



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO

INSTITUT D'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
D'ANTSIRABE -
VAKINANKARATRA

DEPARTEMENT GENIE INDUSTRIEL



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master, titre Ingénieur en

GENIE DES PROCEDES CHIMIQUES ET INDUSTRIELS

*CONTRIBUTION A LA
VALORISATION DU POMME :
Fabrication de Vin de Pomme et
de Bière à la Pomme*



Présenté par :

HARIZAKA Tsíky Zoé Estella

Promotion 2020



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO

**INSTITUT D'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
D'ANTSIRABE -
VAKINANKARATRA**

MENTION GENIE INDUSTRIEL



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master II, titre Ingénieur

Parcours GENIE DES PROCEDES CHIMIQUES ET INDUSTRIELS

***CONTRIBUTION A LA
VALORISATION DE POMME :
Fabrication du Vin de Pomme et de
Bière à la Pomme***

Présenté par : HARIZAKA Tsiky Zoé Estella

Soutenu le 24 Janvier 2022

Membres du jury :

<u>Président :</u>	Monsieur RAKOTONDRAMANANA Samuel, Docteur
<u>Encadreur :</u>	Monsieur RAKOTOSAONA Rijalalaina, Professeur
<u>Encadreur professionnel :</u>	Madame RANDRIAMANGA ANDONIRINA Cathérine Jane Rica, Ingénieur en Génie Chimique
<u>Examineurs :</u>	Monsieur RABIBISOA Daniel, Docteur Madame RATSIMBA Marie Hanitriniaina, Docteur Madame RANAIVOSON Sahondra Olga, Assistant Monsieur RABEHARITSARA Andry Tahina

Promotion 2020

REMERCIEMENT :

Nous rendons grâce à Dieu qui a veillé sur nous tout au long de notre vie, sans lui tous nos efforts seraient vains ; il nous a donné la santé, la force et le courage pour mener à terme ce travail.

Ainsi nous n'aurions pas pu accompli ce travail sans l'aide et le soutien précieux de nombreuses personnes :

Nous tenons à remercier en particulier :

✱ Monsieur **RAJAONARISON Eddie Franck**, Professeur, Directeur de l'Institut d'Enseignement Supérieur d'Antsirabe Vakinankaratra (IES-AV), qui nous a permis d'effectuer nos études au sein de l'établissement.

✱ Monsieur **RAVONISON Elie Rijatiana Hervé**, Docteur, Chef de la mention Génie Industriel de l'Institut d'Enseignement Supérieur d'Antsirabe Vakinankaratra (IES-AV) pour ses précieuses informations pendant notre étude.

✱ Monsieur **RANDRIANA Nambinina Richard Fortuné**, Professeur, Chef de parcours Génie de Procédés Chimiques et Industriels, pour le fait qu'il a pris soin de notre parcours depuis toujours ;

✱ Monsieur **RAKOTONDRAMANANA Samuel**, Docteur, malgré ses occupations, il nous a fait le grand honneur de présider la soutenance de ce mémoire ;

✱ Monsieur **RAKOTOSAONA Rijalalaina**, Professeur, Directeur de l'Ecole Supérieur Polytechnique d'Antananarivo et encadreur pédagogique du présent livre. En dépit de ses multitudes occupations, il nous a soutenue avec beaucoup de patience et simplicité en donnant des directives et conseils inestimables qu'il nous a proposés avec confiance pour mener à bien ce travail.

✱ Madame **RANDRIAMANGA ANDONIRINA Cathérine Jane Rica**, Ingénieur en Génie Chimique, pour son acceptation d'être notre encadreur professionnel et pour sa bienveillante supervision en vue du bon déroulement de nos travaux de mémoire. Elle n'a ménagé ni son temps, ni son expérience pratique pour nous apporter ses précieux conseils afin de mener à terme ce mémoire.

Nous tenons à remercier aussi à nos examinateurs qui contribuent à l'amélioration de ce travail:

✱ Monsieur **RABIBISOA Daniel**, Docteur

- ✱ Madame **RATSIMBA Marie Hanitriniaina**, Docteur
- ✱ Madame **RANAIVOSON Sahondra Olga**, Assistant
- ✱ Monsieur **RABEHARITSARA Andry Tahina**, Docteur

Un vif remerciement :

✱ A tous les enseignants et personnels de l'IES-AV et de l'ESPA qui nous a donné leurs connaissances et leurs savoir-faire pour nous offrir une meilleure formation.

✱ A l'entreprise « AMPALIA Madagascar Authenticity » nous a accueillie avec gratitude au sein de son laboratoire, sans ses aides, la réalisation de ce mémoire n'aurait pas été parachevée.

Je remercie profondément mes parents qui nous ont encouragée et nous ont donné de précieux conseils depuis toujours, et surtout pour leurs aides financières qui nous ont ainsi permis la réalisation de ce mémoire. Je leur dédie ce travail pour leurs sacrifices indénombrables et leurs affections dont ils nous ont témoigné. Nous en sommes reconnaissante à jamais. Merci de nous avoir soutenue et supportée depuis notre naissance jusqu'à l'heure actuelle.

Merci aux membres de notre famille, pour leur soutien inconditionnel durant toutes ces années qui constituent les piliers du temps présent.

Merci à tous nos amis, à tous ceux et celles qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation du présent mémoire.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
PREMIERE PARTIE : ETUDES BIBLIOGRAPHIQUES	2
Chapitre I. GENERALITES SUR LA POMME	3
Chapitre II. ŒNOLOGIE	9
Chapitre III. GENERALITES SUR LA BIERE.....	34
DEUXIEME PARTIE : ETUDE EXPERIMENTALE	48
Chapitre IV. LE VIN DE POMME	49
Chapitre V. LA BIERE A LA POMME.....	62
Chapitre VI. EVALUATION ECONOMIQUE	73
Chapitre VII. APPROCHE ENVIRONNEMENTALE.....	76
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES	79

GLOSSAIRE

Décidu :	En terme botanique, ce qui se détache et tombe quelque temps après son développement, vieil.
Duveteux :	Qui a beaucoup de duvet.
Duvet :	Espèce de coton qui vient sur certains fruits.
Inflorescence :	Ensemble des fleurs groupées autour d'un même axe floral.
Eperons :	Prolongement en forme de tube du calice (concerne parfois un pétale)
Acidulé :	Substance ayant un goût acide.
Plants :	Jeune tige nouvellement à planter
Cidre :	Boisson faite par fermentation alcoolique de jus de pommes pressurées.
Pectine :	Polyoside rattachée aux glucides, polysaccharides acides.
Stipule :	Appendice écailleux situé à la base du pétiole d'une feuille.
Bentonite :	Argile à fort pouvoir adsorbant.
Chaptalisation :	Ajout de sucre au moût pour augmenter la teneur en alcool du vin.
Marc :	Résidu d'un fruit dont on a extrait le jus.
Moût :	Jus de fruit ou de végétaux fermentés pour la préparation des boissons alcooliques.
Vinomètre :	Appareil utilisé pour mesurer la concentration en alcool d'un vin.
pH-mètre :	Appareil utilisé pour mesurer l'acidité
Vinification :	C'est l'art de faire le vin, ou fermentation qui produit le vin
Cépage :	Plant de vigne cultivé, destiné à la production de raisin pour le vin

LISTE DES UNITES

- °Brix** : Degré Brix : unité de mesure du pourcentage de matière sèche soluble dans un liquide
- °C** : Degré Celsius : unité de mesure de la température
- °GL** : Degré Gay-Lussac, degré alcoolique ou pourcentage volumique en éthanol
- Kcal** : Kilocalorie : unité de mesure de l'énergie
- KWh** : Kilowatt heure : unité d'énergie électrique
- mol** : Quantité de matière
- Kg** : Unité de masse, Kilogramme
- g** : Gramme
- mg** : Milligramme
- m** : Unité de mesure, mètre
- cm** : Centimètre
- g/L** : Unité de la concentration massique, gramme par Litre
- mg/L** : Milligramme par Litre
- g/hL** : Gramme par hectolitre
- L** : Unité de volume, Litre
- mL** : Millilitre
- t/ha** : Tonne par hectare

LISTE DES ABREVIATIONS ET ACRONYMES

ADP : Adénosine diphosphate

ATP : Adénosine triphosphate

NAD : Nicotinamide Adénine Dinucléotide

% : Pourcent

%vol : Pourcentage volumique

CO₂ : Dioxyde de carbone

pH : Potentiel d'Hydrogène

H₂O : Eau

MAEP Ministère de l'Agriculture d'Elevage et de la Pêche

LISTE DES TABLEAUX :

Tableau 1: variétés de pomme à Madagascar.....	6
Tableau 2: : composition globale de la pomme pour 100g de poids frais	7
Tableau 3: Les avantages et les inconvénients des différentes pratiques de fermentation	11
Tableau 4: température de fermentation pour les principales classes de vins..	19
Tableau 5: Type de vins et sa teneur en sucre	25
Tableau 6: type de levure [40]	37
Tableau 7: Comparaison des types d'hydrolyses	42
Tableau 8: Les avantages et inconvénients au moment d'ajout de fruits.....	47
Tableau 9: Composition en masse de pomme	51
Tableau 10: Conditions expérimentales de la fabrication de vin de pomme	55
Tableau 11: Evolution du °Brix des différents essais	56
Tableau 12: Evolution des densités des différents essais expérimentaux	57
Tableau 13: Evolution du pH pour chaque essai	58
Tableau 14: Degré alcoolique des vins de Pomme.....	59
Tableau 15: Résultats d'analyse organoleptique	60
Tableau 16: Calcul du rendement de la fabrication du vin de pomme apéritif ..	61
Tableau 17: Les teneurs en sucre (°Brix) prélevées pour chaque essai pendant l'hydrolyse	67
Tableau 18: teneur en sucre des essais expérimentaux.....	68
Tableau 19: densité des essais expérimentaux pendant le brassage	68
Tableau 20: Teneur en sucre de chaque moût avant fermentation	69
Tableau 21: Composition initiale de moût.....	69
Tableau 22: résultats des paramètres prélevés de chaque essai expérimental	70
Tableau 23: La teneur en sucre et les degrés alcooliques et densité contenu dans la bière à la pomme.....	71
Tableau 24: Caractère organoleptiques de l'essai N°02.....	71
Tableau 25: les masses intrants et la masse final du produit	72
Tableau 26: Evaluation des matières premières et intrants	73
Tableau 27: Coût des matériels et équipements nécessaires	73
Tableau 28: Evaluation de l'eau et électricité requises	73
Tableau 29: Evaluation du prix du litre de vin de pomme	74

Tableau 30: Evaluation des matières premières et intrants	74
Tableau 31: Coût des matériels et équipements nécessaires	74
Tableau 32: Evaluation de l'eau et d'électricité requises	74
Tableau 33: Evaluation du prix du litre de bière au pomme.....	75
Tableau 34: Impacts identifiés sur le milieu humain	76
Tableau 35: Impacts identifiés sur le milieu naturel	76
Tableau 36: les mesures d'atténuation des risques et des dangers	77

LISTES DES FIGURES :

Figure 1: Fleurs du pommier	5
Figure 2: coupe longitudinale de pomme arrivé à sa maturité	5
Figure 3: l'hexokinase	14
Figure 4: Phosphohexose isomérase	15
Figure 5: Phosphofructokinase	15
Figure 6: L'aldolase	15
Figure 7: Phosphoglycéromutase (réaction intermédiaire)	16
Figure 8: Phosphoglycéromutase	16
Figure 9: Enolase et Pyruvokinase	16
Figure 10: Processus de la glycolyse	17
Figure 11: Décarboxylation de l'acide pyruvique	17
Figure 12: processus de vinification en blanc	19
Figure 13: Processus de vinification en Rouge.....	20
Figure 14: Processus de fabrication des vins de fruits.....	29
Figure 15: Orge de brasserie	35
Figure 16: Malt d'orge	36
Figure 17: Pellets de houblon	36
Figure 18: bilan en matières premières d'une brasserie	38
Figure 19: Grains d'orge germés	40
Figure 20: différentes bières en fonction du malt.....	40
Figure 21: malt concassé.....	42
Figure 22: drêche d'orge.....	43
Figure 23: Processus de fabrication du vin de pomme	49
Figure 24: lavage des trois variétés de pomme	50
Figure 25: fermentation du moût.....	53
Figure 26: Courbe d'évolution des teneurs en sucre du moût des différents essais	56
Figure 27: Courbes d'évolution des densités des différents essais	58
Figure 28: Courbes d'évolution du pH des différents essais	59
Figure 29: Diagramme de procédé d'extraction de la partie de pomme utilisée.....	63
Figure 30: Pomme découpée en morceaux.....	63
Figure 31: Purée de la pomme	63

Figure 32: diagramme de procédé de fabrication de la bière au pomme.....	64
Figure 33: malt trempé au 1 ^{er} jour.....	65
Figure 34: grains d'orge germés	65
Figure 35: malt concassé.....	66
Figure 36: pH-mètre.....	a
Figure 37: réfractomètre	a
Figure 38: Vinomètre	a
Figure 39: éprouvette gradué (250mL)	a
Figure 40: balance de précision.....	b
Figure 41: Mustimètre	b
Figure 42: balance de précision de 1 à 1000g.....	b

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : matériels utilisés pendant la réalisation de cette étude.....	a
Annexe 2 : Détermination de la teneur en matière sèche soluble.....	c
Annexe 3 : Détermination du degré alcoolique.....	d
Annexe 4 : Clarification du vin par la gélatine feuille.....	e
Annexe 5 : calcul d'amertume de bière.....	f

INTRODUCTION

Compte tenu de leur valeur nutritive, les fruits tiennent une place importante dans l'alimentation de l'homme. La valorisation la plus intéressante pour les producteurs est la commercialisation en frais sur les lieux de production. Mais ce mode de commercialisation ne permet pas d'absorber toute la production. De plus le mauvais état de la route peut entraîner la surproduction. Or la plupart des fruits cultivés à Madagascar sont saisonniers, comme c'est le cas de pomme qui n'apparaît qu'à un moment donné. Pourtant ces fruits se détériorent très rapidement.

Dans tous cas, l'idée se propose d'éviter les pertes dues à la pourriture des fruits et d'accroître évidemment la vie économique en les valorisant. D'où le thème de notre mémoire intitulée : « contribution à la valorisation des pommes pour la fabrication du vin de pomme et de bière à la pomme »

L'ouvrage sera présenté en trois grandes parties :

La première partie présente l'étude bibliographique ou les diverses généralités concernant le fruit, le vin et la bière.

La deuxième partie, comporte le déroulement des essais expérimentaux de fabrication de vin de pomme et de bière à la pomme proprement dite et les interprétations des résultats obtenus ainsi que l'évaluation économique des dépenses et les impacts environnementaux.

PREMIERE PARTIE :
ETUDES
BIBLIOGRAPHIQUES

Chapitre I. GENERALITES SUR LA POMME

I. Historique :

- La pomme est classée parmi l'un des plus vieux fruits du monde. C'était dans des villages lacustres néolithiques de Suisse et d'Italie du Nord qu'on avait retrouvé des vestiges de la pomme. Le premier pommier avait quitté la terre Turque pour le sol égyptien. Les Hébreux l'emportaient en Palestine. [1]
- Pour les chrétiens, la pomme est un fruit du péché qu'Eve a accueilli [2]. La pomme que nous consommons aujourd'hui est une descendante de l'espèce *Malus sieversii*. Il y a 3000 ans, elle était déjà consommée par les Chinois. Elle arriva par la route de la soie chez les Arabes, les Grecs et les Romains. Aujourd'hui, il existerait plus de 20 000 variétés dont 7 000 sont cultivées à travers le monde. [3]
- Le pommier a été introduit à Madagascar entre XVII^{ème} et les XIX^{ème} siècles par les missionnaires norvégiens, qui auraient planté une variété connue aujourd'hui sous le nom de Ménagère dans la région d'Antsirabe. Cette variété a été largement utilisée comme porte-greffe lors des introductions ultérieures d'autres variétés.
- Dans les années 1950, la station d'Antsirabe multiplie les variétés Reinettes, Golden Delicious et Double Red. C'est-à-dire des variétés de pomme à couteau. [4]

II. Taxonomie et nomenclature :

<u>Règne :</u>	Plantae
<u>Sous-Règne :</u>	Tracheobionta
<u>Embranchement :</u>	Magnoliophyta
<u>Sous-embranchement</u>	Angiospermes
<u>Classe :</u>	Magnoliopsida
<u>Sous-classe :</u>	Rosidae
<u>Ordre :</u>	Rosales
<u>Famille :</u>	Rosaceae
<u>Sous-famille :</u>	Maloideae
<u>Genre :</u>	<i>Malus</i> [W1]
<u>Espèce :</u>	<i>Sieversii, communis</i> (golden delicious) [W2]
<u>Nom vernaculaire :</u>	
• <u>A Madagascar :</u>	Paoma
• <u>En Italie</u>	Mela
• <u>Chez les Romains :</u>	Mar
• <u>Nom Latin :</u>	<i>Malus pumila</i> – <i>Pyrus malus</i> [5]
• <u>Portugais :</u>	Maçã
• <u>Anglais :</u>	Apple
• <u>Espagne</u>	Manzana

III. Morphologie :

Le pommier est un arbre décidu, mesurant généralement entre 2 et 4.5 m. de haut en culture, et jusqu'à 9 m. à l'état sauvage. Les feuilles sont alternes, ovales, vertes foncées, à bords dentelés et au-dessous légèrement duveteux. La floraison a lieu au printemps simultanément avec le bourgeonnement des feuilles. Les fleurs sont produites sur des éperons. Ces fleurs de 3 à 4 cm sont composées de cinq (05) pétales blancs avec une teinte rosée qui s'estompe progressivement. Leur inflorescence est constituée d'une cyme de 4 à 6 fleurs. La fleur centrale de l'inflorescence, parfois qualifiée de « floraison royale » s'ouvre en premier et peut développer un fruit plus gros [W2].



Figure 1: Fleurs du pommier

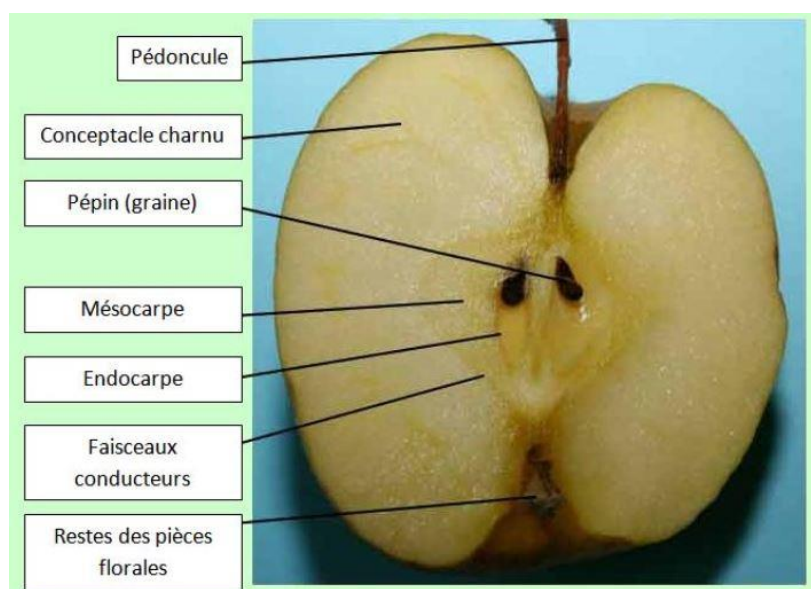


Figure 2: coupe longitudinale de pomme arrivé à sa maturité

Source : exposé pomme, les CE2-CM1 de l'école élémentaire de Dam Villers les 27 28 février 2014

Une pomme de grosseur moyenne pèse de 50 à 60 g mais les fruits très petits peuvent ne pas dépasser 25 g, tandis que les grosses peuvent atteindre jusqu'à 150-180g. La pomme est un fruit charnu dont la forme, la couleur et le poids présentent de notables variations. [1] Sa peau est verte, rouge, bicolore ou tachetée. Sa chair est croquante ou farineuse, douce ou acidulée [W3].

La pomme comprend :

- La peau : 3 à 7% de la masse de fruit
- La pulpe (chair) : 92 à 97%
- Et les pépins : 1% [6]

IV. Production et localisation à Madagascar :

La production de pomme n'est vraiment possible que dans les provinces hautes [7] dans les zones à plus de 1400m d'altitude. Il exige une humidité atmosphérique constante, résiste au froid mais supporte mal les vents desséchants du versant Ouest. Il aime les terres fraîches, meubles et profondes. Il exige de la potasse et de la magnésie et est sensible à la carence en bore.

La 1^{ère} récolte se fait 6 ans après plantation et dure environ 40 ans. Les pommes sont cueilli 15 jours environ avant maturité. Il faut garder le pédoncule et de laisser murir durant le stockage à température fraîche. Le rendement est compris entre 50 à 60 Kg par arbre, soit 10 à 12 T/ha et la température du lieu de conservation doit être comprise entre 0 et 4°C. [5] La saison de pomme ne débute qu'au mois de janvier [8].

La pomme est cultivée plus dans la région Vakinankaratra, 14 communes dans cette région produisent, chaque année, plus de 36 000 tonnes de pommes. Le mauvais état de la route entraîne la difficulté sur le transport [9]

V. Variétés de pomme à Madagascar :

De nombreuses variétés ont été introduites à Madagascar, mais les plus connues sont présentés dans le tableau ci-dessous avec leurs propriétés spécifiques [5]

Tableau 1: variétés de pomme à Madagascar

Variétés	Caractéristiques des fruits	Propriété du pommier
Ménagère	Taille moyenne Couleur jaune Chair farineuse Fragile Parfumée	Arbre très rustique
« Golden délicieux »	Forme allongé Couleur jaune claire Arôme et goût très caractéristiques Pédoncule long	Arbre vigoureux
« Black John »	Couleur Rouge Chaire croquante et juteuse Goût un peu fade	Vigoureux
Double red	Taille grosse Forme plus ou moins ronde Couleur à fond vert flambé de rouge à la moitié du fruit Chair très juteuse Goût et arôme très équilibrés	Arbre moyennement vigoureux
Melrose	Taille assez grosse Couleur rouge Goût moyennement acide	Arbre vigoureux
Reinette	Taille grosse Couleur grise Goût acide	Arbre vigoureux

Source : MAEP

VI. Caractéristique de la pomme :

La pomme contient de l'eau, des glucides (fructose), des acides, des vitamines (vitamine C) ainsi que des substances minérales tels que potassium, calcium, phosphore...

Elle est riche en pectine. Les protéines n'existent qu'en faible quantité.

Tableau 2: : composition globale de la pomme pour 100g de poids frais

COMPOSANTS	VALEUR MOYENNE
Eau (g)	85
Protéines (g)	Trace
Lipides (g)	0.5
Glucides (g)	12.6 – 14
Fibres (g)	2.5
Calcium (mg)	5
Phosphore (mg)	10
Potassium (mg)	120
Sodium (mg)	Trace
Fer (mg)	0.3
Zinc (mg)	0.05
Energie (Kcal)	5.5
Pectine (mg)	109

Dans les pommes très mures, la pulpe renferme des molécules odorants (éthers) qui contribuent à donner au cidre son goût approprié. [10]

VII. Consommation et Utilisations de la pomme :

Il n'y a pas encore de revue ni des recherches scientifiques concernant l'utilisation du pommier entière à part son fruit comestible.

VI.1 Utilisations quotidienne :

Les utilisations possibles de la pomme sont nombreuses. A part la consommation en frais, il y a de nombreux produits finis pour la consommation humaine :

- Transformations des fruits en confitures, gelées et marmelades.

