétraction du chapeau
	Niveau de trouble du jus	Confirmer la gélification et la montée du chapeau
	Densité	Vérifier la montée du chapeau (baisse de densité), détecter un départ en fermentation
IV. APRÈS LA CLARIFICATION PRÉ-FERMENTAIRE	Test à l'alcool	Confirmer la montée complète du chapeau (résultat négatif)
	Densité	Déterminer le point de départ de la fermentation
	Teneur en azote	Adapter l'élaboration pour la carence azotée à l'embouteillage
	TML	Déceler un éventuel développement bactérien
	Température	Appréhender la vitesse de fermentation alcoolique et les risques bactériens

V. EN COURS DE FERMENTATION	Densité	Suivre l'évolution de la fermentation alcoolique
	TML	Évaluer les risques bactériens et suivre leur évolution
	Température	Contrôler la vitesse de fermentation et les risques liés aux bactéries
VI. 6-7 POINTS AU-DESSUS DE LA DENSITÉ D'EMBOUEILLAGE	Azote	Contrôler la carence azotée et adapter clarification/ fermentation
VII. ASSEMBLAGE	Densité, acidité totale	Caractériser le cidre (organoleptique)
	pH, TML	Déterminer la fragilité du produit
VIII. AVANT EMBOUTEILLAGE	Densité, acidité totale	Caractériser le cidre (organoleptique)
	pH, TML	Déterminer la fragilité du produit
	Comptage des levures	Maîtriser la prise de mousse
IX. PENDANT LA PRISE DE MOUSSE	Pression	Mesurer l'effervescence acquise à l'aide d'un aphromètre
X. AVANT COMMERCIALISATION	Densité, acidité totale	Caractériser le cidre (organoleptique)
	pH, TML	Déterminer la fragilité et gérer le stock
	Patuline	Vérifier la conformité du produit
XI. PENDANT LA COMMERCIALISATION	Pression, TML, acidité volatile	Vérifications ponctuelles selon les besoins

6. Bibliographie

- Akin, H., Brandam, C., Meyer, X.-M., & Strehaiano, P. (2007). Utilisation du PH comme indicateur de la fermentation alcoolique de moûts de raisins blancs. *8th International Symposium of Enology of Bordeaux*, O. <https://hal.science/hal-04106616>
- Beech, F. W. (1972). Cider Making and Cider Research : A Review. *Journal of the Institute of Brewing*, 78(6), 477-491. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.1972.tb03485.x>
- Décret n°53-978 du 30 septembre 1953 relatif à l'orientation de la production cidricole et à la commercialisation des cidres, des poirés et de certaines boissons similaires, 53-978 (1953).
- Guide Pratique de la Fabrication du Cidre—Rémi Bauduin—Librairie Mollat Bordeaux. (s. d.). Consulté 16 janvier 2025, à l'adresse <https://www.mollat.com/livres/1651136/remi-bauduin-guide-pratique-de-la-fabrication-du-cidre>*
- Jolicoeur, C. (2024). *Du pommier au cidre : Manuel de cidrerie pour l'amateur et l'artisan (Illustrated édition)*. Rouergue.
- Labounoux, P. A. du texte, & Touchard, P.-L.-A.-M. A. du texte. (1910). *Le cidre / par P. Labounoux,... Et P. Touchard,...* <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k97981173>
- Lea, A. (2016). *Craft Cider Making* (Third edition). The Crowood Press.
- Les maladies liées aux bactéries lactiques planent sur les vins 2022 / Réussir Vigne. (2025, janvier 29). <https://www.reussir.fr/vigne/les-maladies-liees-aux-bacteries-lactiques-planent-sur-les-vins-2022>*
- Liger-Belair, G. (2024). Carbon Dioxide Solubility in Sugar and Water–Ethanol Solutions for Applications to Sparkling Drinks. *ACS Food Science & Technology*. <https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.4c00854>
- Nogueira, A., Quéré, J. M. L., Gestin, P., Michel, A., Wosiacki, G., & Drilleau, J. F. (2008). Slow Fermentation in French Cider Processing due to Partial Biomass Reduction. *Journal of the Institute of Brewing*, 114(2), 102-110. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2008.tb00313.x>
- Normandie, C. d'agriculture de. (2024, octobre 11). Élaboration des cidres. <https://normandie.chambres-agriculture.fr/toutes-les-publications/publication/actualites/elaboration-des-cidres/>
- Prickly_Cider. (2020, décembre 9). The 3-Phases of Natural Fermentation. *PricklyCider.Com*. <https://pricklycider.com/2020/12/09/the-3-phases-of-natural-fermentation/>
- Registre de documents de la Commission—COM(2023)200. (s. d.). Consulté 10 janvier 2025, à l'adresse [https://ec.europa.eu/transparency/documents-register/detail?ref=COM\(2023\)200&lang=fr](https://ec.europa.eu/transparency/documents-register/detail?ref=COM(2023)200&lang=fr)*
- Regulation—1333/2008—EN - additives—EUR-Lex. (s. d.). Consulté 3 février 2025, à l'adresse <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2008/1333/oj/eng>*
- Renouf, V., & Lonvaud-Funel, A. (2004). Racking are key stages for the microbial stabilization of wines. *OENO One*, 38(4), Article 4. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2004.38.4.914>