

D-91-5

UNIVERSITE DE OUAGADOUGOU

INSTITUT DES SCIENCES DE LA NATURE

INSTITUT DU DEVELOPPEMENT RURAL

1-2-3
721

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

DJ

En vue de l'obtention du
DIPLOME D'ETUDE SUPERIEURE SPECIALISEE
OPTION : INDUSTRIES AGRO-ALIMENTAIRES

Thème :

**ETUDE DE L'EVOLUTION DES TAUX DE DIACETYLE
ET DE L'OXYGENE DISSOUS AU COURS
DE LA FABRICATION DE LA BIERE A LA BRAKINA
(BOBO - DIOULASSO)**

Soutenu par : Doumbaye DJIMADOUMNGAR

Devant le Jury :

Président : Bernard KAM, Maître de Conférence

Vice-Président : Directeur Général de la BRAKINA

Membres : Alfred S. TRAORE, Maître de Conférence

Innocent BATIONO, Ingénieur en Industries
Agro-Alimentaires

Février 1991

II

- DEDICACE -

A Dieu soient gloire, majesté, force et puissance
pour tout ce qui a été fait.

A toi Père

A toi Mère

Sources intarissables d'amour et de don de soi.

A vous tous, Amis et Frères.

A tous ceux qui s'intéressent au développement
des industries Agro-Alimentaires dans les pays en
voie de développement.

III

REMERCIEMENTS

Nous voudrions de manière particulière :

- exprimer toute notre gratitude au Camarade Alfred
S. TRAORE, Recteur de l'Université de OUAGADOUGOU,
notre directeur de mémoire pour sa disponibilité et
sa détermination à l'aboutissement de ce travail.

- remercier le Camarade BAMBARA Léonce, Directeur
technique de la BRAKINA, notre maître de stage, qui a
parfaitement su nous conseiller.

Nous remercions les BRASSERIES du BURKINA (BRAKINA) à BOBO-DIOULASSO ainsi que :

- Monsieur Jacques ITTEL. Chef d'exploitation.
- Le Camarade DISSA Aimé. Chef de laboratoire et son équipe.
- Les Camarades B. MILLOGO et S. KARAMBIRI maîtres brasseurs.

Pour les facilités qu'ils nous ont offertes tout le long de ce stage.

Nos hommages vont au regretté TRAORET Jean-Albert ex-Chef de Personnel pour l'accueil combien chaleureux dont nous avons été l'objet le premier jour de notre stage.

Nous remercions l'UNIVERSITE DE OUAGADOUGOU, particulièrement l'Institut des Sciences de la Nature, l'Institut du Développement Rural (ISN-IDR) ainsi que tous ceux qui d'une manière ou d'une autre ont oeuvré à notre formation.

Nous voudrions également exprimer toute notre reconnaissance à l'endroit des Camarades :

- QUEDRAOGO Sébastien, professeur à l'ISN-IDR
- DABIRE - KPIELLE Pierre, Journaliste

pour la mise en forme de ce mémoire.

Qu'il nous soit permis de remercier la fondation OTTO BENECKE pour l'aide financière apportée à la réalisation de ce travail.

Aux parents et Amis. nous disons que ce travail est le fruit de tant d'efforts consentis et de l'exaucement de leurs prières.

Nous voulons enfin remercier La Camarade ZIDA Rasmata pour la dactylographie de ce document.

AVANT PROPOS

Après une assimilation intense des théories, la formation en vue de l'obtention du Diplôme d'études supérieures spécialisées en Industries agro-alimentaires (DESS IAA) est couronnée par quatre mois de stage à l'usine sur un thème proposé par le chef de l'entreprise industrielle. Ce thème qui porte sur un problème pratique se posant au niveau de la structure d'accueil fait l'objet d'un mémoire qui est soutenu publiquement devant un jury composé d'universitaires et d'industriels. La raison de ce stage s'explique par les objectifs de la formation d'appuyer la théorie par la pratique. C'est dans ce cadre que s'inscrit ce mémoire mais loin d'avoir épuisé le thème, ce travail constituera un point de réflexion pour les dirigeants techniques de la BRAKINA en particulier, et de manière générale à toutes les personnes qui s'intéressent à l'amélioration de la qualité des produits de cette entreprise.

Cette étude comporte des limites objectives, nous pensons :

- à la période d'analyse qui nous semble restreinte.
- Aux seuls aspects biochimique microbiologique et technologique que nous traitons.