- Les jus de pommes se mélangent bien avec des jus d'ananas et d'agrumes.
- Les pommes douces peuvent être transformées en cidre. [6]

VI.2 Autres utilisations :

- ❖ La pomme est un fruit adapté à l'alimentation des sportifs, elle participe à l'équilibre digestif et constitue de nutriments bénéfiques. [W4]
- ❖ La pomme est utilisée comme un antioxydant pour réduire le risque de maladies cardiovasculaires, car les antioxydants contenus dans la pomme aideraient à diminuer et à prévenir l'oxydation des lipides en circulation dans le sang.
- ❖ Grâce à la présence de la pectine dans la pomme, elle a des effets bénéfiques pour diminuer le cholestérol sanguin.
- ❖ La bouffe des pommes 2 fois par semaine améliore la fonction respiratoire et aurait un effet favorable sur l'incidence d'asthme par l'action des polyphénols et les flavonoïdes.
- ❖ La consommation régulière de pommes pouvait diminuer le risque de souffrir d'un cancer, particulièrement le cancer du poumon. La pomme a un effet préventif contre les cancers du côlon, du sein et du poumon. Les éléments contenus dans la pomme permettent de diminuer la prolifération des cellules cancéreuses.
- ❖ Le jus de pomme et la purée de pomme sont des sources de manganèse. Le manganèse agit comme cofacteur de plusieurs enzymes qui facilitent une douzaine de différents processus métaboliques. Il participe également à la prévention des dommages causés par les radicaux libres. [W5]

Chapitre II. ŒNOLOGIE

L'œnologie vient du grec oinos, « vin ». Il s'agit de l'étude sur l'ensemble des techniques de fabrication et de conservation du vin. L'œnologie est rarement considérée comme une science exacte, car, si elle repose sur la connaissance des techniques viticoles, de la géographie et de la chimie du vin, elle nécessite également l'utilisation de la vue, de l'odorat et du goût, et met en jeu de ce fait, la subjectivité des œnologues [11]

II.1 Généralité sur le vin

II.1.1. Définition :

Le vin est exclusivement la boisson résultant de la fermentation alcoolique complète ou partielle du raisin frais foulé ou non. Son titre alcoométrique acquis doit être supérieur à 8.5% vol.

Au niveau mondial, l'Office international de la vigne et du vin (OIV) a établi quatre ans après sa création en 1924, une résolution qui stipule « nul autre produit que celui qui provient de la fermentation alcoolique du jus de raisin frais ne puisse recevoir l'appellation de vin ». [12]

Mais, au sens large et dans la pratique, le nom de vin peut être donné à tous les jus de fruits dont une partie ou la totalité du sucre est transformée en alcool par fermentation. [13]

Et il est important de préciser la nature du fruit à l'origine du produit comme : le vin de palme, le vin de pêche, le vin de banane, le vin de riz pour le saké au Japon.

II.1.2. Historique :

Le vin est « un fruit de la vigne et du travail des hommes ». Tous commencent avec *Vitis vinifera*, ssp. *Sylvestris*, ou Lambrusque, la vigne sauvage, une liane grimpante qui pousse naturellement de l'Asie du Sud-Ouest à la façade atlantique de l'Europe.

Les premiers témoignages de la fabrication de vin et la domestication de la vigne serait intervenue entre le IV^{ème} et V^{ème} millénaire avant J.C. en Transcaucasie et en Anatolie, puis se serait diffusée du nord au sud du croissant fertile, de la Mésopotamie à la Phénicie, puis à l'Egypte et en Grèce. Les grecs maîtrisent parfaitement l'art de la vinification. [14]

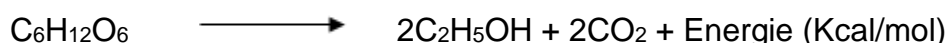
II.2 FERMENTATION ALCOLIQUE :

Avant d'aborder en détail les étapes de la vinification, il s'avère nécessaire de savoir quelques points sur la fermentation alcoolique [W6] qui est une étape clé dans l'élaboration du vin, et les levures sont les actrices principales. La maîtrise de la fermentation est donc essentielle pour assurer la qualité sanitaire, organoleptique et microbiologique du vin fini. [15]

II.2.1 Définitions :

C'est une dégradation faiblement énergétique des matières glucidiques en l'absence d'oxygène libre qui sous l'action des enzymes ou zymases contenus dans les ferments, se transforment en éthanol et en gaz carbonique. Ce processus n'aboutit pas à un gain énergétique aussi élevé que la respiration cellulaire car la dégradation des substrats est beaucoup moins poussée. [16]

Cette transformation se fait à l'aide de levures, *Saccharomyces cerevisiae* ou levures de bière en suivant l'équation établie par GAY-LUSSAC en 1815 [17]



II.2.2 L'aspect mis en œuvre de la fermentation :

II.2.2.1. La fermentation en flore indigène :

La transformation des sucres du moût en éthanol et dioxyde de carbone est assurée par des levures indigènes parfois présentes naturellement sur la cuticule des raisins. Cette fermentation peut être soit non-interventionniste (spontanée) en laissant se développer la flore naturelle, soit être orientée en réalisant des pieds de cuve.

II.2.2.2. La fermentation spontanée :

C'est la fermentation du moût sans inoculation de levains, donc réalisée spontanément par des levures indigènes présentes dans l'environnement de l'exploitation.

II.2.2.3. La fermentation avec des pieds de cuve :

C'est la réalisation en amont de la date de vendange d'un levain servant à ensemer le jour J avec une population massive de levures *Saccharomyces* indigènes afin de garantir les départs en fermentation au moment de l'encuvage.

II.2.2.4. La fermentation avec utilisation de Levures Sèches Actives (LSA) :

Le déclenchement de la fermentation alcoolique est assuré par des levures sélectionnées, additionnées en population importante. Cette addition de levures sélectionnées permet un déclenchement et un déroulement maîtrisé de la fermentation.

[15]

Le tableau suivant nous démontre les avantages et les inconvénients des différentes pratiques de fermentation :

Tableau 3: Les avantages et les inconvénients des différentes pratiques de fermentation

	AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
LSA	<ul style="list-style-type: none"> * Maîtrise quantitative et qualitative * « Souche pure garantie » * Mise en œuvre rapide et simple 	<ul style="list-style-type: none"> * Coûteuse
INDIGENES SPONTANÉES	<ul style="list-style-type: none"> * Pas d'achat * Diversité de souches * Souches issues de son vignoble 	<ul style="list-style-type: none"> * Mise en œuvre complexe * Population microbienne inconnue * Possibilité de levures inutiles ou néfastes * Risque d'arrêt de fermentation * Succès aléatoire
PIED DE CUVÉ	<ul style="list-style-type: none"> * Pas d'achat * Diversité de souches * Souches issues de son vignoble * Démarrage rapide en fermentation 	<ul style="list-style-type: none"> * Mise en œuvre complexe * Population native inconnue * Possibilité de levures inutiles ou néfastes * Succès aléatoire

Source : IFV, 2015

II.2.3 Les agents de la fermentation : les levures

Il existe deux espèces de levure utilisées pour la fermentation alcoolique dans le cas pratique :

- ❖ *Saccharomyces Cerevisiae*
- ❖ *Schizosaccharomyces Pombe*

La levure la plus utilisée pour la fermentation alcoolique est le *Saccharomyces Cerevisiae*. C'est un champignon microscopique se présentant sous forme unicellulaire au moins à un stade de son cycle biologique. Il donne une fermentation uniforme, rapide, un haut rendement en éthanol et tolère un grand éventail de températures, de niveaux de pH et un taux d'alcool élevé. Les levures peuvent vivre avec ou sans oxygène. Dans un cycle de fermentation normal, les levures utilisent de l'oxygène au départ, et continuent à vivre quand tout l'oxygène est consommé.

C'est pendant la phase anaérobie (sans oxygène) que l'éthanol est produit. La cellule est généralement ovoïde, et sa taille varie de quelques microns à 25 ou 30 microns.[18]

II.2.3.1. Caractéristique de la levure :

En milieu liquide, la forme des cellules est elliptique dont certaines sont plus allongées, d'autres plus arrondies. La culture présente un trouble et lors de la phase active, des mousses se forment et apparaissent à la surface.

En milieu solide, la culture présente des colonies géantes de forme lisse ou granuleuse pouvant être mates ou brillantes souvent saillantes. À l'heure actuelle, les levures sont vendues lyophilisées, en fines paillettes.

II.2.3.2. Propriétés de la levure :

Beaucoup de substrats glucidiques sont assimilables par la levure comme : le glucose, le saccharose, le galactose, le maltose, le maltotriose et le fructose. Mais d'autres comme l'amidon, le pentose, le lactose ne sont pas assimilables. D'où la nécessité d'hydrolyser l'amidon avant de passer à la fermentation.

II.2.3.3. Culture de la levure :

Les sels nutritifs sont nécessaires pour l'alcool à base de sucre, car le sucre raffiné n'en contient pas. Sans eux, nous ne récolterons que très peu d'alcool. Pas grand-chose qui se produira avec uniquement du sucre et de la levure. En outre, l'alcool produit pourrait contenir certains produits indésirables, comme des aldéhydes et autres alcools supérieurs. Pour proliférer et se développer, la levure a besoin d'acides aminés, de minéraux et d'enzymes, pour former des protéines nécessaires à la multiplication des cellules.

Ces nutriments sont en général composés d'ion phosphate, d'ion potassium K^+ , d'ion sulfate, d'ion iodure I^- , de vitamine, d'acide borique, etc.

Le moût de grains et de malt ou le moût de fruits contiennent généralement tous ces éléments, mais il est nécessaire d'en ajouter au moût au cas où la fermentation serait trop lente. [19]

II.2.3.4. Classification :

La classification de référence actuellement en vigueur pour la levure *Saccharomyces Cerevisiae* et celle de LODDER (1971) :

- * Embranchement : Thallophytes
- * Classe : Ascomycetes
- * Sous-classe : Hemyascomycetes
- * Ordre : Endomycetales
- * Famille : Saccharomycetaceae
- * Sous-famille : saccharomycoideae
- * Genre : *saccharomycoideae*
- * Espèce : *cerevisiae* [19]

Théoriquement, 10 Kg de sucre produiront 6.5 L (5.1 Kg) d'éthanol et 4.9 Kg de dioxyde de carbone.

L'alcool résulte de dédoublement sous l'influence de la levure de bière, d'un principe sucré, le glucose, qui dérive soit du sucre, soit de la cellulose ou des matières amylacées, formé dans les végétaux. [16]

II.2.3.5. Avantage à l'utilisation de cette levure :

Parmi les différentes espèces de levures existant, la levure *Saccharomyces Cerevisiae* (la levure de bière) est fréquemment utilisée dans la fermentation alcoolique ; il est facile de s'en procurer, à un coût relativement faible. De surcroît, elle a un taux de production acceptable (=65%).

D'autre part, en plus d'être assez résistante, la *Saccharomyces cerevisiae* produit de l'alcool à une température presque ambiante (20 à 25°C). Par conséquent, le traitement du moût sera plus facile à cette température. Finalement, comme les levures se reproduisent assez rapidement et que leur poids est petit, il n'est pas nécessaire de s'en procurer une grande quantité. La quantité de levure à acheter dépend donc de la quantité de liqueur sucrée que nous obtiendrons.

II.2.4 Le mécanisme réactionnel

C'est par les enzymes (la zymase) produites par les levures que se fait la fermentation alcoolique.

II.2.4.1. Enzymes :

Ce sont des protéines qui méritent une attention spéciale du fait de leur fonction particulière. Ce sont elles qui catalysent les réactions biochimiques.

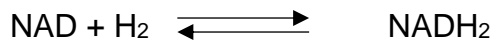
II.2.4.2. Coenzyme :

Ce sont des groupements organiques particuliers généralement des nucléotides qui participent à l'action de l'enzyme. Les deux très importants parmi les enzymes sont :

Le nicotinamide –Dinucléotide (NAD)

Le nicotinamide –Dinucléotide phosphate (NADP) de même structure où le ribose de l'adénosine est phosphorylé en 2 pour (NADP2)

Et l'équation d'équilibre :



La fermentation alcoolique contient 2 étapes successives : la glycolyse et l'étape terminale ou la décarboxylation. [6]

II.2.4.3. 1ère étape : La glycolyse

Quoique le glucose soit un composé chimiquement très réactif, biochimiquement il ne participe qu'à un petit nombre de réaction, dont la plus importante d'entre elles est la phosphorylation. Cette réaction qui est la première de la glycolyse, se fait entre le glucose et l'ATP en présence d'une hexokinase, il y a formation de glucose-6-P et d'ADP. Cette réaction est irréversible, car il passe d'une liaison très riche en énergie (celle de l'ATP) à un ester phosphorique (le glucose-6-P) pauvre en énergie.

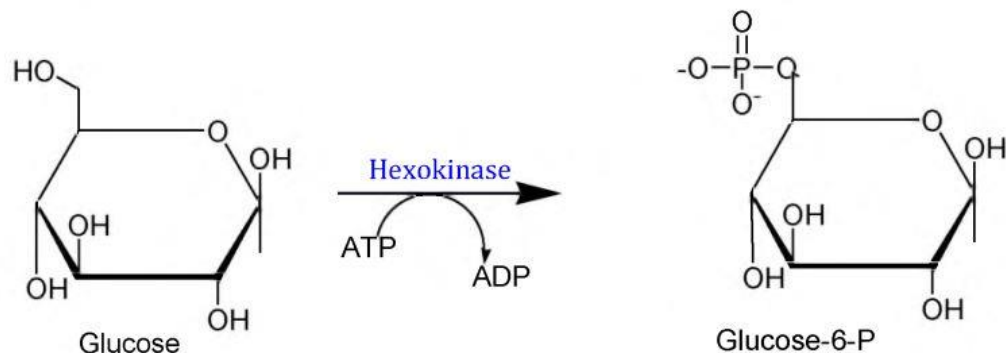


Figure 3: l'hexokinase

Le glucose-6-P est ensuite isomérisé en fructose-6-P au cours d'une réaction réversible (transformation aldose \rightleftharpoons cétose) catalysée par une phosphohexose isomérase. L'équilibre est de 70/30 en faveur du glucose-6-P.

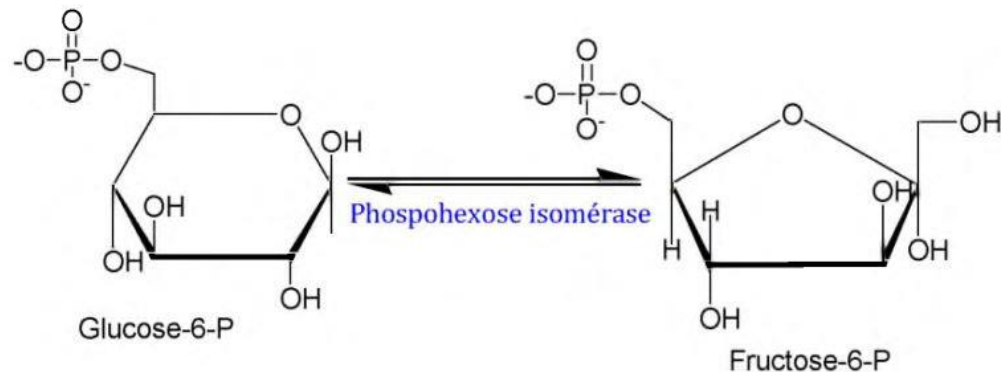


Figure 4: Phosphohexose isomérase

Sous l'action de l'ATP, le fructose-6-P est phosphorylé en fructose-1,6-diP, grâce à la phosphofructokinase. Il a donc fallu consommer deux molécules d'ATP pour arriver à ce composé.

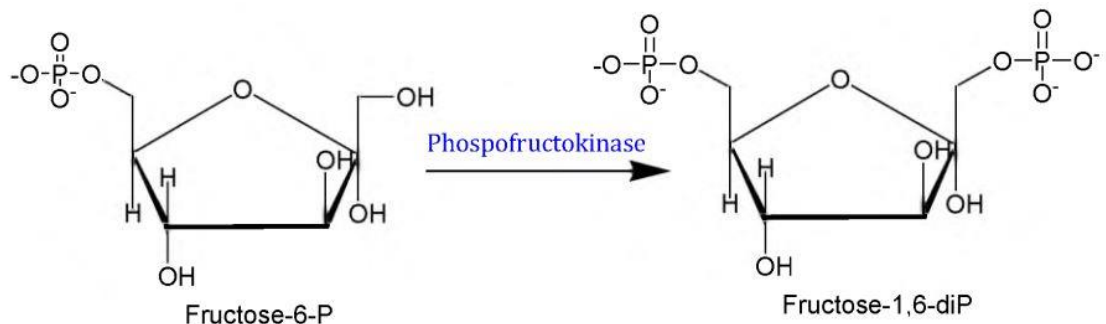


Figure 5: Phosphofructokinase

Une aldolase va ensuite permettre le clivage du fructose-1,6-diP en deux trioses-P isomères l'un de l'autre : le glycéraldéhyde-3-P et la dihydroxyacétone phosphate. L'aldolase est activée par divers ions : zinc Zn^{2+} , ferreux Fe^{2+} , cobalt Co^{2+} .

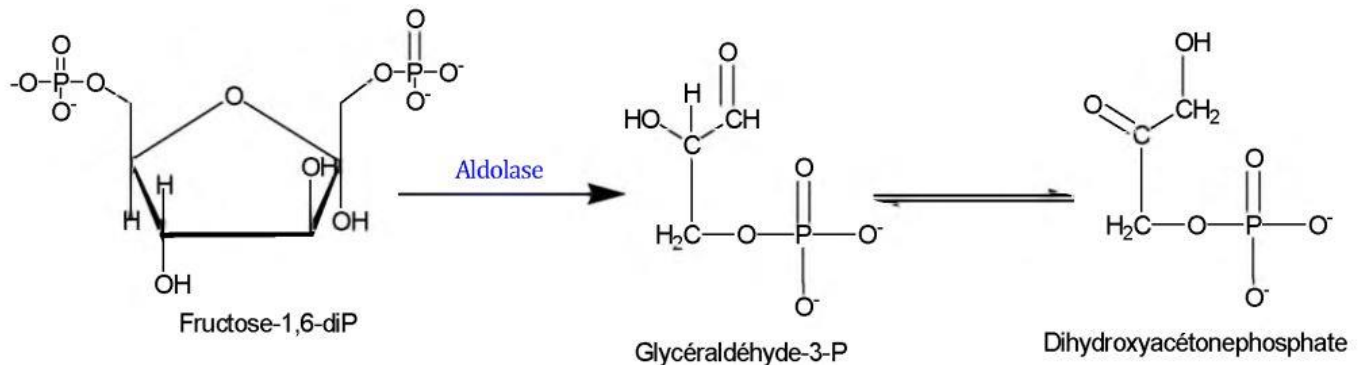


Figure 6: L'aldolase

Le glycéraldéhyde-3-P cède de l'hydrogène au NAD^+ qui devient $\text{NAD}^+\text{H}^+\text{H}^+$. L'énergie de cette réaction permet la synthèse d'une molécule d'ATP par molécule de triose (« phosphorylation des chaînes de substrat »). L'acide 3-phosphoglycérique formé est transformé en acide 2-phosphoglycérique par une phosphoglycérémutase, qui en présence d'ions magnésium Mg^{2+} et d'une énolase conduit au phosphoénolpyruvate. Cette réaction est fortement inhibée par les ions fluorure F^- .

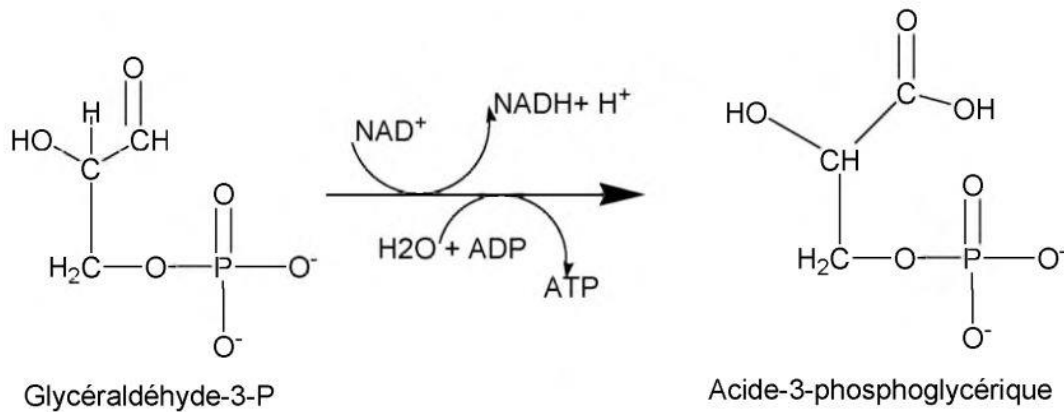


Figure 7: Phosphoglycérémutase (réaction intermédiaire)

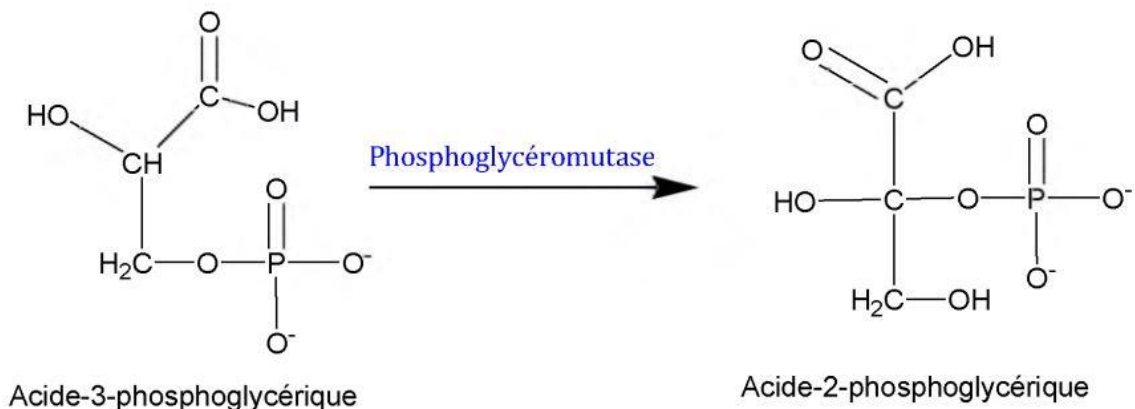


Figure 8: Phosphoglycérémutase

La dernière réaction de la glycolyse amène au pyruvate, avec gain d'une molécule d'ATP, catalysée par une pyruvokinase qui est activée par les ions magnésium Mg^{2+} et potassium K^+ .

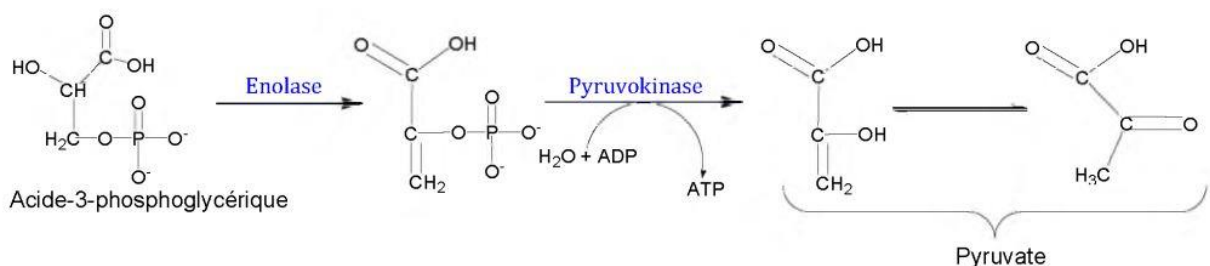


Figure 9: Enolase et Pyruvokinase

Du point de vue énergétique la glycolyse consomme deux molécules d'ATP par molécule de glucose, mais en fournit quatre, donc avec un gain de deux ATP, ce qui représente à peu près 20000 calories, alors que l'oxydation complète d'une molécule de glucose pourrait fournir 686000calories.

La figure suivante résume le mécanisme.

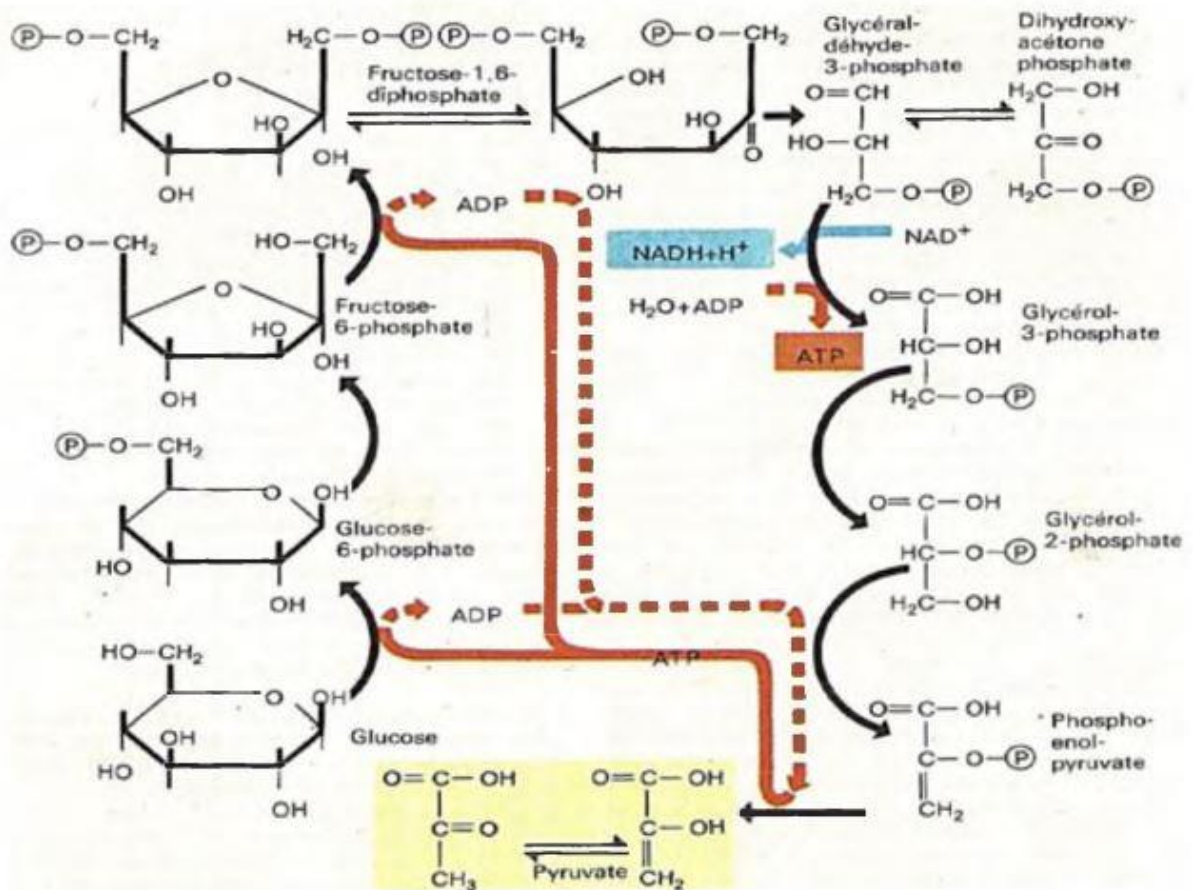


Figure 10: Processus de la glycolyse

II.2.4.4. L'étape terminale : décarboxylation de l'acide pyruvique :

L'acide pyruvique, subit ensuite une décarboxylation sous l'action de la pyruvate-décarboxylase pour donner de l'acétaldéhyde qui reçoit de l'hydrogène de NAD-H et forme l'éthanol. [16]

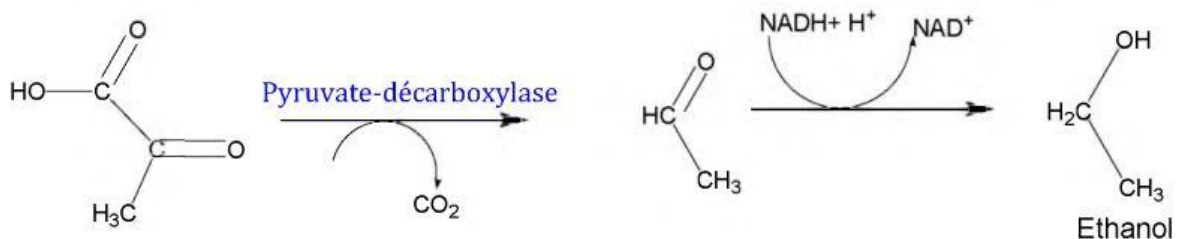


Figure 11: Décarboxylation de l'acide pyruvique

II.2.5 Dynamique de la fermentation :

II.2.5.1. La température :

- ✧ La température joue un rôle important sur la vitesse de fermentation car elle affecte les agents responsables, les levures. A une température de 20°C, leur prolifération s'accélère. Pour chaque écart de température de 10°C, la vitesse est doublée.
- ✧ Plus les levures travaillent vite, plus le rendement sucre-alcool est grand.
 - Au-dessous de 10°C, les levures sont incapables de se multiplier.
 - Au-dessus de 35°C, leur activité diminue rapidement, la fermentation risque alors de s'arrêter.

C'est la raison pour laquelle que tout doit être mis en œuvre, lors de la cuvaïson, pour que la température du moût ne s'élève jamais à ce niveau.

- ✧ Lors de la vinification, il s'établit un échange de température entre la cuve et l'air ambiant. Cet échange dépend de plusieurs facteurs, à savoir l'écart de température entre le milieu et le matériel.
- ✧ Certaines circonstances peuvent faire augmenter la température de la cuve :
 - La température initiale lors de la récolte du fruit : elle vient s'ajouter au dégagement de chaleur lors de la fermentation ;
 - La richesse en sucre : l'élévation de température est proportionnelle à la quantité de sucre du moût à fermenter ;
 - La vitesse de fermentation : plus elle est rapide, plus la température augmente.

- ✧ Une température trop élevée entraîne :

En vinification en blanc :

- Une diminution de la richesse et de la finesse de l'arôme
- Une altération de la couleur

En vinification en rouge :

- L'altération du bouquet
- L'apparition du goût amer ou herbacé
- Par contre, il y a une meilleure diffusion de la couleur

Il existe une température optimale pour toute vinification :

Tableau 4: température de fermentation pour les principales classes de vins

Température de fermentation (°C)	Minimum	Optimum	Maximum
Vin rouge	25	28-30	32
Vin blanc	16	18-20	22
Vin liquoreux	18	20-22	25

II.2.5.2. La densité :

Progressivement, au cours de la fermentation, le sucre se transforme en alcool et la densité (g/L) du moût diminue pour atteindre 1,000, la densité de l'eau, et finalement atteint celle du vin 0.992 à 0.996.

La mesure se fait à l'aide d'un densimètre dans une éprouvette, en tenant compte de la température du moût. Avant le début de la fermentation, il n'y a pas encore d'alcool et seul le sucre a une influence sur la densité.

Connaissant la densité de départ du moût avant le début de la fermentation permet de trouver sa teneur en sucre et son pourcentage en alcool. [W6]

II.3 Fabrication du vin ou la vinification proprement dite

Il existe différentes méthodes de vinification mais les deux grands types de vinification essentielles sont ceux en blanc et en rouge.

II.3.1 La vinification en blanc :

Contrairement à ce que beaucoup de gens pensent, les vins blancs peuvent être élaborés à partir des cépages rouges ou blancs. Les vinificateurs ne souhaitent pas extraire les éléments de la peau des raisins [20].

Voici les étapes qui résume le processus de vinification en blanc :

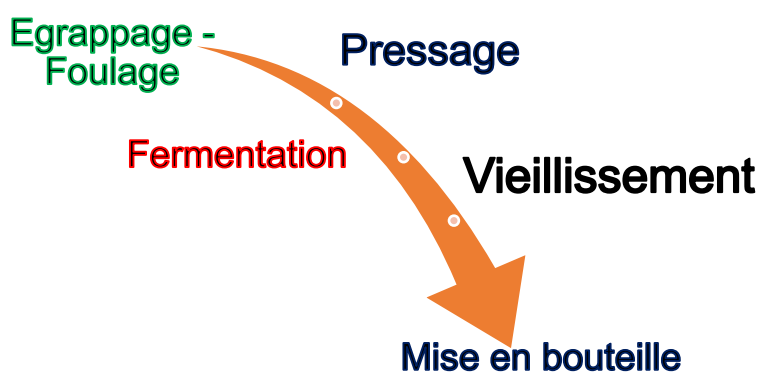


Figure 12: processus de vinification en blanc

II.3.2 La vinification en rouge :

La différence entre les processus de vinification du vin Rouge et du vin blanc repose non pas sur la couleur du raisin (il est possible d'obtenir du vin blanc à partir de raisin rouge), mais sur la succession des étapes :

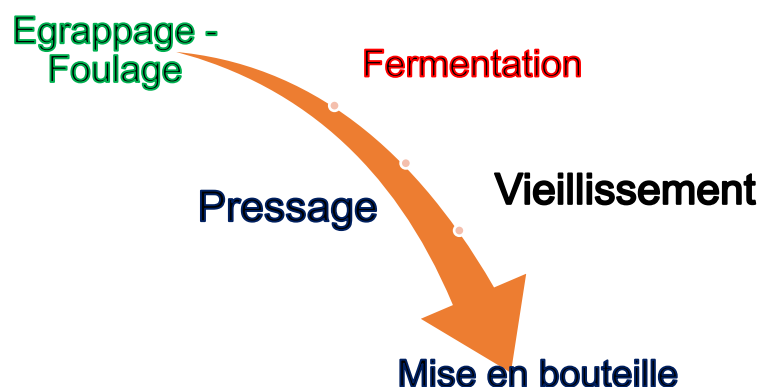


Figure 13: Processus de vinification en Rouge

Remarque :

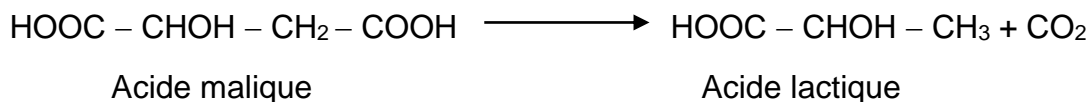
- ★ La couleur de vin rouge a tendance à varier avec l'âge. Ils sont plutôt violacés et intenses lorsqu'ils sont jeunes, rouges brique lorsqu'ils mûrs, et bruns lorsqu'ils sont plus âgés.
- ★ Pour le vin blanc : le pressage, l'opération de séparation du jus au marc, a lieu avant la fermentation. Donc la macération du jus avec les marcs a lieu en même temps que la fermentation et qui va donner la couleur du vin. Tandis que pour le vin rouge, le pressage succède la fermentation.

Il existe trois types de vins : les vins rouges, les vins blancs, les vins rosés et les vins gris.

Ce qui distingue un vin rouge, d'un vin blanc ou d'un vin rosé ce n'est pas uniquement la couleur. Les vins peuvent être regroupés selon leurs types ou leurs couleurs. [W7]

À côté de la fermentation alcoolique, une autre transformation microbiologique est indispensable à la production de certains vins de qualité, en particulier des vins rouges; il s'agit de la fermentation lactique de l'acide malique par certaines bactéries, ou fermentation malolactique. Cette transformation abaisse l'acidité et assouplit les vins. Elle doit se produire immédiatement après la fermentation alcoolique, de façon à pouvoir réaliser rapidement la stabilisation biologique du vin.

Elle se déroule en une seule étape enzymatique et la bactérie concernée est le *lactobacillus* [21].



II.3.3 Traitement, conservation et vieillissement :

À l'issue de la fermentation alcoolique, le vin obtenu est extrêmement trouble; il contient en suspension de très nombreuses levures qui lui donnent un aspect laiteux; il renferme également différentes particules solides plus ou moins volumineuses provenant de la pulpe du raisin et des matières albuminoïdes formées par la floculation des protéines. Enfin, il est riche en gaz carbonique. Au cours de la période de maturation, le vin va se dépouiller: cette opération s'effectue spontanément par évaporation du gaz carbonique et par sédimentation des particules solides en suspension, suivie de leur élimination par soutirage.

Ce résultat peut être accéléré à l'aide de différents procédés tels que la filtration et le collage, ce dernier consistant à ajouter dans le vin une substance protéique, ou colle, qui, par floculation et sédimentation, entraîne les particules du trouble, accélérant ainsi la clarification; cette opération réalise également une stabilisation, en éliminant des particules colloïdales instables, susceptibles de provoquer des précipitations ultérieures.

À l'issue de la période de maturation, le vin est apte à la consommation, tout au moins dans le cas des vins courants qui ne sont plus susceptibles d'amélioration. Les vins fins, par contre, voient leurs qualités organoleptiques s'améliorer au cours d'une période de vieillissement plus ou moins longue, mais comportant au moins trois ou quatre années; une conservation en fûts de bois de petite capacité (pièce de 225 litres) permet une dissolution de certains principes aromatiques du bois et une pénétration d'air, donc une certaine oxydation; cette première phase est suivie d'un vieillissement en bouteilles, à l'abri de l'air, dans des conditions réductrices.

Nous abordons ici un des aspects qui restent les plus mystérieux de l'œnologie. En effet, ces transformations affectent essentiellement les substances responsables de la couleur, de l'arôme et du goût. La connaissance des substances odoriférantes et des pigments reste très limitée. Cependant, même si les mécanismes intimes des transformations qui se produisent pendant le vieillissement ne sont pas complètement élucidés, l'empirisme raisonné a fixé les conditions les plus favorables à ce vieillissement.

À côté des transformations normales qui l'améliorent, le vin, milieu biologique d'une grande complexité, peut subir des transformations accidentelles qui se traduisent par des altérations dont souffre la qualité; ces altérations peuvent être de nature bactérienne ou chimique [11]

II.3.4 Altération bactérienne :

Lorsque les fermentations (alcoolique et malolactique) sont terminées, le développement des micro-organismes doit être évité. Grâce à son alcool et à son acidité, le vin est relativement stable, plus que la bière par exemple. Néanmoins, cette stabilité n'est pas absolument totale, car des levures dans les vins sucrés et des bactéries sont, dans tous les cas, susceptibles de se développer et de provoquer des accidents qui sont de véritables altérations (piqures).

Les bactéries qui provoquent des maladies sont de deux types :

✚ Les bactéries acétiques (bactéries du vinaigre) oxydent l'alcool en acide acétique; elles sont aérobies, se développent à la surface des récipients insuffisamment pleins.

✚ Les bactéries lactiques anaérobies se développent dans la masse du vin et décomposent différents constituants (glucides, acides organiques, glycérol). Ce sont les mêmes bactéries qui décomposent l'acide malique au cours de la fermentation malolactique. Elles sont donc utiles ou nuisibles, selon les transformations qu'elles produisent. L'acide malique étant dégradé plus facilement, une conduite rationnelle de la vinification permet d'obtenir la fermentation malolactique sans altérations bactériennes, bien que ce soient les mêmes micro-organismes qui interviennent dans les deux cas. [18]

La stabilisation biologique est obtenue par l'emploi d'antiseptiques (acide sulfureux) ou mieux par la manipulation du vin dans des conditions stériles [19]

II.3.5 Troubles et précipitation de la nature chimique :

Il importe que la limpidité du vin obtenue pendant la maturation soit définitive et qu'il n'y ait pas de risque de développement de nouveaux troubles et dépôts de nature chimique, particulièrement en bouteilles. Le vin doit donc être non seulement clarifié, mais aussi stabilisé chimiquement, et cela indépendamment de la stabilisation biologique. [22]

Le vin peut également être le siège de différents types de troubles et dépôts connus sous le nom de casses: casse protéique, casse cuivrique, casse ferrique.

L'élimination des protéines est obtenue par adsorption sur la bentonite.

Il existe des tests de laboratoire permettant de prévoir ces différents accidents et aussi les traitements appropriés. En ce qui concerne les casses métalliques, les moyens préventifs, c'est-à-dire la suppression au maximum du contact avec le matériel en fer ou en cuivre, constituent cependant la meilleure solution pour éviter ces accidents. [23]

II.4 La composition du vin

Le vin est essentiellement une solution d'alcool dans l'eau, qui contient également un grand nombre de composés chimiques volatils ou non, en solution ou en suspension. La teneur en alcool est généralement comprise entre 10% et 20% en moyenne pour sa version non renforcée pour une teneur en eau de l'ordre de 85%.

L'alcool est principalement de l'éthanol mais nous y trouvons aussi du méthanol, glycérol, du sorbitol, du butylène glycol.

Le vin contient aussi :

Des sucres : glucose, fructose dont le dosage varie de 0 à 2 g/L dans les vins secs, jusqu'à 50 à 60 g/L dans les vins doux pour lesquels la fermentation alcoolique a été incomplète et également des sucres non fermentescibles (pentoses...)

Des acides : tartrique, citrique, acétique, lactique, malique, succinique, oxalique, borique, phosphorique, phénolique, acides benzoïques, acides cinnamiques. Le pH du vin varie de 3 à 4

Des composés phénoliques : tanins, anthocyanes [24]

II.5 La chimie du vin

II.5.1 Les sucres :

II.5.1.1. Nature et propriétés :

La pulpe renferme du glucose, du fructose (ou lévulose) et des sucres non fermentescibles.

Les sucres sont issus de l'assimilation chlorophyllienne :

- Soit directement à partir du saccharose. Ils sont synthétisés dans les parties herbacées de la plante (surtout dans les feuilles), puis véhiculés par les vaisseaux du liber pour migrer vers les cellules de la pulpe.
- Soit directement à partir de l'amidon. Ils sont mis en réserve dans les parois cellulaires car la plante fabrique plus de sucre qu'elle n'en consomme.

Les principales caractéristiques des sucres sont les suivantes :

- ★ La teneur (entre 200 et 350 g/L)

- ★ Leur capacité à se transformer en alcool par les levures en milieu anaérobie. (Sucres fermentescibles)
- ★ Leur aptitude à renvoyer la lumière polarisée à droite ou à gauche. Le glucose est dextrogyre et le fructose est lévogyre
- ★ Leur capacité à réduire en s'oxydant en alcool.

Les sucres non fermentescibles sont l'arabinose et la xylose. Ils sont en très faible quantité : de 0,5 à 1,7 g/L.

La vendange contient d'autres substances que les sucres comme les matières colorantes, les tanins, les matières pectiques et les matières odoriférantes.

II.5.1.2. Le rôle des sucres dans l'œnologie

La vigne fabrique des sucres depuis le débourrement jusqu'à la chute des feuilles. Le maximum des sucres dans le raisin se situe au moment de la véraison pour atteindre en fin de maturité 4 à 5 g/L. La qualité de la vendange est inversement proportionnelle à sa quantité. Les conditions favorables à la croissance de la plante donnent une baie plus grosse et moins sucrée. Une Plante vigoureuse fabrique plus de sucre, mais sa répartition, dans l'ensemble de la plante, est moins favorable à la baie. D'autre part son cycle végétatif est plus long et la période de maturation reportée sur une période généralement moins ensoleillée. La répartition des sucres dans la baie n'est pas homogène. Ils se concentrent dans la partie intermédiaire.

Les sucres jouent un rôle fondamental dans la transformation. Ils se transforment en alcool sous l'action des levures. La vinosité est le caractère des vins riches en alcool. Elle contribue à la qualité en développant les saveurs des autres constituants.

En 1966, la norme du teneur en sucre des vins est donnée par le tableau 2 suivant, mais actuellement, à cause des vins des pays neufs dans le domaine de production du vin (celui de l'Afrique du Sud, du Chili et de l'Argentine par exemples), la teneur en sucre dans les vins secs est limitée à 5g/L.

Tableau 5: Type de vins et sa teneur en sucre

Type de vins	Teneur en sucre
Vins secs	<2 gramme/litre
Vins demi-secs	Jusqu'à 20 g/L
Vins moelleux	Jusqu'à 40 g/L
Vins liquoreux	>40 g/L

Source : J. RIBEREAU-GAYON et E. PEYNAUD, « Traité d'œnologie: maturation du raisin, fermentation alcoolique, vinification », Tome II, DUNOD, Paris, 1966

II.5.2 Les acides organiques

II.5.2.1. Caractéristique :

Ils sont situés dans les cellules de la pulpe. Ils sont libres, combinés, le plus souvent sous forme de sels acides de potassium.

Le pH du moût indique son acidité.

Les principaux acides sont :

- Acide tartrique $\text{COOH-CHOH-CHOH-COOH}$, acide spécifique à la vigne et synthétisé dans le raisin vert. C'est un acide stable.
- Acide malique $\text{COOH-CH}_2\text{-CHOH-COOH}$. Il existe dans tous les fruits, synthétisé dans les tissus chlorophylliens de la vigne. Peu stable, il se forme lors de la combustion des sucres.
- Acide citrique.

II.5.2.2. Rôles de l'acidité dans la vinification

- ✚ L'acidité maximale du raisin atteinte pendant la véraison est d'environ 16 g/L exprimée en équivalent masse d'acide sulfurique, à maturité elle redescend à 4 g/L.
- ✚ Pendant la vinification des rouges, elle favorise la révélation des matières colorantes.
- ✚ Une fois le vin fait, elle donne corps et fraîcheur au vin. Un vin plat a une acidité trop faible. Un vin dur a une acidité trop élevée. [11]
- ✚ Leur nature et leur concentration règlent les équilibres acides-bases et, de ce fait, ils commandent le goût acide du vin [25].

II.5.3 Les polyphénols

Il y a deux types de polyphénols : les matières colorantes et les polyphénols incolores.

II.5.3.1. Matières colorantes :

Elles sont contenues dans les cellules de la peau.

- Les anthocyanes sont les pigments de teinte rouge ou bleue présents dans les cépages noirs. Le dioxyde de soufre libre amène une décoloration réversible. Peu solubles dans le moût et dans l'eau, ils sont solubles dans l'alcool. C'est pourquoi la vinification en rouge nécessite la macération pendant 6 jours des parties solides pour que la couleur passe dans le jus. La coloration importante des baies est en fonction de la lumière, de la chaleur et d'une moindre vigueur. La cadence de soutirage, le taux de dioxyde de soufre libre peuvent faire évoluer la couleur. La combinaison anthocyane tanin a une forme colorée stable. Dans la technique de macération finale à chaud, la combinaison anthocyane-tanin est favorisée. Ce procédé n'est effectué que lorsque les levures ont transformé tous les sucres. Dans les vins rouges, on trouve des anthocyanes libres, des anthocyanes condensés qui donnent la couleur au vin et des anthocyanes combinés qui se déposent au fond de la bouteille.

- Les flavones sont les pigments de teinte jaune présents dans les pellicules de tous les raisins. Ils ne jouent aucun rôle dans la couleur des blancs.

II.5.3.2. Polyphénols incolores

☆ Les polyphénols incolores : ce sont principalement les tanins. Dans le raisin, ils sont tous condensés. Leur importance dépend des cépages, de la durée de la macération et de la cuvaison. Dans les vins élevés en barriques, il y a des tanins hydrolysables ou galliques qui proviennent du bois. Les tanins ont un pouvoir antiseptique, mais peuvent aussi générer la prolifération de micro-organismes.

☆ Les substances odorantes : elles sont essentiellement dans la pellicule. Elles dépendent du cépage, des façons culturales et de la maturité du raisin.

II.5.4 Les enzymes

Les enzymes œnologiques sont de plus en plus utilisées. Elles facilitent les conditions de vinifications et tendent à améliorer la qualité des vins. Elles interviennent lors de la macération, du pressurage, de la clarification, de la filtration.

Ils jouent un rôle important dans :

- ❖ L'activité pré-fermentaire de la vendange
- ❖ Le démarrage de la fermentation alcoolique
- ❖ L'évolution du vin

II.5.4.1. Les oxydases :

- ✓ La tyrosinase est active pendant la croissance du raisin. Elle résiste mal à la vinification,
- ✓ La laccase favorise l'oxydation des polyphénols.

II.5.4.2. Les protéases

Ce sont surtout les enzymes pectolytiques. Leur utilisation facilite :

- La libération des polyphénols et des matières odorantes
- Le débouillage des jus en vinification en blanc
- La clarification du vin [11]

II.6 Les vins de fruits

Le raisin est certainement un des fruits dont la richesse en sucre permet d'obtenir, par la fermentation, les boissons les plus alcooliques. D'autres vins cependant peuvent être obtenus avec d'autres fruits. Les vins de fruits sont donc des boissons obtenues à partir de fruits fermentés.