Cet exposé constitue, notre modeste contribution à l'amélioration de la qualité des produits BRAKINA.

TABLE DE MATIERES

	<u>PAGES</u>	
<u>Dedicace</u>	II	
<u>Remerciements</u>	III	
<u>Avant propos</u>	V	
<u>Table de matières</u>	VI	
<u>Terminologie et formules chimiques</u>	XII	
<u>INTRODUCTION</u>	1	
 <u>CHAPITRE I :</u>		
<u>Présentation de la BRAKINA</u> :.....	5	
<u>Section I - Historique</u>	6	
<u>Section II - Localisation</u>	6	
<u>Section III - Organisation</u>	6	
 <u>CHAPITRE II :</u>		
 <u>ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE</u>		
<u>Section I : Données générales de la Fabrication de la Bière</u> <u>à la BRAKINA</u>	11	
 <u>I : Bière et matières premières</u>		
1. Esquisse Historique.....	12	
2. Définition de la Bière.....	12	
3. Les matières premières.....	13	
a - L'Orge.....	13	
b - Les grains crus.....	13	
c - Les Sucres.....	13	
d - le Houblon.....	14	
e - l'eau.....	14	
 <u>II : LA FABRICATION DE LA BIERE</u>		15
A - <u>Le maltage</u>	15	
1 - Préparation du grain.....	16	
2 - Le trempage.....	16	
3 - La germination.....	17	
4 - Le touraillage.....	17	
5 - Le dégermage.....	18	

B - <u>La Fabrication de la bière proprement dite</u>	19
1 - <u>Le Brassage</u>	19
1) Le concassage du malt.....	19
2) Le brassage proprement dit.....	20
3) La filtration et lavage des drêches.....	23
4) La cuisson et houblonnage du moût.....	24
5) Le traitement et refroidissement du moût.	26
2 - <u>Les Fermentations</u>	27
a) - La fermentation principale.....	27
1) La levure de bière.....	27
* morphologie et composition.....	28
* fermentation alcoolique et respiration	30
2) Transformation pendant la fermentation de la bière.....	32
* L'atténuation.....	32
* Métabolisme des matières azotées.....	32
* Les matières volatiles.....	32
* Acidité et acide carbonique.....	33
* L'oxygène, substances réductrices....	33
* Transformations diverses.....	33
3) Technique de la fermentation à la BRAKINA.	33
b) - FERMENTATION SECONDAIRE OU GARDE.....	33
.conduite de la garde à la BRAKINA.....	36
3 - <u>LA FILTRATION</u>	
Technique de la filtration.....	37
4 - <u>LE SOUTIRAGE</u>	37
1) Les dangers imputables au soutirage.....	39
. L'oxydation.....	39
. L'infection.....	39
. Perte d'acide carbonique.....	39
2) Technique de soutirage.....	39

	<u>PAGES</u>
5 - <u>LA PASTEURISATION</u>	40
SECTION II - <u>MECANISMES DE PRODUCTION DU DIACETYLE</u>	42
- <u>Production du diacétyl par les levures et les</u> <u>bacteries lactiques</u>	42
1 - Voies métaboliques.....	42
2 - Métabolisme du diacétyl par les bacteries lactiques.....	42
3 - Métabolisme du diacétyl par les levures.....	45
4 - Valine et production du diacétyl par les levures.....	45
<u>SECTION III : Origine de l'oxygène moléculaire dans la bière</u>	51
1 - L'oxygène.....	51
2 - Solubilité de l'oxygène dans l'eau, le moût et la bière.....	53
3 - Contribution des matières premières et du processus sur la formation des réductones.....	54
4 - Absorption et réduction de l'oxygène de l'air au cours de la fabrication de la bière.....	55
1) Concassage.....	55
2) Empâtage - maische.....	56
3) Filtration de la maische.....	56
4) Ebullition du moût.....	56
5) Fermentation.....	57
6) Garde.....	58
7) Filtration.....	58
8) Tanks de bière filtrée.....	58
9) Le soutirage.....	58
10) Bière en bouteilles.....	58