Généralement : :

- ✦ Leur taux d'alcool avoisine les 15 % ;
- ✦ Ils ont un taux de sucre résiduel important par rapport aux vins secs (issus de raisin) ;
- ✦ Ils se consomment surtout en apéritif, en dessert, ou encore en dégustation en dehors d'un repas ;
- ✦ Ils peuvent être pétillants en le gazéifiant. [21]

II.6.1 Historique et type existant :

Le vin de fruits existe depuis 10 000 ans avant Jésus Christ. L'archéologie moderne a prouvé l'existence de vin de mûres, de poires, de pommes, de miel à cette époque, dès la fin du néolithique. [26]

L'origine des vins de fruits n'est pas vraiment précise, mais la plus ancienne marquée dans l'histoire est d'origine romaine. La santé des troupes romaines se conservait jadis par leur tisane militaire, qui était une sorte de vin de fruits séchés. Dans quelques pays qu'elles fussent, les légions faisaient sécher toute sorte de fruits sauvages, poires, pommes, sorbes, prunelles et autres, et buvaient la décoction ou l'infusion de ces fruits.

Les vins sont, dans beaucoup de pays, chers au-dessus des moyens de la plupart des gens ; c'est pourquoi l'homme s'efforce d'y suppléer, en y substituant ce que notre jardin peut nous offrir de meilleur en ce genre.

Les fruits les plus utilisés pour la fabrication de vin de fruit sont : groseille, baie de sureau, fraise, mûre, framboise, cassis, banane, palme, pêche, prune, cerise, pomme, abricots, poire...[21]

II.6.2 Choix des fruits :

Bien que le choix des fruits détermine fortement la nature du vin que l'on obtiendra, on est souvent obligé d'utiliser les fruits dont on dispose et le choix est souvent limité.

Néanmoins, à part quelques rares fruits dont la composition est tout à fait équilibrée et adéquate pour la réalisation d'un vin (le raisin en est le type même), la plupart des autres fruits ne sont pas équilibrés ; c'est-à-dire qu'ils possèdent en excès ou qu'ils sont déficients en certains éléments. Dans ce cas, une correction du jus s'impose si nous le voulons obtenir de bons résultats.

L'idéal est d'obtenir un jus équilibré en mélangeant des fruits qui, individuellement, ne le sont pas. Sinon il faudra avoir recours à divers additifs, tout à fait naturels par ailleurs et ne diminuant en rien la qualité du vin, bien au contraire.

De toute façon, les fruits doivent avoir atteint un degré de maturité suffisant de manière à posséder une richesse convenable en arômes et en sucre (la teneur en sucre peut être suivie au réfractomètre) [27].

II.6.3 Procédé général de la fabrication de vins de fruits :

Le processus général pour la préparation des vins de fruits est résumé en trois mots :

- * Préparer le jus de fruit exempt de bactéries pathogènes.
- * Ajouter de la levure
- * Attendre que le vin atteigne le degré souhaité et procéder aux traitements du vin [28]

En le détaillant par le schéma suivant :

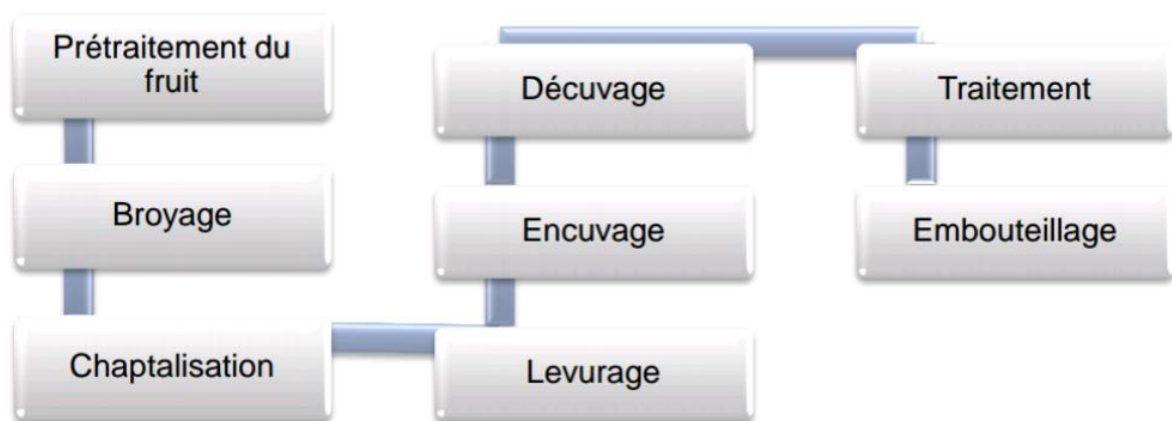


Figure 14: Processus de fabrication des vins de fruits

Les fruits ne sont pas tous juteux, ainsi lors du broyage il est parfois nécessaire d'ajouter de l'eau. Ce procédé s'appelle « mouillage ». Dans le cas où le taux de sucre est insuffisant pour avoir le degré alcoolique voulu, il est nécessaire de recourir à « la chaptalisation » ou adjonction de sucre. Dans la plupart des cas, les vins de fruit sont très troubles par rapport aux vins de raisin. Pour le clarifier, il faut le traiter plusieurs mois en cuve, en effectuant des soutirages, des collages et des filtrations avant d'embouteiller ce vin (± 9 mois). [21]

II.7 Les analyses et contrôles du vin de fruit :

II.7.1. Analyse chimique du vin de fruit :

II.7.1.1. Titre alcoométrique ou degré alcoolique

Le titre alcoométrique, exprimé en degré alcoolique, est égal au nombre de litres d'alcool éthylique contenus dans 100 litres de vin. Ces volumes étant tout deux mesurés à la température de 20°C. [21]

II.7.1.2. Acidité totale

L'acidité totale est la somme des acides titrable lorsqu'on amène le vin au pH 7, par addition d'une liqueur alcaline titrée; l'acide carbonique et l'anhydride sulfureux libre et combiné ne sont pas compris dans l'acidité totale. Les résultats sont exprimés en milliéquivalents par litre, soit 0.049g d'acide sulfurique par litre. L'acidité et le degré alcoolique sont des facteurs importants de typicité des vins. C'est l'équilibre entre les deux qui sera déterminant dans la nature et la capacité de vieillissement du vin [29].

II.7.1.3. Acidité volatile

L'acidité volatile est constituée par la partie des acides gras appartenant à la série acétique, qui se trouve dans les vins à l'état libre, et à l'état salifié. Elle est formée essentiellement par l'acide acétique, accompagnée de petites quantités d'acides propanoïque et butyrique. À l'état de traces dans le jus de raisin frais, ces acides se forment naturellement en très faible quantité pendant les fermentations, alcoolique et malolactique. Ils peuvent aussi se former accidentellement à la suite de développement bactérien. La détermination de l'acidité volatile d'un vin permet de connaître son état sanitaire. Il existe une réglementation limitant l'acidité volatile, les vins dépassant la limite autorisée étant destinés à la vinaigrerie.

Une teneur de 0.4 à 0.5 g/L est considérée comme acceptable pour un vin en cours de stockage. Une tolérance supérieure est acceptée pour les vins liquoreux. Au-dessus de ces valeurs, il est possible qu'il y ait l'intervention de bactéries de maladies. [25]

II.7.1.4. Le pH

Le pH permet de mesurer l'activité des ions hydroxonium H^+ dans une solution.

Cette mesure est à lier avec celle de l'acidité totale car le pH caractérise la force de l'acidité du moût ou du vin.

II.7.1.5. Les sucres

La richesse en sucres des moûts permet d'estimer le degré probable de la récolte. Après fermentation complète, la concentration en sucre représente la teneur en sucres résiduels du vin.

La teneur en sucres résiduels est limitée à 2 g/L pour les vins secs et explique le goût sucré des vins moelleux et liquoreux.

II.7.1.6. Le dosage du dioxyde de soufre

Le dioxyde de soufre est un antiseptique rajouté aux moûts avant la vinification (récolte, traitement préliminaire du jus de fruit) et au vin pendant l'élevage afin de contrôler le développement des micro-organismes dans ces milieux, en vue d'un bon déroulement de la vinification et d'une parfaite conservation du vin. En effet, un apport de dioxyde de soufre peut provoquer une sélection des levures et permet une protection du vin contre les proliférations bactériennes. Enfin, son fort pouvoir réducteur protégera le vin d'une oxydation.

Les teneurs maximales de dioxyde de soufre total autorisées sont :

Vins secs :

Rouge 160 mg/L

Blanc 210 mg/L

Vins liquoreux : 300 mg/L [29]

II.7.2. L'analyse sensorielle:

II.7.2.1. L'examen visuel :

L'examen visuel permet d'apprécier la robe du vin, son aspect.

II.7.2.1.1. La limpidité

La limpidité d'un vin est notée par observation latérale du verre. La source de lumière met en évidence les particules dans le vin. Ce phénomène, appelé Tyndall, est plus perceptible encore lorsque le verre est placé sur un fond noir. Apparaissent alors les troubles du vin, perles de gaz, filaments, voltigeurs ou flocons. Si le trouble se présente comme une masse nuageuse ou laiteuse, il s'agit d'éléments colloïdaux. Un vin trouble ne se goûte jamais bien, il paraît rustique et rugueux, sans aucune finesse.

II.7.2.1.2. La brillance

La brillance est l'éclat du vin, sa faculté de renvoyer la lumière. Cette brillance sera observée en regardant le disque à la lumière naturelle et sur un fond blanc.

La brillance est très importante pour les vins blancs qui doivent présenter un éclat parfait.

II.7.2.1.3. La couleur

L'appréciation de la couleur est liée à deux facteurs : l'intensité et la teinte. L'intensité colorante d'un vin est due à sa richesse en pigments colorants (anthocyanes ou flavones). Elle dépend de l'épaisseur du vin traversée par la lumière. Il faudra donc l'observer avec les mêmes verres remplis à la même hauteur et avec la même source lumineuse. L'observation se fait au-dessus du verre en inclinant celui-ci pour ajuster la hauteur du liquide. La lumière du jour frappant le verre de face. L'intensité colorante d'un vin se décline d'incolore à intense, en passant par pâle, clair, élevé, foncé, soutenu, profond, dense.

En ce qui concerne la teinte, la teinte principale est distinguée de celle des reflets, qui sera observée soit lorsque le vin coule de la bouteille, soit sur les bords du disque.

II.7.2.1.4. Le gras du vin

Le gras du vin est caractérisé par ce qui est appelé les « larmes » ou les « jambes » qui se forment le long du verre. Celles-ci sont dues à la richesse en glycérol du vin mais aussi et surtout à sa teneur en alcool qui influe sur la vitesse d'écoulement des « larmes » le long du verre. Plus les " larmes " coulent lentement, plus le vin est riche en alcool.

II.7.2.2. L'examen olfactif

Pour percevoir les arômes, il est important de bien utiliser son odorat et les deux voies qu'il implique : La voie directe que l'on exploite en humant, et la voie rétronasale, lorsque le vin est en bouche, qui utilise le lien entre notre palais et nos voies nasales. La première nous fait percevoir les odeurs et la deuxième les arômes.

L'examen olfactif sera effectué en deux étapes : la première étape consiste à humer le vin dans un verre rempli au tiers et tenu par le pied pour éviter les odeurs de la peau. On appelle cela le " premier nez ". Pour la deuxième étape, on fait tourner le vin dans le verre pour l'aérer. C'est le " deuxième nez ".

L'examen olfactif nous renseigne sur l'arôme et le bouquet d'un vin. Il existe trois types d'arômes : les arômes primaires ou variétaux, les arômes secondaires ou fermentaires et arômes d'élevage ou bouquet.

II.7.2.2.1. Les arômes primaires

Les arômes primaires sont issus de la variété de fruit. Chaque fruit porte sa signature aromatique qui s'exprime de façon plus ou moins intense selon la variété. Il y a des fruits aromatiques, facilement détectables et des fruits plus discrets, qui demandent plus d'attention. Les arômes primaires se définissent par analogie avec des fleurs, des végétaux, des fruits, des minéraux et des épices.

II.7.2.2.2. Les arômes secondaires

La fermentation va révéler les arômes du vin. C'est la transformation du sucre en alcool qui va libérer les arômes et les rendre éclatants. Mais l'agent de cette transformation, la levure, ne se contente pas de produire de l'alcool et du gaz carbonique. Grâce aux enzymes qui participent aux réactions, les levures donnent naissance à diverses substances qui complètent les arômes initiaux du fruit par des arômes secondaires. Ces arômes dépendent de la nature de la levure, des aliments de celle-ci et de la température à laquelle est conduite la fermentation. La fermentation malolactique apporte aussi des arômes au vin, notamment des notes beurrées et lactées.

II.7.2.2.3. Le bouquet

Une fois les fermentations terminées, deux phases vont enrichir la palette aromatique du vin : l'élevage et le vieillissement en bouteille. L'élevage atténue les notes fruitées originelles, mais les rend plus complexes. En cuve, le vin aura tendance à conserver son caractère jeune et fruité. Le vieillissement entraînera surtout le mariage des arômes et leur harmonie.

II.7.2.3. L'examen gustatif

II.7.2.3.1. Les sensations gustatives

Le goût est ressenti sur les papilles gustatives situées en diverses parties de la langue. Quatre impressions sont décelées : le sucré, le salé, l'acide et l'amer respectivement sur le bout, les côtés latéraux, les bords et le fond de la langue. La saveur sucrée se révèle en premier, puis viennent simultanément les saveurs acides et salées. L'amer ne se manifeste qu'en fin de dégustation. Outre ces saveurs élémentaires, d'autres sensations sont décelées : la fraîcheur (acidité), la chaleur (due à l'alcool), l'astringence (tanins), le pétillant (CO₂), la consistance (gras).

II.7.2.3.2. L'équilibre des vins

L'harmonie d'un vin et sa qualité résident dans l'équilibre de ses saveurs et de ses arômes. Certaines saveurs trop prononcées en neutralisent d'autres. Plus précisément, cette harmonie se trouve essentiellement dans l'équilibre entre les goûts sucrés, acides et amers. Cet équilibre doit être nuancé selon le type de vin. En effet, il faut apprécier un vin en fonction de ses critères de typicité. On peut dire que plus le vin est sucré, plus il demande un fort degré d'alcool pour rester harmonieux et pour ne pas tomber dans des notes pâteuses. [11]

Chapitre III. GENERALITES SUR LA BIERE

III.1 Définition et historique :

III.1.1 Définition :

La bière est une boisson alcoolisée obtenue par fermentation alcoolique d'un mout de produits végétaux amylacés tels que l'orge, le maïs, le riz, la banane, le manioc... Ce mout est obtenu à l'issue d'une étape importante de la fabrication de la bière, le brassage, opération à l'origine des termes brasseur et brasserie. La bière actuelle est généralement produite à partir d'eau, de malt d'orge (parfois additionnée d'autres céréales) et de houblon. Ce dernier, en particulier, apporte un parfum et de l'amertume à la bière et agit comme conservateur. [30]

III.1.2 Historique :

La bière, une des premières boissons alcoolisées découvertes par l'homme est née par le fruit du hasard il y a fort longtemps. La bière n'est pas le seul produit de consommation qui est né par le hasard de la nature mais c'est une des boissons alcoolisées la plus consommée dans le monde.

De sa découverte à nos jours, la bière n'a cessé de se développer, de s'améliorer et de se déplacer de continents en continents. [31]

L'histoire de la bière est intimement liée à celle de ses ingrédients, ainsi qu'aux avancées technologiques qui firent de cette boisson le breuvage que l'on connaît aujourd'hui. Les premières cultures de céréales, notamment de l'orge et de l'épeautre (une variété de blé), ont été attestées en 8000 av. J.C. en Mésopotamie. Tous les ingrédients étant disponibles dès cette époque, la bière pouvait donc exister et l'on estime son invention/découverte à 6000 av. J.C. Cependant, les preuves formelles de son existence, découvertes dans la province de Sumer, remontent au IV^{ème} millénaire av. J.C. A cette époque, la bière, alors appelée « *sikaru* », qui veut dire littéralement « pain liquide », était à la base de l'alimentation quotidienne. On la fabriquait par cuisson de galettes à base d'épeautre et d'orge que l'on mettait à tremper dans de l'eau, afin de déclencher la fermentation nécessaire à la production d'alcool, et que l'on assaisonnait avec de la cannelle, du miel ou toutes autres épices en fonction des préférences des clients. La bière, connue des peuples de Chaldée (maintenant Irak, Koweït et d'Assyrie), devenue monnaie d'échange, commença sa dissémination. Des recherches

archéologiques ont pu démontrer que les Provençaux brassaient déjà leur bière au V^{ème} siècle avant Jésus Christ. [32]

III.2 Matière premières:

III.2.1 L'eau

Avec une part supérieure à 90%, l'eau est la composante principale de la bière. La qualité de l'eau de brassage est essentielle pour la clarté et le goût de la bière. Certaines eaux sont très douces, d'autres très alcalines. Pour le brassage de certains styles de bière, il est conseillé d'adapter le contenu minéral de l'eau de brassage. [W8] L'eau doit être fraîche, pauvre en calcaire et présenter des propriétés bactériologiques et physico-chimiques irréprochables. L'ajout de sels minéraux permet d'effectuer ces adaptations pour réussir une bière parfaite. Dans ce cas, l'eau de robinet est applicable pour la fabrication de bière. [33]

III.2.2 Le malt

Le malt est le composant majeur après l'eau. Il permet au brasseur d'obtenir du sucre qui sera mis à la disposition des levures qui elles-mêmes créeront la bière. Le malt utilisé en brasserie est l'orge malté. En fait, l'orge est la céréale la plus utilisée dans la fabrication de la bière puisque sa germination est facile, et une fois germiné, il est riche en enzymes qui va transformer l'amidon en sucres fermentescibles : de glucose, de maltose. [W8]



Figure 15: Orge de brasserie

Source : association suisse des brasseries



Figure 16: Malt d'orge

Source : Association suisse des brasseries

III.2.3 Le houblon

Le houblon connu sous le nom scientifique *Humulus lupulus*, est une liane herbacée, vivace, à grosse racine charnue ou partent de longues tiges herbacées grimpantes qui s'agrippe à des fils de fer allant jusqu'à 8m de hauteur. Les variétés de houblon à travers le monde sont extrêmement nombreuses. Chaque houblon donne à la bière un gout unique. En fait, le houblon influence le gout de la bière de deux façons : son amertume et son arôme. [34] Il préserve aussi la teneur en bactérie, protège contre les micro-organismes dus aux résidus de fermentation et réduit les excès de mousse en cours d'ébullition du moût. Enfin, il aide à la coagulation des protéines pendant l'ébullition. [35]



Figure 17: Pellets de houblon

III.2.4 Les levures

Les levures sont des micro-organismes (champignons) unicellulaire, qui jouent un rôle essentiel dans la préparation des boissons fermentées, elles interviennent dans la conversion du sucre en alcool. En fait, à chaque brasseur correspond ses propres souches de levures avec lesquelles ilensemence le mout.

III.2.4.1. Différents types de levures utilisées :

Il existe deux types de fermentations différentes pour obtenir la bière voulue : la fermentation haute et la fermentation basse, et pour cela des souches de levures correspondantes au mode de fermentation seront utilisées. [36]

Pour la fermentation basse : Fermentation basse : elle nécessite l'adjonction dans le moût de levures dites « basses ». La levure la plus fréquemment utilisée est *Saccharomyces carlsbergensis*. Cette levure est appelée levure à fermentation basse car lors de la fermentation elles migrent vers le fond du fut. Avec ce type de levures, la fermentation dure entre 7 et 10 jours et doit se faire entre 7 et 12°C.

Les bières obtenues sont en général moins fruitées et moins alcoolisées que les bières à fermentation haute. Les bières de fermentation basse se consomment fraîches entre 4 et 7°C.

Pour la fermentation haute : les levures dites « hautes » sont *Saccharomyces cerevisiae*. La fermentation dure entre 3 et 8 jours et se fait à une température se situant entre 15 et 25°C. Une fois qu'elles ont épuisé le glucose, les levures remontent à la surface du moût d'où l'appellation fermentation haute.

Les bières obtenues sont en général plus alcoolisées et avec des arômes plus complexes que les bières à basse fermentation mais sont moins chargées en gaz carbonique.

Elles se consomment à la température entre 6 et 12°C

Les levures sont donc spécifiques de la bière qu'on souhaite obtenir, elles servent à la fermentation mais jouent aussi un rôle important dans la qualité du produit final. [31]

Tableau 6: type de levure [40]

Type	Caractéristiques	Comportement à la fermentation
Basse	Température de fermentation : 7– 12 °C, levures unicellulaires, arôme léger	Les levures à fermentation basse se déposent au fond de la cuve à la fin de la fermentation.
Haute	Température de fermentation : 15 – 25 °C, levures en chaînes, arômes plus fruités.	Les levures à fermentation haute remontent pour former un chapeau à la surface du brassin sous l'action des bulles de gaz carbonique formées par la fermentation.

III.2.5 Autres matières premières amylacées

Outre le malt d'orge, d'autres matières premières contenant de l'amidon peuvent entrer dans la fabrication de la bière, certaines étant maltées, d'autres non.

Il s'agit principalement de céréales comme le froment, le maïs, le riz, l'avoine, l'épeautre ou l'amidonniér, mais aussi d'ingrédients comme les châtaignes ou les dattes. [33]

III.2.6 Bilan de brasserie :

Le bilan matière suivant représente un exemple de bilan matière général d'une unité de brasserie [37].

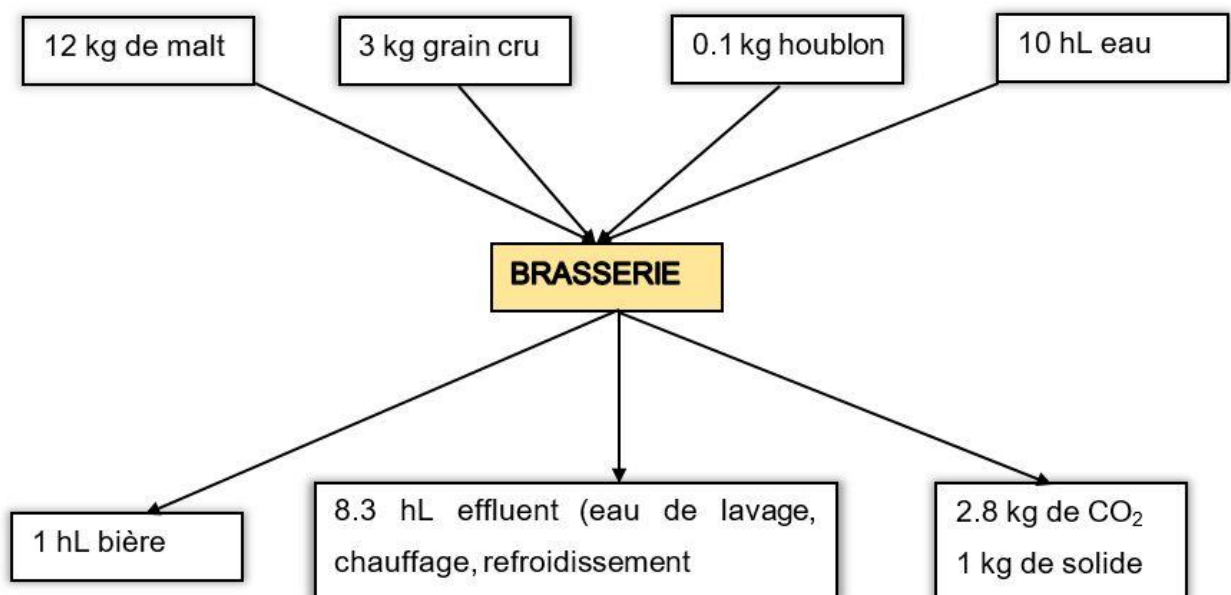


Figure 18: bilan en matières premières d'une brasserie

III.3 Processus général de fabrication

La fabrication de la bière comprend les étapes suivantes :

- Le maltage
- Le brassage
- La fermentation
- La garde
- La filtration (selon le style de bière)
- Le remplissage et le conditionnement

III.3.1 Le maltage

L'orge est la matière première de base pour la fabrication du malt. Le but du maltage sera de libérer les éléments chimiques présents dans l'orge, notamment les enzymes qui vont transformer les hydrates de carbone (glucides) en maltose, durant le brassage. Il comprend cinq étapes à savoir la préparation de l'orge, le trempage, la germination, le touraillage, et le traitement du malt. [38]

III.3.1.1 La préparation d'orge

L'orge brute est soumise à diverses opérations de nettoyage, de triage et de calibrage. Ces dernières ont pour but d'obtenir des grains d'orge de dimensions uniformes et de se débarrasser de tous corps étrangers et des grains détériorés impropres à la germination.

III.3.1.2 La trempe

Le but du trempage est de fournir aux grains l'eau et l'oxygène nécessaires à la germination. A l'issue de cette opération, leur pourcentage d'humidité est de 15 à 45%.

La trempe se fait par immersion, le grain est immergé dans l'eau en alternance avec des périodes à découvert. En phase immergée, le grain est remué et oxygéné par de l'air comprimé. En phase de découvert, l'air est fréquemment renouvelé afin d'évacuer le CO₂ et la chaleur produits et de lui apporter de l'oxygène nécessaire à sa respiration. Le trempage dure entre 1 à 3 jours à 15°C. A la fin de la trempe, le germe et les racines naissantes, appelées radicules, apparaissent. [W9]

III.3.1.3 La germination

Le germe, activé lors de la trempe, va au cours de cette étape se développer, entraînant d'importantes modifications biochimiques au cœur du grain. L'embryon va alors libérer et activer une multitude d'enzyme se trouvant naturellement dans la réserve. La « couche » de grain, étalée sur un plateau perforé, va germer. La germination se déroule dans de grands germoirs où le grain est constamment remué mécaniquement pour éviter qu'il ne pourrisse.

Pour une germination de qualité il faut respecter trois conditions indispensables : il faut que le grain ait un taux d'humidité constant d'environ 45 %, l'atmosphère doit être oxygénée et aérée pour éviter l'asphyxie du grain. La dernière condition est la température, la germination doit se faire entre 10 et 20°C.

Après 4 à 6 jours de germination, le produit obtenu est appelé malt vert. Le but de cette opération est de libérer les enzymes indispensables à la suite de la fabrication de la bière.



Figure 19: Grains d'orge germés

Source : <http://www.micro-malteri.fr/le-maltage-generalite/la-germination>

III.3.1.4 Le touraillage

C'est une opération qui dure environ 35 heures, pendant les 30 premières heures le malt vert est séché à 45°C puis le temps qu'il reste le grain est chauffé brusquement, c'est le coup de chaud.

Le touraillage permet de stopper la germination et de diminuer le taux d'humidité du grain. C'est une étape indispensable car c'est à ce moment-là que seront défini la couleur, le caractère et le goût de la bière en fonction de la température du « coup de chaud ».

- Pour une bière blonde : les grains seront légèrement torréfiés à 85°C
- Pour une bière ambrée : on chauffe à 110°C pour obtenir des grains caramel, les sucres sont caramélisés.
- Pour les bières brunes : on veut obtenir des grains noirs, ils seront grillés à 220°C



Figure 20: différentes bières en fonction du malt

Source : <http://www.micro-malterie.fr/les-types-de-malts/>

III.3.1.5 Le traitement du malt

Les radicules formées au cours de la germination seront retirées en faisant passer le grain sur des plateaux vibrants. Le grain étant très sec, les radicules se détachent facilement. Les grains sont alors dégermés, nettoyés et sont prêts pour le brassage.

Le malt peut ainsi être stocké pendant deux ans au maximum à conditions de le protéger de toute contamination ainsi que l'humidité. [31]

III.3.2 Le brassage ou l'hydrolyse

III.3.2.1. Types d'hydrolyses :

Il existe trois types d'hydrolyses ou méthodes de conversion de l'amidon en sucre fermentescible :

- ★ Hydrolyse acide
- ★ Hydrolyse enzymatique
- ★ Hydrolyse acido-enzymatique

III.3.2.1.1. L'hydrolyse acide :

Cette méthode consiste à traiter l'amidon avec un acide (acide chlorhydrique, acide sulfurique...) vers 160°C et de neutraliser ensuite le jus obtenu avec du carbonate de soude.

III.3.2.1.2. L'hydrolyse enzymatique :

Il s'agit d'hydrolyser l'amidon par de l'enzyme provenant des céréales germées pour catalyser la réaction.

III.3.2.1.3. L'hydrolyse acido-enzymatique :

La méthode consiste à hydrolyser partiellement l'amidon par l'acide, de neutraliser ensuite le milieu au pH optimal de l'enzyme, puis de compléter l'hydrolyse par action de l'enzyme.

III.3.2.2. Comparaison des types d'hydrolyses :

Tableau 7: Comparaison des types d'hydrolyses

Hydrolyse acide et Hydrolyse acido-enzymatique	Hydrolyse enzymatique
<ul style="list-style-type: none"> * Nécessité de produit chimique, d'où : <ul style="list-style-type: none"> ➤ Possibilité d'attaque des cuves de réaction ; ➤ Hydrolyse des autres constituants (lipide, protéine) ; ➤ Sous-produits dangereux pour l'alimentation animale ; ➤ Goût indésirable du produit obtenu 	<ul style="list-style-type: none"> * Les enzymes n'attaquent que l'amidon ; * Les céréales germées utilisées comme source d'amidon contiennent des matières nutritives qui sont conservées à la fin de l'hydrolyse ; * Les sous-produits peuvent être utilisés pour l'alimentation animale

La méthode d'hydrolyse enzymatique est donc préférable. [37]

III.3.2.3. Le brassage proprement dit :

L'hydrolyse de l'amidon ou le brassage est une dégradation chimique de ce polymère en matière sucrées fermentescibles : glucose, maltose...

III.3.2.3.1. Le concassage :

Le concassage a pour but de faciliter l'extraction des enzymes et des sucres lors des étapes suivantes. Cependant il faut être vigilant à ce que la taille du malt concassé soit optimale, pas trop grossière sinon l'extraction des enzymes et des sucres sera moindre. Et pas trop fine cela engendrera des farines qui seraient problématique lors de la filtration.



Figure 21: malt concassé

III.3.2.3.2. L'empâtage :

L'empâtage a pour but d'extraire l'amidon et d'activer les enzymes responsables de la transformation de l'amidon en sucre. Pour ce faire, il est nécessaire de mélanger le malt concassé avec de l'eau chaude dans une grande cuve, le mélange obtenu s'appelle la maïsche. Lors de l'empâtage, la maïsche est chauffée à différentes températures afin d'exploiter au mieux ses caractéristiques physico-chimiques.

Tout d'abord, le mélange est chauffé vers 45 et 50°C pendant 15 à 30 minutes pour transformer les protéines non solubles en acides aminés et libérer les amylases : protéase et peptidase.

Ensuite, la température est augmentée à environ 60°C et 65°C pendant 30 à 45 minutes, c'est le premier palier de saccharification, la β -amylase, α -amylase et le dextrinase décomposent l'amidon en sucres fermentescibles : glucose, maltose, maltotriose et dextrose.

Vient ensuite le deuxième palier de saccharification qui dure 30 min en moyenne vers 68°C et 75°C, cette fois l'enzyme qui est responsable de la formation des sucres non fermentescibles est l' α -amylase.

Le palier d'inhibition des enzymes est au-delà de 78°C en moyenne 10min, c'est la dernière phase de l'empâtage.

III.3.2.3.3. La filtration :

Une fois l'empâtage terminé, il faut récupérer par filtration la partie liquide appelée moût. En général, cette opération a lieu dans la cuve où a eu lieu la phase précédente possédant un fond filtrant. Les drêches, résidus du malt, sont déposées sur le fond de la cuve et en plus du filtre déjà présent forment un filtre naturel. Une fois le moût entièrement récupéré, le brasseur rince les drêches avec une eau à 76°C afin de récupérer le maximum de sucres encore présent dans les drêches. Elles seront ensuite jetées et seul le moût sera utilisé pour la suite d'opération ou la fermentation.



Figure 22: drêche d'orge

Source : <https://fr.wikipedia.org/wiki/D3%AAche>

III.3.2.3.4. La cuisson du moût et le houblonnage :

Durant cette étape, le moût est porté à ébullition, cette cuisson permet de stériliser le moût. C'est aussi pendant cette étape que le brasseur ajoute le houblon pendant la cuisson du moût.

Le houblon est en général ajouté en deux fois, au début de la cuisson, pour qu'il puisse libérer son amertume et en fin de cuisson pour conserver le maximum de ses huiles essentielles.

Cette étape dure entre 1 à 2 heures, il faut généralement 1 heure à température entre 60 à 90 °C pour que le houblon libère son amertume. C'est le moment d'ajouter des ingrédients particuliers comme l'arôme. [31]

III.3.2.3.5. Le refroidissement :

Après le houblonnage, le moût doit refroidir rapidement et filtrer pour extraire les sacs de houblon. Il passera dans un réfrigérant afin de le mettre à la température optimale pour que sa température d'ébullition soit à la température idéale à la fermentation. [40]

III.3.3 La fermentation

Après refroidissement du moût, il estensemencé avec de la levure. Pendant la fermentation, une grande partie du maltose est transformée en alcool, gaz carbonique et substances aromatiques. Après quelques heures, une mousse abondante se forme à la surface de la cuve de fermentation. La fermentation principale dure environ une semaine : le moût s'est transformé en « bière jeune ». [33]

III.3.3.1 Fermentation secondaire ou garde

La bière jeune est placée dans des cuves de garde pour la seconde fermentation, la maturation et la clarification. Pendant la garde, elle est refroidie à des températures proches de 0°C. La pression qui en résulte sature naturellement la bière de son propre gaz carbonique, ce qui est important pour la formation de la mousse, la saveur et la digestibilité.

III.3.4 La filtration

Après quelques semaines, la bière arrive à maturité et prête à être consommée. Après une dernière filtration fine, la bière sera mise en bouteille. Cette opération n'est pas appliquée aux bières dites non filtrées, afin de préserver les levures.

III.3.5 La mise en bouteille et le conditionnement

Pour éviter les pertes de gaz carbonique et la formation de mousse, la bière est soutirée et transvasée, sous contre-pression, en fûts, en bouteilles, en canettes ou dans des citernes. Tous les contenants doivent être étiquetés conformément aux prescriptions légales, avec notamment la mention du type de bière, de la teneur en alcool et du fabricant.

III.3.6 Les contrôles de qualité

Des contrôles de qualité réguliers sont effectués à tous les stades de la fabrication de la bière, de différentes matières premières jusqu'au conditionnement du produit fini. Les objectifs de ces contrôles sont de garantir une qualité aussi régulière que possible et d'identifier précocement les défauts. Les contrôles s'appuient aussi bien sur des vérifications organoleptiques que sur des tests en laboratoire.

III.4 Classification des bières

Selon l'association des brasseurs de France, la classification de la bière est comme suit :

- La « *blanche* » (4,4 °GL a 7,7 °GL). C'est une bière légère et désaltérante, légèrement acidulée, ayant des saveurs aromatiques proches de celle du citron, de l'orange et du houblon. Elle est excellente en apéritif et se déguste très fraîche (4°C) ;
- La « blonde » type « pils » (4,4 °GL a 5,5 °GL). C'est une bière délicate et désaltérante qui se déguste fraîche (4 °C à 6 °C) ;
- La bière « blonde spéciale » (+5,5 °GL). C'est une bière de caractère avec une bonne rondeur et une amertume soutenue, ayant des arômes de houblon, malt, caramel, miel et ferment. Elle se déguste à 6 °C ou 8 °C ;
- La bière « ambrée » (4,4 °GL a 8 °GL). Elle dévoile tout son arôme lorsqu'elle est un peu tempérée (8 °C à 9 °C). Elle est plus maltée et plus charpentée, ayant des arômes de malt, de café vert, de crêpe, de caramel et de réglisse ;
- La bière « brune » (4,4 °GL a 8 °GL). Elle exalte toute sa saveur et son caractère lorsqu'elle est servie à 10 °C. Elle se caractérise par des arômes de café au lait, de café très torréfié, de confiture de figue, de pain grille et de cacao. [41]

Mais on a aussi une autre classification selon le degré densimétrique de la bière:

- Bière « spéciale » ayant une densité supérieure à 5,5 °GL ;
- Bière « de luxe » entre 4,4 °GL a 5,49 °GL ;
- Bière « bock » entre 3,9 °GL a 4,3 °GL ;
- Bière « light » entre 2,8 °GL a 3,2 °GL ;
- Bière « de table » entre 2 °GL a 2,2 °GL ;
- Bière « sans alcool » si la densité est inférieure à 1,2 °GL ;
- « Panaché » pour le mélange de bière et de limonade (inférieure à 1,2 °GL) ;
- Bière « aromatisée » qui contient des extraits de fruits ;

- Bière « de spéciale » qui est un produit non standardise caractéristique d'une région ou d'une brasserie [42]

III.5 La bière aux fruits :

III.5.1 Historiques :

Depuis des siècles, les fruits et la bière entretiennent une relation de complicité. Autrefois utilisés pour adoucir une bière, les fruits sont aujourd'hui utilisés, plus noblement, pour donner des arômes et du goût à la bière. [43]

III.5.2 Généralités et Définition de bière aux fruits ou bière aromatisée aux fruits :

Une bière aromatisée est une boisson obtenue à partir des grains fermentés. On appelle ainsi les seules bières ayant reçu l'ajout d'un ingrédient inhabituel sont destiné à changer son goût ou sa saveur.

Les bières aromatisées aux fruits, les plus connues et répandues, proposent une vaste palette d'arômes de fruits tels que la pomme, la framboise, fraise, pêche, cerise, cassis, poire, mûre, orange, etc. [W10]

La bière fruitée est une bière à base de fruits ajoutés comme complément ou arôme. Elle est obtenue par ajout de fruits fermentés à la fin du processus de brassage, juste avant l'introduction de la levure. [W11]

Pour beaucoup de consommateurs, une bière aux fruits est une bière sucrée. Et pourtant, le fruit est souvent ajouté au moût avant la fermentation. Il subit donc également cette fermentation, le sucre du fruit est transformé en alcool, diminuant ainsi le taux de sucre dans la bière. Une bière aux fruits n'est donc pas forcément sucrée. [43]

III.5.3 DIFFERENTES METHODE DE FABRICATION DE LA BIERE AUX FRUITS :

III.5.3.1. Les différentes possibilités d'ajout de fruits :

Il existe plusieurs formes d'ajout de fruits :

- ★ Ajout de purée de fruits
- ★ Ajout de sirop de fruits (le sirop ajoute aussi du sucre donc la bière sera plus sèche)
- ★ Ajout de jus de fruits (100% fruit et sans sucre ajouté)
- ★ Ajoute de compote de fruits (compote sans sucre ajouté)
- ★ Ajout de fruits entiers (bien les désinfecter avant avec une petite ébullition)
- ★ Ajout de fruits congelés (pas de risque d'infection)

III.5.3.2. Le moment où ajouter les fruits :

Tableau 8: Les avantages et inconvénients au moment d'ajout de fruits

	Avantages	Inconvénients
Pendant l'ébullition	pas de risques d'infection	perte de puissance des arômes délicats
Pendant la fermentation	conversion maximale des arômes	risque d'infection (levure sauvage dans la peau du fruit)

III.5.3.3. Masse de fruits à ajouter :

Le goût et l'arôme de la bière dépend à la quantité de fruits ajouté, plus la quantité de fruits est importante, plus la bière est bien fruitée.

- ★ Une bière légèrement fruitée : 20g/L de fruits
- ★ Une bière avec des arômes distincts de fruit mais qui reste sur la céréale : 50g/L de fruits
- ★ Une bière fruitée : 100g/L
- ★ Une bière très fruitée : 200g/L
- ★ Un hybride bière-cidre de fruits : 500 g/L [W12]

DEUXIEME PARTIE : ETUDE EXPERIMENTALE

Chapitre IV. LE VIN DE POMME

IV.1 Processus de vinification de pomme :

IV.1.1 Le diagramme du procédé :

Trois procédés différents ont été utilisés pour la vinification de pomme. Les deux procédés se rapprochent de celui de la vinification en blanc et de la vinification en rouge, la 3^{ème} méthode de procédé consiste seulement à découper les pommes en morceaux, il ne passe pas au broyage comme dans la vinification en rouge ou à la filtration comme dans la vinification en blanc. Les processus de fabrication du vin de pomme illustre dans le diagramme ci-dessous :

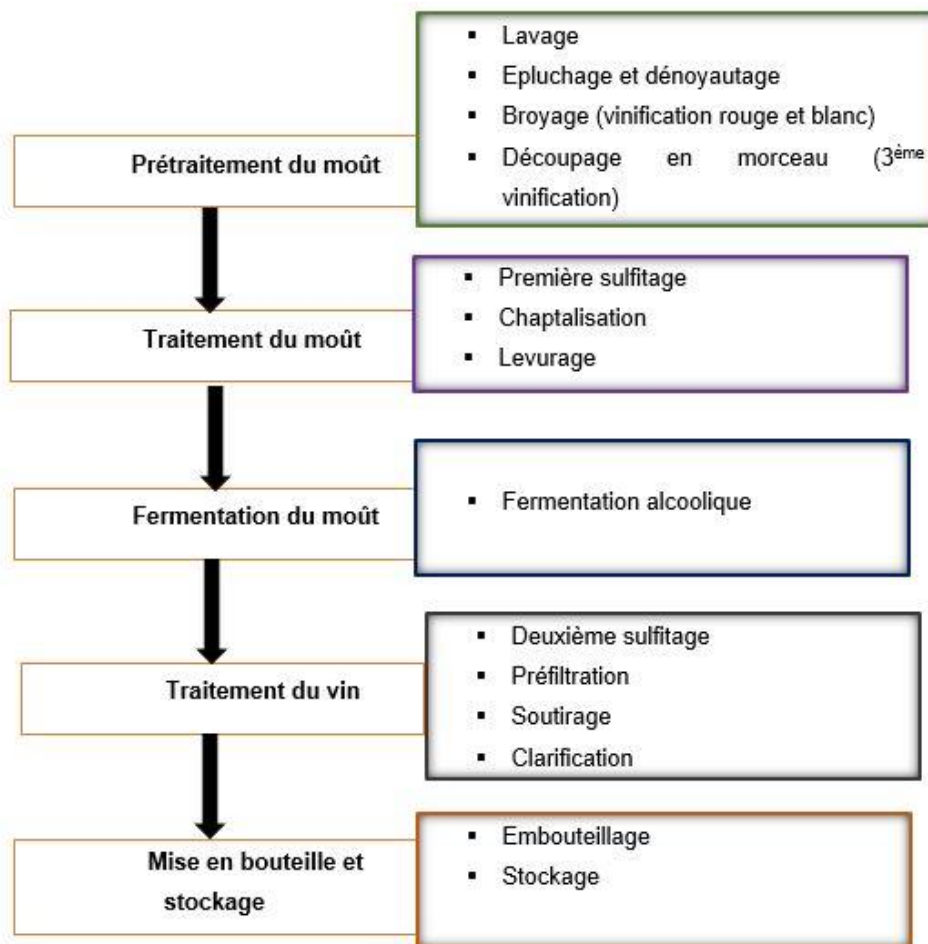


Figure 23: Processus de fabrication du vin de pomme

IV.1.2 La préparation du moût

IV.1.2.1 Choix de la variété de pomme utilisé :

Nous avons effectué le triage de pomme utilisé suivant les caractéristiques spécifiques de ce fruit. Trois différentes variétés de pomme ont été choisies pour assurer la qualité du vin obtenu: la variété golden a été choisie pour l'acidité du fruit, la variété Mamy sert à la teneur en sucre, et l'arôme du vin s'obtient plus par la pomme double red.

IV.1.2.2 Le lavage :

Cette opération joue un rôle très important sur la qualité du vin. Elle consiste à enlever les saletés de fruits ainsi que des matériels pour éviter l'altération du vin par les microbes indésirables ou des bactéries microscopiques portées après la récolte. De ce fait, l'eau de lavage doit sulfiter par le métabisulfite de potassium pour but de débarrasser les contaminants qui peuvent intervenir à la fermentation et vont nuire au vin obtenu (1g de méta-bisulfite de potassium par 10 Litres d'eau).



Figure 24: lavage des trois variétés de pomme

Cliché auteur

IV.1.2.3 L'équeutage et le dénoyautage

Après le lavage, l'équeutage et le dénoyautage consistent à extraire la partie comestible de ce fruit qui est la chair.

Ces opérations nous permettent de connaître la composition en masse de la pomme. Les valeurs peuvent être variables selon la période de la récolte ou selon les variétés de ce fruit. Le tableau ci-dessous représente la moyenne de la composition en masse des trois variétés de pommes utilisées :

Tableau 9: Composition en masse de pomme

Partie du fruit	Valeur(%)
Pulpe	79,52
Déchet	17,8
Noyau	2.68

IV.1.2.4 Broyage ou découpage en morceau :

A notre échelle de laboratoire, nous avons utilisé un mixeur pour broyer les pommes.

Après le lavage, nous avons découpé les pommes non épluchées en morceau. Le 1^{er} essai en a besoin comme sa matière première initiale pour la fabrication de vin de pomme. Puis nous avons mis en œuvre le broyage proprement dit.

Le broyage a été procédé par mouillage pour faciliter l'opération.

Les trois (03) essais expérimentaux que nous avons choisis pour élaborer le vin de pomme sont :

Pour les essais N°02 et N°03 : ils suivent la méthode de la vinification en blanc et de la vinification en rouge, respectivement. Dans ce cas, la purée de pomme a été prise pour ces deux essais comme matière première et pour leur suite de processus.

Tandis que l'essai N°01 utilise les pommes découpées en morceau.

IV.1.2.5 Pressage :

Cette opération unitaire est seulement pour l'essai N°01 qui suit les démarches de la vinification en blanc. A notre échelle, nous avons utilisé une voile à petite pore pour séparer le marc par le jus de fruit.

IV.1.3 Le traitement du moût

IV.1.3.1 Le premier sulfitage

Pendant toutes les opérations précédentes, le moût peut contenir des micro-organismes qui pourraient nuire à la qualité du vin. C'est la raison pour laquelle le sulfitage joue un rôle important mais il faut faire attention à la dose utilisée. Le sulfite est introduit dans le moût à raison de 0.02g/L, sous forme de métabisulfite de potassium.

IV.1.3.2 La chaptalisation :

La teneur en sucre dans le fruit diminue à cause de l'opération de mouillage pendant le broyage, ainsi le fruit est moins juteux.

La teneur en sucre total du jus est obtenue à partir d'une mesure du degré Brix au réfractomètre. Or certains sucres ne sont pas fermentescible par les levures. Donc il faut passer à la chaptalisation pour obtenir le taux d'alcool voulu.

La chaptalisation consiste à inverser le sucre de grande molécule en petite molécule en cassant les liaisons intermoléculaires de cette grande molécule, plus précisément les liaisons dans le saccharose en glucose et fructose.

Pour ce faire, le sucre a été versé dans un récipient inox en ajoutant une partie du jus de fruit. Après cela, il faut bouillir ce mélange pendant 15 minutes en l'agitant en permanence pour éviter la caramélisation. Ensuite, nous avons laissé ce mélange se refroidir et l'avons versé ensuite dans le moût.

Une fois la chaptalisation est finie, le sucre devient à l'état liquide et la réaction est irréversible.

Le sucre commercial ou le saccharose a été utilisé pendant cette opération.

Pour déterminer la masse de sucre à ajouter au moût, il faut faire un calcul. Ce calcul se fait à partir du taux d'alcool désiré pour le vin. Il y a une corrélation entre ce taux d'alcool et le rendement de la levure en éthanol. Il est compris entre 16 et 17 g/L de sucre pour 1 degré (%vol) d'éthanol. Pour la suite des calculs nous prendrons 17 g/L pour 1 % d'éthanol, et le taux d'alcool désiré c'est 12 % d'alcool.

Calcul de la quantité de sucre à ajouter :

- | | | |
|--------|--------|------------------|
| • 1 % | —————→ | 17 g/L de sucre |
| • 12 % | —————→ | 204 g/L de sucre |

S'il y a déjà X g/L de sucre dans la pomme, il lui reste à ajouter donc :

- $204 - X = Y$ g/L de sucre pour avoir 12 % d'alcool.

IV.1.3.3 Le levurage :

Il est préférable d'activer la culture vivante de la levure, ou les microorganismes dans la levure avant son introduction dans le moût.

Pour ce faire, il faut les réhydrater pendant 15 minutes dans 10 fois leur volume de moût à 30°C au bain-marie. L'activation de la levure permet à accélérer le début de la fermentation, marqué par la 1^{ère} bulle de gaz sortant dans le barboteur. La durée de la fermentation dépend de la quantité de levure ajoutée dans le moût à raison de 0.2 à 4.2 g/L de moût.

Le type de la levure utilisé est le *Saccharomyces Cerevisiae*.

IV.1.4 La fermentation du moût

C'est le moment où le sucre dans le moût se transforme en alcool et en gaz carbonique par l'action du microorganisme vivant introduit par la levure. La fermentation se fait dans des bouchons hermétiques pour éviter la réaction d'oxydation et empêcher la pénétration d'autres substances dans le milieu fermentaire, avec un barboteur à gaz sous forme d'un tuyau plastique qui est percé dans le fermenteur et dans l'autre bout de récipient d'eau qui permet de dégager le gaz carbonique. La fermentation se fait à une température ambiante comprise entre 20 à 25°C. et il faut laisser un vide environ 1/5 de volume de fermenteur à cause de la formation de mousse produite par la fermentation.



A : en blanc

B : en coupeau

Figure 25: fermentation du moût

IV.1.5 Les traitements du vin

L'arrêt du dégagement du CO₂ marque la fin de la fermentation. Les levures mortes se déposent au fond du fermenteur sous forme d'un dépôt appelé « lie ». Les bulles et la mousse disparaissent, et le moût s'éclaircit. Après la fermentation, le moût doit subir de divers traitements (physique et chimique) afin d'obtenir une bonne qualité de vin.

IV.1.5.1 Le deuxième sulfitage

Le deuxième sulfitage a été effectué juste après la fermentation pour :

- ✦ Protéger le vin aux phénomènes d'oxydation
- ✦ Empêcher la croissance et le développement des bactéries responsables de l'altération du vin pendant la période de décantation.

NB : Le surdosage de la métabisulfite de potassium dans le vin provoque la formation de CH₃-CHOH-SO₃H avec l'éthanol ou se transforme en H₂SO₃ (SO₂ libre) ou le soufre. Donc il faut faire attention à la quantité de métabisulfite à ajouter.

Des soutirages successifs permettent d'enlever le taux de soufre SO₂ dans le vin.

IV.1.5.2 La pré-filtration

La séparation du vin de pomme avec les marques (les débris de la pomme découpés en morceaux et la chair de la pomme) se fait par une passoire, ensuite par un filtre à café, et enfin par un linge appelé « lamba sogá ».

IV.1.5.3 Le soutirage

Après la préfiltration, le vin se décante pendant 21 jours en ajoutant un agent de décantation appelant bentonite à une quantité 1g/L. Cet agent de décantation a une forte capacité d'adsorber les matières en suspension dans le vin suivi de l'opération de soutirage.

Cette opération sert à séparer à nouveau le vin clair des lies. Il suffit de transvaser le vin du récipient à un autre car les lies sont déposées au fond du récipient. Nous avons effectué trois opérations de soutirage avant le dernier traitement, la dernière clarification avant la mise en bouteille.

IV.1.5.4 Clarification

Après le soutirage, le vin doit subir un dernier traitement avant la mise en bouteille. Pour la clarification de ce vin, nous avons utilisé la gélatine feuille, c'est un agent collant ; à raison de 2g de gélatine par 10 Litres de moût. Le mode opératoire est présenté à l'annexe 4.

Après cette opération, le vin clair a été soutiré et prêt pour la mise en bouteille.

IV.1.6 Mise en bouteille et stockage

Les bouteilles utilisées pour la conservation des vins doivent être en verre, stérilisées et opaques. Les bouteilles sont stockées dans des endroits frais et sombres.

IV.2 Les différentes expériences effectuées

Nous avons fait trois (03) essais expérimentaux durant la fabrication du vin de pomme.

IV.2.1 Les conditions expérimentales

Le tableau suivant résume les conditions de vinification pour chaque essai :

Tableau 10: Conditions expérimentales de la fabrication de vin de pomme

Essai	N°01 (pomme découpé en morceau)	N°02 Vinification en blanc	N°03 Vinification en Rouge
Paramètre			
Quantité de pulpe (kg)	1.98	3,8	2,5
°Brix de la pulpe	12		
Rapport Eau/pulpe	1/1	0.5/1	1/1
Densité après broyage	1.122	1,110	1.121
Volume du moût (L)	4	5.7	5
°Brix initial du moût	1	6	5
Quantité de sucre ajouté (g/L)	262	212	222
Nombre d'ajout du sucre	2		
°Brix final du moût	23.5	22	21
Acidité du moût (pH)	3.5	3.5	3.8

- ✱ Tous les essais ont été réalisés tout comme dans le diagramme de procédé (voir paragraphe IV.1.1).
- ✱ L'essai N°03 suit le procédé de la vinification en rouge où après le broyage le moût ne passe pas à la filtration ou pressage mais tout de suite à la fermentation.
- ✱ L'essai N°02 suit le processus de la vinification en blanc où il y a l'étape de filtration ou pressage.
- ✱ Et le 1^{er} essai est passé tout de suite à la fermentation après le découpage en morceaux.

IV.2.2 Suivi de la fermentation

Quelques paramètres doivent être prélevés et suivis avant, pendant et après la fermentation : telles que la teneur en sucre par le densimètre et par la réfractomètre, l'acidité du moût par la pH-mètre, et la densité du moût.

Ces mesures ont été effectuées juste avant et à 10 jours de la fermentation et à la fin de la fermentation pour éviter l'oxydation du moût ou l'altération bactérienne.

Ces prélèvements nous ont permis de savoir si la fermentation a bien eu lieu ou pas.

IV.2.2.1 Suivi de la teneur en sucre totale:

Tableau 11: Evolution du °Brix des différents essais

Durée (jour)	Essai	N°01	N°01	N°02	N°03
1		23.5	21	22	21
5		12	8,5	10,5	8,5
10		11,3	7	9	7
15		10,1	5	8	5
35		10.1	5	8	5
		13	13	13	13
40		13	13	13	13
45		13	13	13	13

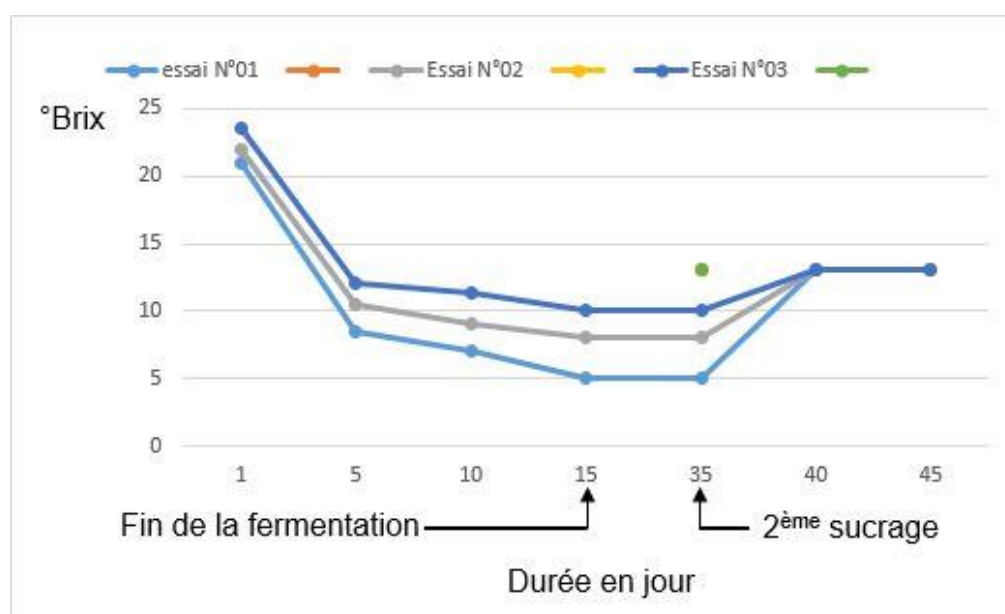


Figure 26: Courbe d'évolution des teneurs en sucre du moût des différents essais

- ❑ Tous les essais ont été ajoutés du sucre inverti au début de la fermentation
- ❑ Les premiers prélèvements se fait après la chaptalisation, juste avant la fermentation. Ce sont les teneurs en sucre initial du moût.
- ❑ Au bout de 5 jours, la teneur en sucre fait une chute jusqu'au quasiment la moitié du °Brix du début de la fermentation. Nous avons constaté alors que la vitesse de la fermentation est accélérée pendant ce temps grâce à l'ajout de sucre inverti au début de la fermentation. A cause du manque de matériels, nous n'avons pas pu

faire le suivi sur la variation de la température qui peut causer aussi ce phénomène.

- ❑ Et pendant les 10 derniers jours de la fermentation, la diminution de façon un peu lente de la teneur en sucre a été remarquée, c'est certainement pour la raison que la fermentation va se terminer.
- ❑ La fermentation est arrêtée au 15^{ème} jours de la date du début de la fermentation, cela a été marqué par la teneur en sucre constante. Or pour notre objectif, le taux de sucre résiduel n'est pas à la quantité voulue pour chaque essai, mais nous avons laissé le vin se reposer pour que l'arôme du fruit puisse se développer.
- ❑ Un deuxième sucragé a lieu à 35^{ème} jours de la fermentation qui consiste à augmenter le °Brix à la teneur en sucre résiduel voulue. Après le deuxième sucragé, nous avons bien aperçu l'augmentation de taux de sucre résiduel et leur stabilité après ce jour.
- ❑ Quand la fermentation s'arrête, les taux de sucre résiduel doivent être constants.

IV.2.2.2 Suivi de la densité du moût

Tableau 12: Evolution des densités des différents essais expérimentaux

Durée (jour)	Essai	N°01	N°02	N°03
1		1.122	1.110	1.121
5		1.032	1.022	1.015
10		1.023	1.020	1.010
15		1.013	1.003	0.994
35		1.013	1.003	0.994
		1.025	1.023	1.02
40		1.028	1.028	1.026
45		1.015	1.025	1.025

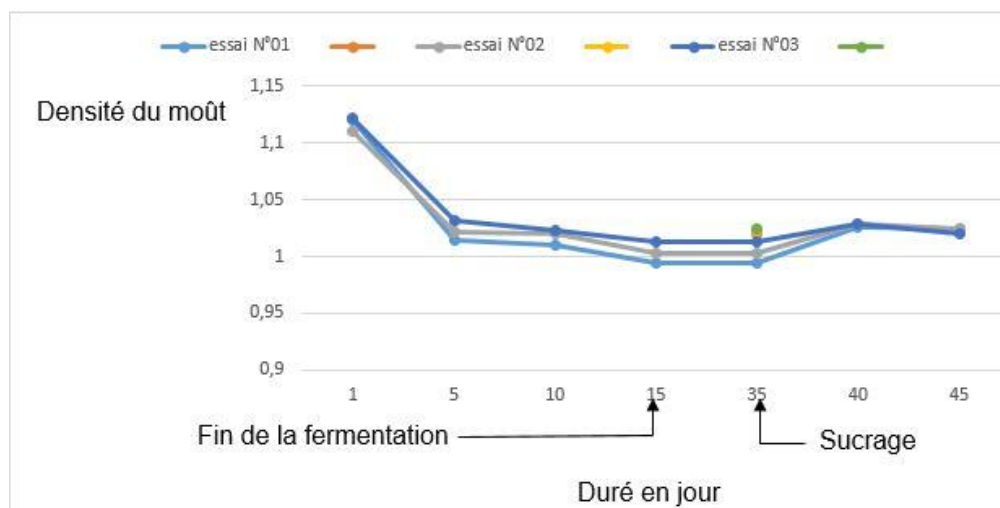


Figure 27: Courbes d'évolution des densités des différents essais

- ❖ Nous avons constaté que les deux courbes d'évolution des densités et celle du degré Brix sont semblables. Les densités diminuent quand les teneurs en sucre diminuent. Elles augmentent et se stabilisent après le deuxième sucrage.
- ❖ Vue l'allure de ces deux courbes, la fermentation a eu lieu dès le premier jour jusqu'au 15^{ème} jours. A ce jour-là, nous avons remarqué la densité du moût se situer entre 0.994 et 0.013, et d'après l'étude bibliographique, c'est la densité du vin. Donc la fermentation dure 15 jours, et le vin se clarifie lentement après avoir atteint la valeur de la densité constante. Après le 35^{ème} jours, la densité se stabilise, c'est-à-dire que la fermentation s'arrête. Ainsi la teneur en sucre résiduel reste constante, donc la fermentation alcoolique s'est arrêtée.

IV.2.2.3 Suivi de l'acidité du moût

Tableau 13: Evolution du pH pour chaque essai

Durée (jour)	Essai	N°01	N°02	N°03
1		3.8	3.8	3.8
5		3.5	3.3	3.5
10		3.2	3	3.2
15		3.2	3	3
35		3.6	3.5	3.6
40		3.7	3.5	3.8

45	3.8	3.6	4
----	-----	-----	---

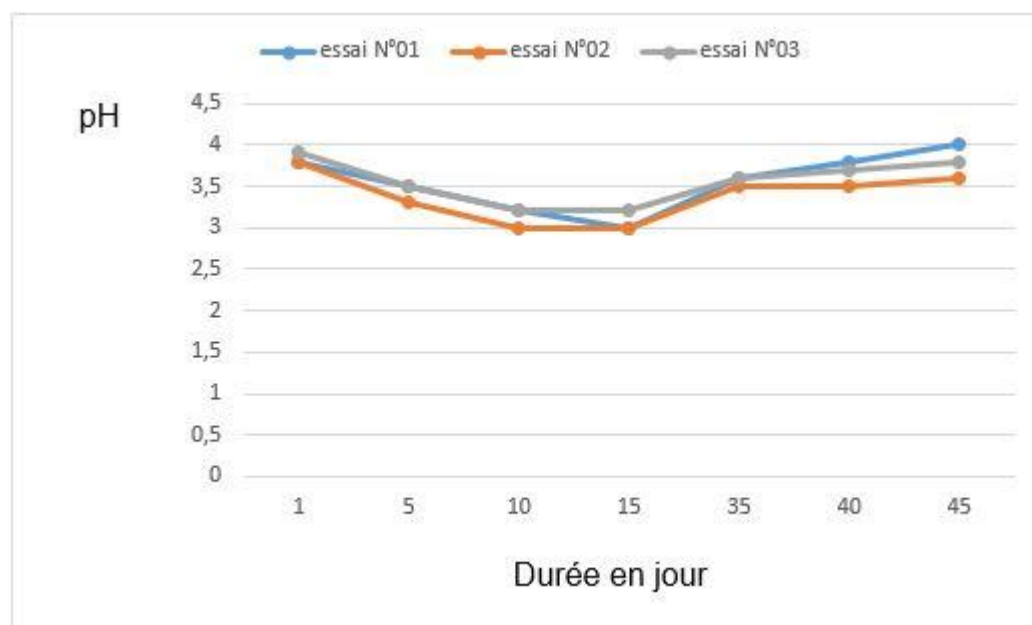


Figure 28: Courbes d'évolution du pH des différents essais

- ❖ Les mesures du pH ont été effectuées par un pH-mètre, elles sont toutes comprises entre 3 et 4.
- ❖ Les trois courbes ont toutes de mêmes allures, et aussi mêmes allures à la courbe de densité et celle de sucre. Elles décroissent jusqu'à 15 jours et deviennent stables après le sucrage au 35^{ème} jour.

IV.2.3 Les degrés alcooliques :

Après toutes ces procédures, le tableau ci-après nous montre les résultats des degrés alcooliques présents dans chaque essai :

Tableau 14: Degré alcoolique des vins de Pomme

	Essai N°01	Essai N°02	Essai N°03
Degré d'alcool	15	14	15

- ❖ Ces résultats sont tous obtenus après une lecture au vinomètre
- ❖ Le type de vin qui a un degré alcoolique supérieur à 14° c'est du vin de type apéritif.

IV.3 Les analyses organoleptiques :

Nous avons déjà fait une première simple analyse organoleptique sur la limpidité, la couleur, l'odeur et le goût du vin obtenu, juste après la fermentation ou le jour du décuvage, et une deuxième après la première décantation (21 jours après le décuvage). Ensuite après 3 mois cette deuxième analyse. Et la dernière analyse se fait deux semaines après la clarification.

Tableau 15: Résultats d'analyse organoleptique

	Après décuvage	Après décantation	Après 3 mois de décantation	Après clarification
Essai N°01	Amélioration	Amélioration -	Moyennement acceptable	Acceptable
Essai N°02	A Améliorer +	Amélioration (limpidité)	Amélioration	Amélioration -
Essai N°03	A Améliorer +	Amélioration (limpidité)	Amélioration	Amélioration -

❖ Après le décuvage, l'odeur de CO₂ contamine le goût du vin pour les trois essais, qui sont à la fois un peu effervescent et peu acides, des troubles persistent sur les essais N°02 et N°03 dû certainement à la présence des matières colloïdales qui polluent aussi la couleur du vin. Ils sont devenus très sombres, de couleur très marron tandis que sur l'essai N°01, la couleur est un peu claire proche de la couleur jaune par rapport à ces deux essais.

❖ Après la décantation, la limpidité de l'essai N°01 s'améliore tandis que les deux autres essais ne sont toujours pas limpides. La couleur de l'essai N°01 s'améliore évidemment. Or le goût de tous les essais n'est pas parfait pour le vin de pomme, on a constaté le goût de la fermentation mais pas le goût ou d'odeur de pomme et le gaz carbonique est toujours présent dans le vin.

❖ Après 3 mois de décantation, nous avons remarqué une amélioration pour chaque essai au niveau du goût et de l'odeur surtout la sensation de la présence de la pomme dans le vin. Et le gaz carbonique ne persiste pas grâce à l'aération pendant l'opération de soutirage. Mais le vin a encore besoin du temps pour perfectionner ses caractéristiques : le goût, l'arôme du fruit ou d'autres caractéristiques spécifiques contenant dans le fruit. L'essai N°01 devient de plus en plus limpide quand les deux autres essais ne donnent aucune nouvelle remarque sur leur clarification.

❖ Juste après une heure de l'application de gélatine feuille, nous avons bien aperçu la couleur limpide de chaque essai. Il y a des flocons qui séparent peu à peu vers le fond du récipient. Et après deux semaines de cette opération, visuellement, l'essai N°01 est limpide. Et nous avons aperçu le goût et l'odeur de la pomme. Tandis que les essais N°02 et N°03 ne sont pas présentables.

Après tous les suivis et évaluations : suivant les densités, la teneur en sucre résiduel, les taux d'alcool et les analyses préliminaires que nous avons effectuées, nous avons pris l'essai N°01 pour la suite de notre étude.

IV.4 Le rendement expérimental

Le rendement de transformation a été élaboré par des données obtenues à partir de pesages, effectuées à chaque étape du processus. En tenant compte de tous les intrants pour l'élaboration de ce vin, le rendement est calculé par la formule suivante :

$$\eta = \frac{m_f}{\sum m_i} * 100$$

Avec :

m_f : la masse du vin en bouteille

m_i : la masse des matières intrants

Tableau 16: Calcul du rendement de la fabrication du vin de pomme apéritif

Désignation	Masse incorporé (g)	Masse final du produit (g)
Pulpe	1980	3500
Eau	1980	
Métabisulfite de potassium	0.121	
Sucre	966	
Levure	9.2	
Total	4935	

Le rendement est : $\eta = \frac{3500}{4935} * 100 = 70.92\%$

$$\eta = 70.92\%$$

Le rendement de la transformation de la partie comestible de pomme en vin est de 70.92 %. Le volume du vin obtenu est de 3.23 L

Chapitre V. LA BIERE A LA POMME

L'objectif de cette partie est de faire des essais de la fabrication de bière aux fruits, plus précisément la bière à la pomme. De par son nom, l'amidon utilisé pendant la fabrication de cette bière ne provient pas de la pomme mais d'une autre source d'amidon. Nous avons pris l'orge comme source d'amidon pour chaque essai de l'expérience de fabrication de cette bière à la pomme.

VI.1 Extraction de la partie de pomme utilisée :

VI.1.1 Choix de la pomme utilisée :

Le triage se fait suivant l'odeur de la pomme, après le double red, la variété Mamy est la plus aromatique ensuite la golden delicious.

Comme dans la fabrication du vin, nous avons utilisé trois variétés de pomme pour un but d'avoir la combinaison des différents parfums de la pomme. De même, l'objectif de cette partie est d'obtenir une bière aromatisée à la pomme. Le sucre et l'acidité sont utilisés pendant l'opération de la fermentation.

Nous avons fait quatre essais de fabrication de cette bière dont les procédés d'extractions de la partie utilisée de pomme les différencient.

VI.1.2 Extraction de la partie de pomme utilisée proprement dite :

Parmi les quatre essais, les pommes utilisées pour les deux essais sont épluchées. Nous avons besoin de la partie la plus concentrée, donc le jus de pomme n'est pas parmi les parties utilisées.

Obtenir la purée de la pomme est l'objectif de l'extraction de l'essai 2 et celle de l'essai 4. Pour les essais 1 et 3, ils ont pour objectif d'avoir seulement la pomme découpée en morceau.

L'extraction de ces objectifs de chaque essai se résume dans le diagramme suivant :

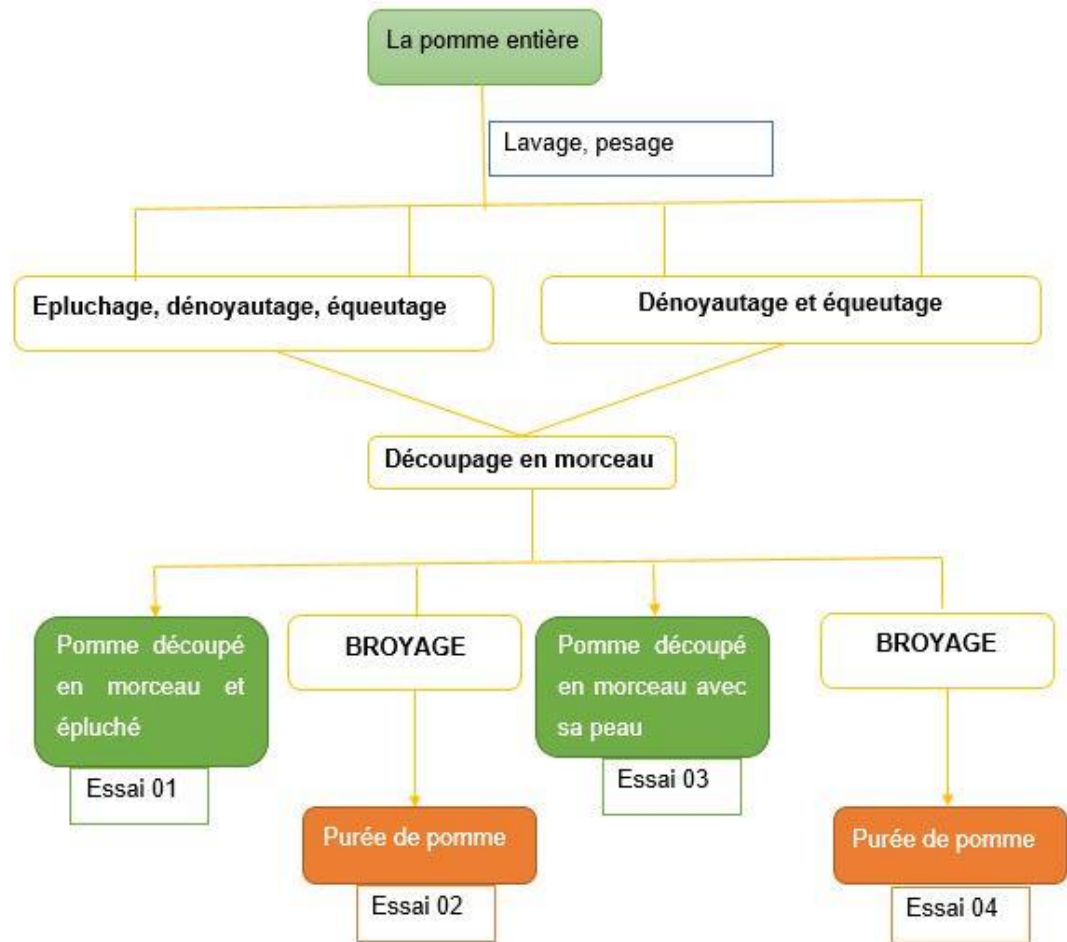


Figure 29: Diagramme de procédé d'extraction de la partie de pomme utilisée

Tout comme dans la fabrication de vin de pomme, les pommes doivent passer au prétraitement comme le lavage pour enlever les saletés, et pour ainsi dire inhiber la croissance des micro-organismes qui peuvent intervenir à la fermentation et nuire à la bière obtenue. Le pesage permet de calculer le rendement de la fabrication de cette bière ainsi que la composition en masse de la pomme.

L'objectif est d'avoir la purée de pomme et les pommes découpées en morceau.



Figure 31: Purée de la pomme

Cliché auteur



Figure 30: Pomme découpée en morceaux

Cliché auteur

VI.2 Le diagramme de fabrication de bière à la pomme :

Ce diagramme récapitule tous les procédés de fabrication de bière à la pomme :

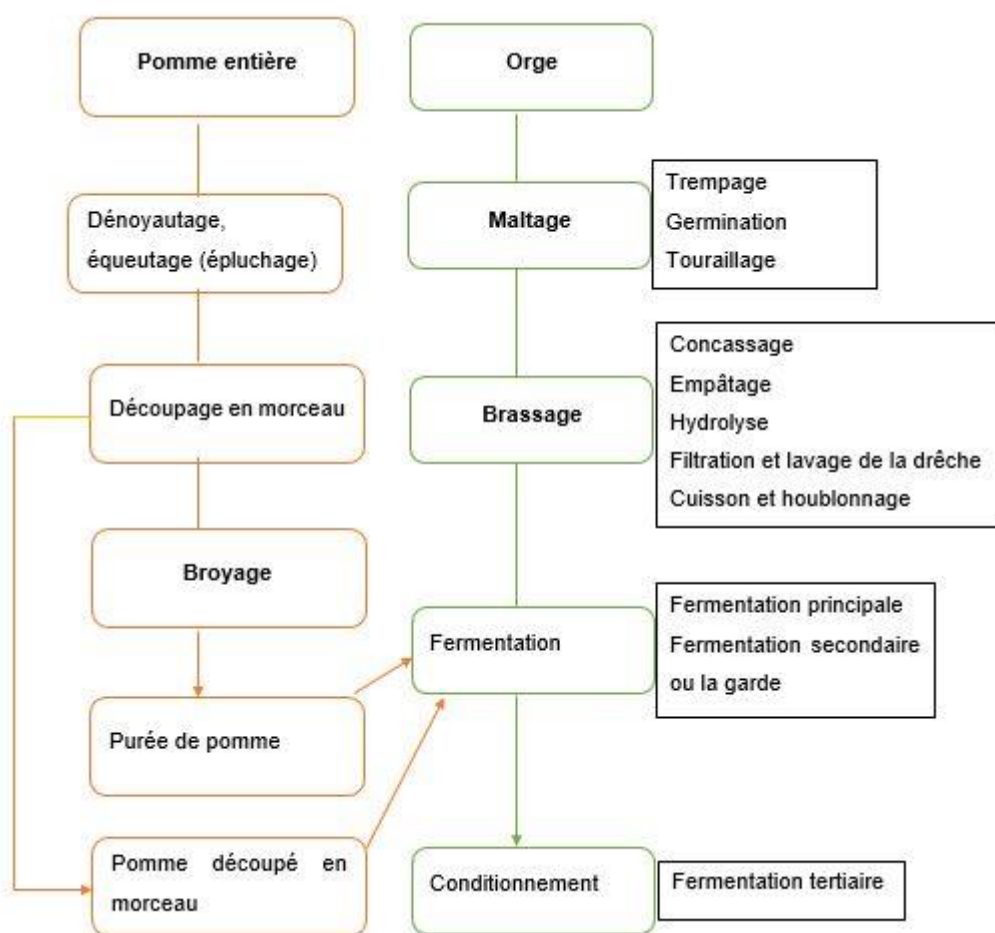


Figure 32: diagramme de procédé de fabrication de la bière au pomme

VI.2.1 Le maltage :

Dans notre fabrication de bière à la pomme, l'orge est la matière amylacée principale utilisée dans le maltage. C'est l'étape dans lequel l'orge doit germer pour libérer les éléments chimiques présents dans cette céréale, notamment les enzymes qui dégraderont l'amidon et les protéines durant le brassage.

Mais avant d'entamer au maltage proprement dite, il faut nettoyer l'orge pour éliminer tous contaminants (herbes, paille, cailloux etc.)

Après cette opération, la masse d'orge diminue de 0.6% de sa masse initiale.

VI.2.1.1 Trempage :

Les grains sont mis à tremper dans l'eau chaude pendant 24heures, et nous avons constaté le gonflement des grains et la diminution en volume d'eau de trempage.



Figure 33: malt trempé au 1^{er} jour

Cliché auteur

VI.2.1.2 La germination

A cause du manque de matériels, nous n'avons pas pu suivre ni les taux d'humidité de ces grains ni la température du milieu. Mais pendant les 24 heures qui suivent, il n'y a plus d'eau mais les grains sont tous gorgés d'eau.

Nous avons travaillé à température ambiante. Les grains d'orge humidifiés sont mis dans un lieu un peu chaud pour qu'ils se germent rapidement. Cependant, nous avons aéré ce lieu 2 fois pendant ces 24 heures pour éviter la détérioration de ces grains. Au bout de 3 jours de la trempe, les grains ont commencé à germer et il faut bien suivre leurs croissances pour que les germules n'atteignent leur longueur utile. Autrement dit, faut arrêter la germination d'orge au $\frac{3}{4}$ de sa longueur.



Figure 34: grains d'orge germés

Cliché auteur

VI.2.1.3 Le touraillage :

Le touraillage a pour objectif d'arrêter la germination par le séchage de l'orge germé.

Les grains d'orge germés sont mis dans un endroit chaud et sec. A cause du manque des matériels, nous avons séché ces grains à l'air libre pendant 5 jours pour que l'humidité soit réduite environ 10%. Nous avons mis les grains sur un film alimentaire pour éviter d'autres contaminants qui peut intervenir à la fermentation ou même nuire à

la qualité de la bière obtenue. Les radicules s'éliminent quand les grains d'orges sont séchés.

Après le touraillage, nous avons constaté une diminution de masse jusqu'à 21.87 % de sa masse initiale. D'où le rendement de transformation de l'orge en malt pour cette fabrication de bière à la pomme est en moyenne de 77.53%.

VI.2.2 Le brassage :

C'est l'étape de la fabrication de la bière proprement dite. Il a pour but d'obtenir le moût idéal à la production de notre bière. D'après le diagramme que nous avons établi, le brassage concerne les opérations suivantes : le concassage du malt, l'empâtage, l'hydrolyse enzymatique, la filtration et le lavage de la drêche, la cuisson et le houblonnage.

VI.2.2.1 Le concassage du malt :

D'après l'étude bibliographique, le concassage a pour but de faciliter l'extraction des enzymes et des sucres lors des étapes suivantes : la dissolution et l'hydrolyse, et ainsi de récupérer le maximum d'extrait.



Figure 35: malt concassé

Cliché auteur

VI.2.2.2 L'empâtage du malt

Avant l'hydrolyse, le malt concassé de forme solide doit devenir de forme liquide. Pendant l'empâtage, le malt se combine avec l'eau chaude pour avoir du mélange appelé « maische ». Cette étape consiste alors à humidifier le malt concassé pour faciliter le brassage proprement dit ou l'hydrolyse. L'eau chaude doit être maintenue à la température de 45 à 50°. Et le mélange doit brasser continuellement à cette température pendant 30 minutes.

La Ratio (R) d'eau (E) par masse de malt (kg) pour l'empâtage se situe généralement entre R= 2.5 à 4 L/Kg.

Dans ce cas, nous avons fixé le ratio, à $R = 4 \text{ L/Kg}$ pour tous les travaux effectués.

VI.2.2.3 Hydrolyse :

Les pallier de la température n'ont pas été connus avec un thermomètre du milieu mais par un réfractomètre. Quand la température augmente, la teneur en sucre l'est aussi car l'amidon est hydrolysés par les enzymes et devient des sucres fermentescibles qui ont des goûts plus sucrés que l'amidon.

Tableau 17: Les teneurs en sucre (°Brix) prélevées pour chaque essai pendant l'hydrolyse

Essai °Brix	Essai N°01	Essai N°02	Essai N°03	Essai N°04
1 ^{ère} prélèvement	15	15	15	15
2 ^{ème} prélèvement	18	21	21	20
3 ^{ème} prélèvement	20	24	23	22
4 ^{ème} prélèvement	24	25	25	24

Dès la première vue, le premier prélèvement est tous à 15 °Brix, c'est pendant l'empâtage durant 30minutes.

La deuxième se fait 30 minutes après ce premier. Au bout d'une demi-heure se fait le troisième prélèvement et après une dizaine de minutes se fait le dernier.

Les variations de ces teneurs sont dues certainement à la variation de la température. Les teneurs en sucre augmentent de manière croissante et au vingtaine de °Brix. C'est la teneur en sucre correspondant au °Brix des sucres des fermentescibles présents dans le moût après l'hydrolyse.

Nous avons stoppé au 4^{ème} prélèvement car nous avons prélevé 4 fois un échantillon après ce dernier prélèvement au bout de 3 minutes et la teneur en sucre n'augmente plus. Alors il faut arrêter l'hydrolyse pour ne pas détruire tous les enzymes.

Pendant l'opération d'hydrolyse, le mélange a été brassé continuellement car le but c'est d'homogénéiser le moût.

VI.2.2.4 Filtration et lavage de la drêche :

La filtration consiste à séparer le moût et la drêche. Nous avons utilisé une voile pour faire cette opération.

Le lavage de la drêche nous a permis de récupérer les sucres restant dans la drêche. Ensuite, il faut filtrer de nouveau ce mélange. L'eau de lavage doit être chaude à 80°C.

VI.2.2.5 Cuisson et houblonnage :

Le houblon assure les caractéristiques de la bière : le goût et l'arôme. Nous avons introduit le houblon à raison de 0.5g/L lorsque l'ébullition est atteinte. Puis, nous avons laissé bouillir le tout pendant une heure. Après, la marmite est plongée dans un bain-marie pour stopper l'ébullition et ainsi le refroidir le jusqu'à 20°C.

La première introduction de houblon se fait quand le moût est mis à l'ébullition et cela a pour but d'assurer l'amertume de la bière. La deuxième se fait quand le moût est refroidi à cette température qui assure l'odeur caractéristique de la bière.

Par calcul, l'amertume de la bière peut se déterminer en sachant la nature du houblon utilisé. (Voir annexe 5)

Après le houblonnage, nous avons mis en œuvre une autre étape de filtration pour filtrer les particules de houblon et les protéines floculées pendant l'ébullition.

VI.2.2.6 Les paramètres suivis pendant le brassage :

Tableau 18: teneur en sucre des essais expérimentaux

Essai Etape	Essai N°01	Essai N°02	Essai N°03	Essai N°04
Après hydrolyse	24	25	25	24
Après lavage de la drêche	20	21	20	17
Après houblonnage	18	19	17	15
°Brix du drêche	9	9	9	8

La dissolution du avec l'eau de lavage de la drêche entraine une diminution de la teneur en sucre dans les moûts.

Tableau 19: densité des essais expérimentaux pendant le brassage

Densité	d ₁	d ₂	d ₃	d ₄
Etape				
Avant lavage du drêche	1.090	1.095	1.095	1.080
Après lavage du drêche	1.056	1.057	1.053	1.065
Après houblonnage	1.063	1.064	1.059	1.063

La densité de chaque essai expérimental est à chaque fois supérieure à 1.050

VI.2.2.7 L'ajout de la partie de pomme utilisé

La partie à introduire dans le moût se divise en deux formes, l'une c'est sous forme de purée, l'autre est seulement découpée en morceau.

Nous avons remarqué que la teneur en sucre de ces ingrédients est 12 °Brix.

Pour l'essai N°01 : les chairs de pomme découpées en morceaux ont été ajoutées.

L'essai N°02 : nous avons ajouté la purée de pomme (épluchée)

L'essai N°03 : les pommes dénoyautées, équeutées et découpées en morceaux ont été ajoutées.

L'essai N°04 : la purée de pomme (non épluchée)

Ce choix d'ajout a pour but de ne pas détruire les valeurs nutritives contenues dans la pomme.

Après l'ajout de ces ingrédients, les moûts augmentent de volume mais les °Brix ont diminués.

Tableau 20: Teneur en sucre de chaque moût avant fermentation

Essai (°Brix et V)	Essai N°01	Essai N°02	Essai N°03	Essai N°04
°Brix final	17	13	15	11

VI.2.3 La fermentation :

VI.2.3.1 La fermentation principale :

Nous avons procédé à la fermentation haute, c'est-à-dire à température ambiante car d'après l'étude bibliographique, les bières obtenues de ce type de fermentation sont en général plus alcoolisées et avec des arômes plus complexes que les bières à basse fermentation. Et notre objectif est d'avoir obtenir de la bière aromatisée de pomme.

Le moût issu de l'étape de brassage a été fermenté dans des bocaux en verre de 4L, à température ambiante. Le fermenteur est équipé d'une sortie de CO₂, de vanne prélèvement.

Il faut ajouter des levures comme dans toute fermentation alcoolique, les levures sont toujours indispensables. Tout comme dans la fabrication du vin de pomme, il faut réhydrater la levure pour obtenir une culture vivante et très active avant son introduction dans le moût.

Tableau 21: Composition initiale de moût

Essai Paramètre	Essai N°01	Essai N°02	Essai N°03	Essai N°04
Volume du moût(L)	3.8	3.64	4	4
°Brix	17	13	15	11
pH	[5 ; 6]	[5 ; 6]	[5 ;6]	[5 ; 6]
Levure (g)	1.9	1.82	2	2
Densité	1.063	1.064	1.059	1.063
Alcool potentiel (%vol)	8.5	8.75	8	8.5
°Baumé	9	8.75	8	9

Nous avons remarqué que les teneurs en sucre diminuent lors de l'ajout des fruits au moût, celle de l'essai N°02 et N°04 sont les plus basses. La diminution est due certainement ainsi à l'ajout de l'eau au mouillage pendant le broyage de ces fruits, car l'opération est assez compliquée sur l'échelle laboratoire même si les fruits sont découpés en morceaux.

Nous avons utilisé un mustimètre à triple échelle (densité, teneur en alcool (%vol) et degré Baumé)

Le pH ou taux d'acidité contenu dans le moût est mesuré par le pH-mètre.

Les teneurs en alcool potentiel signifient la teneur en alcool potentiel produite si tout le sucre contenu dans le moût est fermenté.

VI.2.3.1.1 Suivi de la fermentation :

Nous n'avons pas fait de prélèvement durant la fermentation. Mais après 5 jours du début de la fermentation, nous avons remarqué l'arrêt de dégagement du CO₂ et il n'y a plus de mousse à la surface des fermenteurs.

Le tableau suivant montre les résultats de la prise des paramètres issus de chaque essai :

Tableau 22: résultats des paramètres prélevés de chaque essai expérimental

Essai	Essai N°01	Essai N°02	Essai N°03	Essai N°04
Paramètre				
Degré Alcoolique	9	5	6	5
pH	4.7	4.6	4.5	4.6
Densité	1.020	1.011	1.012	1.012
°Brix	7	6	5	6

Après avoir connu ces différents paramètres, nous avons remarqué aussi que la bière a rencontré le même problème que le vin. Les essais N°01 et N°03 sont plus troubles.

Vue le degré alcoolique de l'essai N°01, il est un peu élevé par rapport aux autres. Or le degré alcoolique de bière selon les classifications de bière à l'étude bibliographique ne dépasse pas 8 degré d'alcool. Contrairement, sa teneur en sucre est convenable à la bière aux fruits.

Dans ce cas, les essais N°02, N°03 et N°04 sont passés à la fermentation secondaire ou la garde.

VI.2.3.2 La fermentation secondaire ou la garde:

Pour gazéifier la bière, il faut rajouter des levures et des sucres pour une deuxième fermentation à raison de :

0.2 à 1 g/L pour la levure et 24g/L pour le sucre.

Après cette opération, quelques paramètres sont modifiés, mais ce qui nous intéresse ce sont les teneurs en sucre, les densités et les degrés alcooliques des bières.

Tableau 23: La teneur en sucre et les degrés alcooliques et densité contenu dans la bière à la pomme

Essai paramètre	Essai N°02	Essai N°03	Essai N°04
°Brix	8	6	6.5
Degré alcoolique	6	6	6
Densité	1.001	1.001	1.001

Les trois essais ont de même degré alcoolique. Cependant, ils diffèrent sur le taux de sucre résiduel. Nous avons pris l'essai N°02 car notre objectif est d'avoir de la bière à goût spécifique. La différence n'est pas encore très remarquable. Nous avons pris l'essai N°02 pour la suite de notre étude.

La diminution au niveau de la densité nous a permis de connaître qu'une fermentation a eu lieu.

Nous avons laissé le produit dans un réfrigérateur environ 6 à 10°C pendant une semaine. Mais avant d'effectuer cette étape, les moûts devaient subir un dernier soutirage pour débarrasser les levures mortes.

Durant la garde, nous avons observé une décantation de différentes particules : telles que des levures mortes, protéines coagulées... Il y a eu aussi un changement de la bière jeune, issue de la fermentation principale, en jaune pâle.

Après une semaine au frais, le tableau ci-dessous présente les caractéristiques de la bière à la pomme.

Tableau 24: Caractère organoleptiques de l'essai N°02

Caractère organoleptique	Essai N°02
Limpidité	Trouble
Couleur	Jaune pâle
Odeur	Caractéristique de la bière et odeur de pomme
Saveur	Caractéristique de la bière et saveur de pomme

VI.3 Le rendement de la fabrication de bière à la pomme

En tenant compte de tous les intrants pour l'élaboration de cette bière, le rendement est calculé par la formule suivante :

$$\eta = \frac{mf}{\sum mi} * 100$$

Avec :

- m_f : la masse finale de bière à la pomme

- m_i : la masse des matières intrants

Tableau 25: les masses intrants et la masse final du produit

Désignation	Masse incorporé (g)	Masse final du produit (g)
Chair du pomme	250	2730
Malt concassé	535	
Eau pour le lavage	1000	
Eau pour l'empâtage	2140	
Eau pour le lavage de la drêche	785	
Eau pour le trempage	2000	
Eau pour le broyage	200	
Houblon	1.82	
Levure	1.82	
Sucre	87.36	

$$\eta = \frac{2730}{6999.18} * 100$$

$$\eta = 39.004\%$$

Le rendement de la transformation de bière à la pomme est 39%.

Le rendement de la transformation de l'orge en malt est 77.53 %.

Chapitre VI. EVALUATION ECONOMIQUE

Notre étude se limite juste à une évaluation économique des dépenses et non à l'étude de marché de ce produit.

Ainsi que cet œuvre mérite mieux d'une étude beaucoup plus approfondie pour améliorer la qualité du vin et de bière à la pomme et pour obtenir le certificat de consommabilité.

VI.1 Evaluation du coût du vin de pomme

VI.1.1 Matière première et intrants

Tableau 26: Evaluation des matières premières et intrants

Désignation	Quantité	Quantité utilisé	Prix unitaire	Prix (Ar)
Fruit	2.5 kg	1 988 g	700 Ar	1 750
Sucre		966 g	2 800 Ar/Kg	2 704.8
Levure		9.2 g	10 000 Ar/kg	82.8
Gélatine feuille		0.646	500ar/10g	32.3
TOTAL				4 600

VI.1.2 Matériels et équipements nécessaires

Tableau 27: Coût des matériels et équipements nécessaires

Désignation	Utilisation	Nombre	Prix unitaire (Ar)	Prix (Ar)
Bocal	Fermenteur	2	12 000	24 000
Bouteille de vin	Traitement et stockage	4	400	1600
Bouchons	Traitement et stockage	8	600	4800
« lamba sogu »	Filtration	0.5	4 500/m	2 250
Passoire	Filtration	1	1 500	1 500
Filtre à café	Filtration	2	400	800
TOTAL				34 950

VI.1.3 Eau et Electricité

Tableau 28: Evaluation de l'eau et électricité requises

Désignation	Quantité utilisé	Prix Unitaire	Prix (Ar)
Eau de lavage	5L	360ar/m ³	1.8
Eau pour le broyage	1.5L		0.54
Energie pour le broyage	0.5KWh	130ar/KWh	65
TOTAL			67.34

VI.1.4 Prix du litre du vin de Pomme

Nous avons obtenu 3.23L de vin avec un rendement de 70.92% à partir des matières premières. Le prix du litre de vin est donné par le tableau suivant :

Tableau 29: Evaluation du prix du litre de vin de pomme

Désignation	Matière première et intrants	Matériels et équipements nécessaire	Eau et électricité	Total	Prix du Litre
Vin	4 600	34 950	67.34	41617.34	12300

VI.2 Evaluation du coût de la fabrication de bière à la pomme

VI.2.1 Matière première et intrants

Tableau 30: Evaluation des matières premières et intrants

Désignation	Quantité	Quantité utilisé (g)	Prix unitaire(Ar/Kg)	Prix (Ar)
Pomme entière	750g	250	700	525
Levure		1.82	10 000	18.2
Orge	2 kg	535	2700	5400
Houblon		1.82	42000	76.44
Sucre		87.36	2800	244.608
TOTAL				6264.248

VI.2.2 Matériels et équipements nécessaires

Tableau 31: Coût des matériels et équipements nécessaires

Désignation	Utilisation	Nombre	Prix unitaire (Ar)	Prix (Ar)
Bocal	Fermenteur	1	12 000	12 000
Bouteille en verre	Traitements	4	400	1 600
	Stockage	4	1 000	4 000
TOTAL				17600

VI.2.3 Eau et Electricité

Tableau 32: Evaluation de l'eau et d'électricité requises

Désignation	Quantité utilisé	Prix Unitaire	Prix (Ar)
Eau de lavage (fruit + drêche)	1.785L	360ar/m ³	0.6426
Eau pour l'empâtage	2.140L		0.7704
Eau pour le broyage	0.2L		0.072
Eau pour le trempage	2L		0.72
Energie pour le broyage	0.5KWh	130ar/KWh	65
TOTAL			67.205

VI.2.4 Prix du litre de bière à la pomme

Nous avons obtenu 2.73 L de bière avec un rendement de 39%. Le prix du Litre est donné par tableau suivant :

Tableau 33: Evaluation du prix du litre de bière au pomme

Désignation	Matière première et intrants	Matériels et équipements nécessaire	Eau et électricité	Total	Prix du Litre
Bière	6264.248	17600	67.205	23 931.453	8800

Chapitre VII. APPROCHE ENVIRONNEMENTALE

Dans cette partie, nous visons sur l'étude des éventuelles atteintes à l'environnement de notre projet ainsi que les mesures d'atténuation.

VII.1. Analyse des impacts :

Notre analyse se focalise sur les impacts sur le milieu naturel et humain. Les impacts sur le milieu humain regroupent généralement l'aspect social et économique tandis que ceux du milieu naturel sont sur la faune, la flore, l'écosystème et l'atmosphère.

Ces impacts sont présentés dans les tableaux suivants :

Tableau 34: Impacts identifiés sur le milieu humain

	Impacts identifiés	Evaluation
Social	Augmentation des bénéfices de producteurs	Moyenne
	Mise en place d'une zone de collecte	Moyenne
	Diminution de l'insécurité sociale	Faible
	Augmentation du niveau de vie de la population	Moyenne
	Valorisation du surplus de production dans le marché et aussi à la récolte	Moyenne
Economie	Création d'emploi	Moyenne
	Augmentation des revenu de la population	Moyenne
	Augmentation des valeurs ajoutées de la filière fruit	Moyenne
	Développement de l'économie local	Moyenne

Tableau 35: Impacts identifiés sur le milieu naturel

Impacts identifiés	Evaluation
Amélioration des variétés de pomme en vue d'une meilleure qualité et de rendement	Moyenne
Pollution du sol	Faible
Pollution de nappes phréatiques	Faible
Pollution de l'air atmosphérique	Faible

VII.2. Mesures d'atténuation des impacts :

La minimisation des impacts négatifs sur l'environnement devrait être prise en compte. C'est la bonne gestion des déchets qui peuvent atténuer les impacts sur les deux milieux (naturel et humain).

VII.3. Analyses des risques et des dangers :

Comme toutes les unités de production, des éventuels accidents technologiques et des dangers relatifs aux ouvriers ainsi que le milieu environnant et l'environnement peuvent se passer comme suit :

- * Court-circuit au niveau des branchements électriques causés par une surtension des appareils électriques.

- ✱ Blessure ou autre fait des ouvriers due à une fausse manipulation : tels des matières toxiques (SO₂), des équipements tranchants
- ✱ Contamination des produits finis à cause d'une manipulation maltraitée ou l'hygiène des matériels ainsi les personnels.

Le tableau ci-dessous représente les mesures d'atténuation pour minimiser les risques et les dangers dans notre unité :

Tableau 36: les mesures d'atténuation des risques et des dangers

Les risques et les dangers	Mesures prises
• Court-circuit	<ul style="list-style-type: none"> • Révision périodique des installations électriques • Protection des branchements électrique • Utilisation des stabilisateurs
❖ Blessure due à une fausse manipulation	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Port des équipements de protection individuel ❖ Vérification des équipements tranchants ou qui peuvent provoquer des dangers aux personnels
✓ Contamination des produits finis	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Stérilisation des matériels utilisés ✓ Vérification de l'assurance de propreté et l'hygiène de lieu de production. ✓ Port des équipements : gants latex, blouse, botte de travail, charlotte, cache bouche pour les producteurs.

VII.4. Gestion des déchets :

Une bonne politique de gestion de déchets devrait être prise en compte afin d'éviter les pollutions de l'environnement.

VII.4.1. Déchets solides organiques :

Les marcs du vin et de la bière, ainsi la drêche lors de la filtration du maische, les lies lors de la décantation du vin ; ce sont les déchets organiques issues de notre production. Il y a beaucoup de valorisations possibles pour ces déchets. A part la drêche qui est utilisée comme des aliments des animaux, nous avons fait un essai expérimental pour la fabrication de vinaigre issue du marc du vin en y ajoutant du sucre et de la levure. Nous avons mis ce mélange dans un récipient aérobie sous une voile pour empêcher les infectants comme les moustiques ou autres, car l'odeur de ce vinaigre attire beaucoup leur attention. Au bout de 2 mois, nous avons obtenu du vinaigre avec 4° d'alcool, de pH= 4.2 et de volume 4.6L.

Nous envisagerons à valoriser en compost le marc de la bière, et les lies en alcool par l'opération de la distillation.

VII.4.2. Déchets plastiques :

Il y a un triage des déchets avant de les expédier dans les poubelles, donc ils sont séparés des autres déchets.

VII.4.3. Gestion des eaux usées :

Les eaux usées issue de notre production sont : les eaux de lavage des fruits, elles sont utilisées pour l'arrosage des fleurs. En effet, il y a un système des grilles instauré pour éviter le bouchage des canaux avant le déversement des eaux usées dans les réseaux urbains.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Au terme de cette étude, nous avons les compositions nutritives, l'utilisation locale et la production de pomme qui nous ont donné l'idée de conserver ce fruit par sa valorisation en vin et en bière aromatisée. Cela peut éviter une perte économique en évitant la détérioration de ces fruits.

Les différents types de procédé optés à ces valorisations dépendent des formes des fruits utilisés, tels : le broya ou la purée de pomme (épluché ou avec écorce), la pomme découpée en morceau (épluchée ou avec écorce) et le jus de pomme non épluchée dont celles qui sont avec l'écorce sont pour la fabrication du vin. Mis à part le jus de pomme, ils sont tous utilisés pour celui de la bière.

Grâce à l'action de la gélatine feuille, nous avons passé la difficulté sur la clarification du vin de pomme due à la présence de la pectine dans ce fruit. Après une teste organoleptique et plusieurs vérifications des paramètres en faisant par les suivis, le vin obtenu est clair avec un taux d'alcool et de teneur en sucre résiduel élevé. Le rendement de cette transformation est de 70,92%. Tant que la bière à la pomme n'a pas besoin la limpidité claire, les trois essais expérimentaux sont réussis. Elles ont des goûts et de saveur d'une bière aromatisée de pomme, avec un taux d'alcool 5°GL et de teneurs en sucre résiduel compris entre 6 à 8°Brix.

Le temps ne nous a pas permis d'étendre cette expérience. Le travail mériterait d'être poursuivi afin d'améliorer tant la production que les différentes analyses. Ainsi, pour améliorer l'odeur et la saveur du fruit dans la bière, nous envisagerons de faire d'autres essais expérimentaux en introduisant les fruits pendant l'empâtage et faisant chauffer le jus pour le vin afin d'enlever la pectine.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] **RAKOTOVAO ANDRIANIRINA Michel**, « Valorisation de pomme en marmelade » mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome, ESSA
- [2] **Diary Jordy Andrianarinavalona**, « La pomme à Madagascar » le 04 février 2019
- [3] **CE2- CM1**, «Un fruit pour la récré », exposé : préparé par les CE2- CM1 de l'école élémentaire de Dam Villers les 27 et 28 février 2014
- [4] **Jean Louis BARJOL**, Elément d'information pour une étude de la relance de la « pomiculture » dans le Vakinankaratra, Mada-document, avril 85, 19p
- [5] Le pommier –Pomme-Mada.pdf
- [6] **FAMATANANTSOANILAINA Hery**, « Essai de fabrication de vinaigre de cidre et valorisation de marc de pommes », mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur en Génie Chimique. 13 mars 2009, 2007-2008
- [7] **Edm. François**, « La production des fruits à Madagascar », revue de Botanique Appliquée et d'Agriculture traditionnelle, revue mensuelle, organe de documentation scientifique pour l'agriculture en France et aux Colonies, bulletin N°75, pp. 713-724
- [8] **Rado Andriamampandry**, « FILIERE POMME : les jus artisanaux de Vakinankaratra séduisent de plus en plus », par La Dépêche de Madagascar publié le 31/10/18
- [9] **Alain Gyre**, « La filière pomme en difficulté ». Publié le 26/01/14, Vakinankaratra
- [10] **BIDAULT B. ; GATTEGNO- 1984-** « le point sur la transformation des fruits tropicaux », ALTERSIAL/GRET, SIARC, Montpellier
- [11] **ANDRIAMAHANDRY Solohery Siméon**, « Contribution à la valorisation des bananes : fabrication de vin de banane, mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur en Génie Chimique ». Promotion 2006, soutenue le 11 août 2007
- [12] œnologie.pdf consulté le 23/01/2021
- [13] Microsoft Encarta 2008
- [14] « Le vin- un mot d'histoire », p11. PDF, 18pages , sur Numilog.com
- [15] **J. Béguin, M. Coarer, M-C. Colosio, P. Cottureau, V. Gerbaux, E. Heguiaphal, P. Poupault, E. Vinsonneau**, « Levures et bactéries en œnologie, Valorisation des biodiversités », INSTITUT FRANÇAIS DE LA VIGNE ET DU VIN, IFV, Itinéraires N°30
- [16] **M. Mathieu Ricard**, « Atlas de biologie », Milan, 1970, 566 p, pages 299
- [17] **Pascal-Antoine Christin-Olivier Junod** « Comment transformer du raisin en vin » dossier-La chimie du vin, publié le 07/01/2021

- [18] **AUBL E.** « Les fermentation », Collection QST N°524, Presse Universitaire de France, Paris, 1960
- [19] **BOUB P. et LEVEAU J.** « Les levures, technique d'analyse et de contrôle dans les I.A.A », Tome 3, Technique et Documentation, Paris, 1980
- [20] **oeno tourisme**, « Comment est fait le vin blanc : les étapes de la vinification : de la vigne à la bouteille : les principales étapes de la vinification du vin blanc », 21 mai 2019
- [21] **RANDRIAMANGA ANDONIRINA Cathérine Jane Rica** « Contribution à la valorisation des fruits du Spondias Cytherea Sonn. (Sakomanga) » Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur en Génie Chimique, ESPA, promotion 2012
- [22] **E. BREMOND** « Technique moderne de vinification Paris », 1957
- [23] **J. RIBEREAU-GAYON et E. PEYNAUD** « Traité d'œnologie : maturation du raisin, fermentation alcoolique, vinification », Tome I, DUNOD, Paris, 1960
- [24] **TSELANY Tsirombahy Emmanuel Herihasina**, « Contribution à la valorisation de la papaye en vin et en extrait aromatique », Mémoire de fin d'Etude en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur en génie chimique, 2010, 74 pages
- [25] **Pascal-Antoine Christin-Olivier Junod** « Composition du vin » dossier- La chimie du vin, publié le 07/01/2021 classé sous : CHIMIE, RAISIN, VIGNE
- [26] Fabrication de vins de fruits, maison du parc naturel.pdf
- [27] **J. RIBEREAU-GAYON et E. PEYNAUD**, « Traité d'œnologie, maturation du raisin, fermentation alcoolique, vinification », Tome II, DUNOD, Paris, 1966
- [28] **DE BROUWER, Marc.** « Traité de vinification : vins de fruits, raisin, cidre, hydromel ». CEP vdqa Éditeur, 1990
- [29] **W. SEIFERT** « La chimie du cidre et du vin Mayence », 1938
- [30] **Max Nelson, The Barbarian's Beverage: "A History of Beer in Ancient Europe"**, 2005, p.1
- [31] **Maël CHEBLI**, « La bière : Production, Consommation et Santé Publique », thèse présentée à la Faculté de Pharmacie de Montpellier en vue d'obtenir le Diplôme d'ETAT de Docteur en Pharmacie, 8 décembre 2016
- [32] **Claude Bourgeois**, « La Bière et la brasserie », PUF, 1998, ISBN 2130489117
Mario D'Eer, « Atlas mondial de la bière », Trécarré, 2005, ISBN 2895682739
- [33] **Association Suisse des Brasseries ASB** : « La bière de la brasserie au verre », décembre 2017

- [34] **Bamforth**; (2003); C.W. « Beers – Chemistry of Brewing ». Encyclopedia of Food Sciences & Nutrition 440-447
- [35] **LEITAO Céline** ; (2011) ; « Etude de composés à intérêts technologique et fonctionnel dans la bière » ; Thèse pour l'obtention du grade de Docteur en Chimie Analytique, Université de Strasbourg ; 154 p
- [36] **RAZAFINDRAINIBE T. F.** ; (2012) ; « Evaluation de l'efficacité d'une démarche qualité et étude préalable pour la mise en place d'un système de la qualité sur une ligne de fabrication de bière : Cas de la bière SKOL de la Nouvelle Brasserie de Madagascar » ; Mémoire de fin d'étude pour l'obtention d'un diplôme d'Ingénieur Agronome ; Département IAA ; Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques ; 106 p
- [37] **RANDRIAMANGA ANDONIRINA Cathérine Jane Rica**, « Contribution à la valorisation du manioc : essais de fabrication de bière au manioc », 98pages, éditions universitaires européennes
- [38] **IFBM., 2007.** « Formation sur les technologies de la brasserie : la biochimie de malt, La fermentation en brasserie, Le brassage, La garde et la maturation, HACCP en Brasserie, Analyse sensorielle de la bière, Stabilité biologique de la bière, Différents types de bière ». IFBM et Qualtech
- [39] **RARIVO RASOAMAMPIANINA A.** ; (2012) ; « Etude des paramètres liés à la croissance de la levure de bière durant la propagation et la fermentation » ; Mémoire de fin d'étude pour l'obtention d'un diplôme d'ingénieur Agronome ; Département IAA ; Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques ; 136p
- [40] **ANDRIANARISON R. N. J.** ; (2013) ; « Contribution à la mise en place du système HACCP et efficacité à long terme dans une unité de brasserie : cas de la société nouvelle brasserie de Madagascar » ; Mémoire de fin d'étude pour l'obtention d'un diplôme d'Ingénieur Agronome ; Département IAA ; Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques ; 168p
- [41] **ALAIN L. ; GABRIEL R., CHEMSEDDINE C.** ; (2004) ; « Biochimie de la bière ; Travaux pratiques » ; Lycée François-Villon ; 83p
- [42] **Philippe Wouters**, La Voix de l'Est, « les fruits et la bière », 13 mai 2017

REFERENCES WEBOGRAPHIQUES

- [W1] Tropicos.org. Missouri Botanical Garden., consulté le 06 Février 2021
- [W2] <https://fr.m.wikipedia.org/wiki/pomme> consulté le 06 février 2021
- [W3] <https://www.lesfruitsetlegumesfrais.com/fruits-legumes/fruits-a-pepins/pomme/carte-identite> consulté le 06 février 2021
- [W4] <https://www.lesfruitsetlegumesfrais.com/fruits-legumes/fruits-a-pepins/pomme/carte-identite> consulté le 06 février 2021
- [W5] <https://www.passeportsante.net/fr/Nutrition/encyclopedieAliments/Fiche.aspx?doc=pomme-nu> consulté le 17 février 2021
- [W6] ofranquine.free.fr/vinification/PRINCIPE%20DE%20VINIF.1.htm consulté le 17 février 2021
- [W7] Les différentes sortes de vin rouge- tout savoir sur le vin rouge sur <https://oeforgood.com/pages/plan-couleurs-vins-vin-rouge> consulté le 17 février 2021
- [W8] <https://www.rolling-beers.fr> consulté le 20 mars 2021
- [W9] www.malteurop.com/notre-metier/malts/du-malt-a-la-biere. Consulté le 20 mars 2021
- [W10] <https://www.marque-alcool.com/marques-biere-aromatisee/> consulté le 20 mars 2021
- [W11] https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Bière_fruitée consulté le 22 mars 2021
- [W12] <https://www.happybeertime.com/blog/2017/04/20/brasser-biere-fruits-faire/> consulté le 22 mars 2021

ANNEXES

Annexe 1 :

✚ Les matériels utilisés pendant la réalisation de cette étude :



Figure 37: réfractomètre



Figure 36: pH-mètre



Figure 38: Vinomètre



Figure 39: éprouvette gradué (250mL)



Figure 41: Mustimètre



Figure 40: balance de précision
(0.001mg)

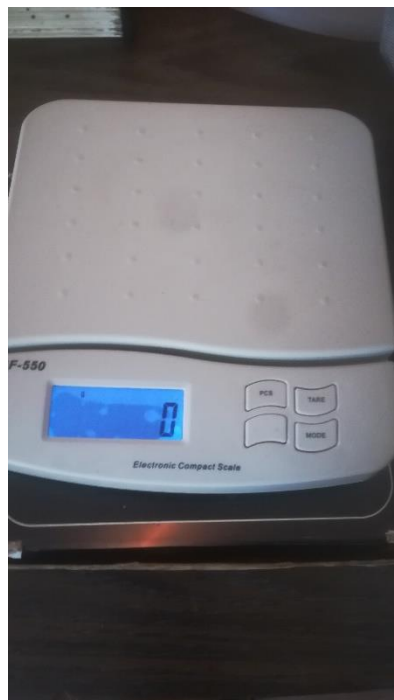


Figure 42: balance de précision de 1 à 1000g

Annexe 2 :

Détermination de la teneur en matière sèche soluble :

La matière sèche soluble ou résidu sec soluble est la concentration en saccharose d'une solution aqueuse. Cette concentration est exprimée en masse ou en degré Brix. 1°Brix correspond à une concentration en sucres de 1 g pour 100 g de solution.

Appareillage

La mesure du °Brix se fait à l'aide d'un réfractomètre (figure 30 sur l'annexe 1).

Mode opératoire

- Homogénéiser l'échantillon pour l'essai ;
- Appliquer une petite prise essai sur le prisme du réfractomètre et effectuer la mesure conformément aux instructions opératoires de l'appareil utilisé ;
- Procéder à trois lectures.

Annexe 3

Détermination du degré alcoolique

(Méthode physique : par capillarité)

Principe

L'appareil utilisé est le vinomètre. C'est un tube capillaire en verre équipé d'un entonnoir. Le tube est gradué de 0 à 15 ° d'alcool en volume. Il mesure directement le taux d'alcool contenu dans le vin. Ce petit appareil étant étalonné à 20 °C, donc les mesures se feront à cette température. (Figure 31, annexe 1)

Mode opératoire

- Remplir l'entonnoir avec un peu de vin ;
- Laisser couler quelques gouttes et placez un doigt en dessous du tube afin d'arrêter les gouttes ;
- Tourner le vinomètre sur sa tête et retirer ensuite le doigt ;
- Le poser sur une surface sèche ;
- Du sommet du tube, le liquide descend et se stabilise après 2 à 3 min au niveau d'une graduation correspondante au pourcentage d'alcool.

Pour les vins doux et les vins forts, il est nécessaire de le diluer préalablement (10mL de vin avec 10mL d'eau). Le résultat sera multiplié par 2.

Annexe 4

Clarification du vin par la gélatine feuille :

- ✓ Un agent collant qui clarifie le cidre en engendrant une floculation qui élimine Les colloïdes peu stables
- ✓ Elle permet de stabiliser l'acidité, l'astringence et l'amertume du breuvage

Mode opératoire :

La gélatine est utilisée à raison de

2g —————> 10 Litre de moût

- Prélever et chauffer un échantillon de cidre
- Diluer dans +/-300ml de cidre pour une tourie de 34 Litres
- Laisser +/- 20 minutes le mélange (temps nécessaire pour le gonflement de la gélatine)
- Verser le mélange cidre-gélatine dans la tourie
- Homogénéiser le contenu

En quelques minutes, des flocons apparaissent et sédimenteront en quelques heures

Un ou 2 jours plus tard, le cidre clarifié sera soutiré.

Annexe 5 :

Calcul d'amertume IBU (International Bitterness Unit) des bières

Le mode de calcul se fait par cette formule :

$$IBU = \frac{X * \%utilisation * AA\% * 1000}{V * Corr G}$$

Avec :

- X = quantité en grammes de houblon
- AA% = pourcentage d'acide alpha (format ex : 10% AA=0.10)

Ici la caractéristique de houblon est à 10% d'acide alpha.

- V = quantité de moût en litre
- Corr G = facteur de correction du moût

Corr G = 1 si la densité du moût après ébullition est inférieure à 1.050

Si elle est supérieure à ce chiffre, appliquer la formule suivante :

$$Corr G = 1 + ((Densité après cuisson - 1.050) / 0.2)$$

- %utilisation = 0.3 (valeur correspondant à l'utilisation de houblon en pellet avec une durée de cuisson pendant une heure)

Plus la valeur IBU augmente plus l'amertume est importante.

TABLE DES MATIERES

Table des matières

REMERCIEMENT :.....	i
SOMMAIRE	iii
GLOSSAIRE	iv
LISTE DES UNITES	v
LISTE DES ABREVIATIONS ET ACRONYMES	vi
LISTE DES TABLEAUX :.....	vii
LISTES DES FIGURES :.....	ix
LISTE DES ANNEXES	xi
INTRODUCTION	1
PREMIERE PARTIE : ETUDES BIBLIOGRAPHIQUES	2
Chapitre I. GENERALITES SUR LA POMME	3
I. Historique :.....	3
II. Taxonomie et nomenclature :.....	4
III. Morphologie :.....	4
IV. Production et localisation à Madagascar :	5
V. Variétés de pomme à Madagascar :	6
VI. Caractéristique de la pomme :	7
VII. Consommation et Utilisations de la pomme :.....	7
Chapitre II. ŒNOLOGIE	9
II.1 Généralité sur le vin	9
II.2 FERMENTATION ALCOOLIQUE :.....	10
II.3 Fabrication du vin ou la vinification proprement dite.....	19
II.4 La composition du vin.....	23
II.5 La chimie du vin	23

II.6 Les vins de fruits	27
II.7 Les analyses et contrôles du vin de fruit :	29
Chapitre III. GENERALITES SUR LA BIERE.....	34
III.1 Définition et historique :	34
III.2 Matière premières:	35
III.3 Processus général de fabrication	38
III.4 Classification des bières.....	45
III.5 La bière aux fruits :	46
DEUXIEME PARTIE : ETUDE EXPERIMENTALE.....	48
Chapitre IV. LE VIN DE POMME	49
IV.1 Processus de vinification de pomme :	49
IV.2 Les différentes expériences effectuées.....	54
IV.3 Les analyses organoleptiques :	59
IV.4 Le rendement expérimental	61
Chapitre V. LA BIERE A LA POMME.....	62
VI.1 Extraction de la partie de pomme utilisée :	62
VI.2 Le diagramme de fabrication de bière à la pomme :	64
VI.3 Le rendement de la fabrication de bière à la pomme	71
Chapitre VI. EVALUATION ECONOMIQUE	73
VI.1 Evaluation du coût du vin de pomme	73
VI.2 Evaluation du coût de la fabrication de bière à la pomme.....	74
Chapitre VII. APPROCHE ENVIRONNEMENTALE.....	76
VII.1. Analyse des impacts :	76
VII.2. Mesures d'atténuation des impacts :	76
VII.3. Analyses des risques et des dangers :	76
VII.4. Gestion des déchets :	77
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES	79

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	80
REFERENCES WEBOGRAPHIQUES	83
ANNEXES	a
Annexe 1 :	a
Annexe 2 :	c
Annexe 3	d
Annexe 4	e
Annexe 5 :	f
TABLE DES MATIERES.....	g

Auteur : HARIZAKA Tsiky Zoé Estella

Titre : « Contribution à la valorisation de pomme : fabrication de vin de pomme et de bière à la pomme »

Nombre de pages : 83

Nombre de tableaux : 36

Nombre de figures : 42

RESUME :

L'objectif de ce travail est de fabriquer du vin de pomme dont le degré d'alcool et le teneur en sucre sont élevés ; et de la bière au pomme ou bière aromatisée par la pomme. Nous avons procédé le vin par trois méthodes différentes et de la bière par le mélange du malt empâté et le fruit qui est introduit avant la fermentation ou la macération. Le vin obtenu détient 15° d'alcool et de teneur en sucre résiduel de 13°Brix ; dans ce cas, ses paramètres rapprochent aux celui de vin du type apéritif avec un rendement de 70,92 %, tandis que la bière retient le 5° d'alcool et de teneurs en sucre résiduel situé entre 6 à 8°Brix. Le vin et la bière sont conservés dans des bouteilles opaques et désinfectés pendant un certain temps pour le développement de l'arôme du fruit et pour vieillir le vin.

MOTS CLES : pomme, vin, œnologie, vin de fruit, bière, bière aux fruits contribution, valorisation.

TITLE: "Contribution to apple valorization: apple wine and apple beer production"

ABSTRACT:

The objective of this work is to produce apple wine with high alcohol and sugar content; and apple beer of apple-flavored beer. We made wine by three different methods and beer by mixing the malt wort and this fruit that is introduced before fermentation or maceration. The wine obtained has an alcohol content of 15° and a residual sugar content of 13°Brix; in this case, its parameters are similar to those of an aperitif wine with a yield of 70.92%. while the beer retains the 5° of alcohol and residual sugar content of 6 to 8°Brix. Our products are kept in opaque bottles and disinfected for a certain time to develop the aroma of the fruit and to age the wine.

KEY WORDS: apple, wine, oenology, fruit wine, beer, fruit beer, valuation contribution.

Encadreur : Pr. RAKOTOSAONA Rijalalaina

Co-encadreur : Dr RANDRIAMANGA ANDONIRINA Cathérine Jane Rica

Adresse de l'auteur : lot 0906 E 420 Antanambao Nord Antsirabe 110

E-mail : tsikyzoeestellaharizaka@gmail.com