	<u>PAGES</u>
CHAPITRE III : <u>MATERIELS ET METHODES</u>	59
SECTION I : <u>Dosage du Diacetytle dans la bière</u>	59
I - Appareillage.....	59
II - Réactifs.....	59
III - Mode opératoire.....	61
SECTION II : <u>Recherche des contaminants</u>	61
I - Appareillage.....	61
II - Mode opératoire.....	62
1 - Prélèvements des échantillons.....	62
2 - Traitement des prélèvements.....	62
3 - Incubation.....	64
4 - Lecture directe après incubation.....	64
SECTION III : <u>DETERMINATION DE LA DENSITE DU MOUT PRIMITIF</u>	64
I/ - <u>METHODE ANCIENNE AVEC DISTILLATION</u>	64
I - Appareillage.....	64
II - Mode opératoire.....	64
II/ - <u>METHODE AVEC REFRACTOMETRE THERMOPRISME</u>	65
I - Appareillage.....	65
II - Mode opératoire.....	66
SECTION IV : <u>MESURE DE L'OXYGENE DISSOUS</u>	67
 <u>CHAPITRE IV : RESULTATS</u> 	
SECTION I : <u>EVOLUTION DU DIACETYLE</u>	68
SECTION II : <u>EVOLUTION DE LA DENSITE</u>	71
SECTION III : <u>EVOLUTION DE LA SATURATION</u>	72
SECTION IV : <u>INFLUENCE DE CERTAINS FACTEURS SUR LE TAUX</u> <u>DE DIACETYLE</u>	73

	<u>PAGES</u>
I - <u>LA LEVURE</u>	74
II - <u>LA MOUT</u>	75
III - <u>FERMENTEURS ET CONDITIONS DE FERMENTATION</u>	76
1 - <u>Géométrie des Fermenteurs</u>	77
2 - <u>Vitesse de la fermentation</u>	77
3 - <u>Influence de la température de mise de levain</u>	77
4 - <u>Influence de la technique d'oxygénation</u>	78

SECTION V : ETUDE DE L'EVOLUTION DE L'OXYGENE DISSOUS LORS
DE LA FABRICATION DE LA BIERE A LA BRAKINA

I - <u>EVOLUTION DE L'OXYGENE DISSOUS</u>	80
a) fermentation.....	80
b) traversage.....	81
c) filtration.....	81
d) Tank de Bière Filtrée (TBF).....	81
e) soutirage.....	81
f) Bière en bouteilles.....	82
II - <u>Influence du nombre de cellules de levure en suspension sur la réduction de l'oxygene dissous dans la bière en tank de garde</u>	82
III - <u>Influence de certains facteurs sur le taux de l'oxygène dissous dans la bière</u>	84
1 - <u>La souche et l'âge de la levure</u>	84
2 - <u>Le nombre de cellules de levure en suspension en tank de garde</u>	85
3 - <u>La vitesse linéaire de la bière lors du remplissage et de la vidange d'un tank de garde</u>	85
4 - <u>La suspension aqueuse de Kieselguhr lors de la filtration de la bière</u>	86

	<u>PAGES</u>
<u>CHAPITRE V : PROPOSITIONS ET CONCLUSIONS</u>	87
<u>SECTION I : SOLUTIONS PROPOSEES PAR LA REDUCTION DU DIACETYLE</u>	
<u>DIACETYLE (CAS PRATIQUE DE LA BRAKINA)</u>	87
I - <u>La levure</u>	87
II - <u>Proposition d'essai de réduction du diacétyle</u>	
<u>de la BRAKINA</u>	87
1 - <u>Entonnement</u>	87
2 - <u>Fermentation</u>	88
<u>SECTION II : SOLUTIONS PROPOSEES POUR LA REDUCTION DU TAUX</u>	
<u>DE L'OXYGENE DISOUS (CAS PRATIQUE DE LA</u>	
<u>BRAKINA</u>	89
<u>CONCLUSION GENERALE</u>	90
<u>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</u>	92

TERMINOLOGIE

D.E.S.S. IAA = Diplôme d'études Supérieures spécialisées en
Industries Agro-Alimentaires.

BRAKINA = Société des Brasseries du Burkina Faso

NAD = Nicotinamide Adénine Dinucléotide

Arg = Arginine

Asp = L'asparagine

Gln = La glutamine

Glu = l'acide glutamique

LYs = la lysine

SER = La serine

THR = La threomine

HRS = l'histidine

Leu = La leucine

Ile = L'isoleucine

MET = la méthiomine

Vat = La Valine

Ala = l'alamine

Gly = la glycine

Phe = la phénylalamine

Try = le Tryptophone

Tyr = la Tyrosine

Pro = la Proline

TPP = la thiamine pyrophosphate

TOD = Tank out Door

TBF = Tank de Bière Filtrée

UP = Unité de Pasteurisation

Kieselguhr = Adjuvant de Filtration quasi-neutre,

composé de 85 à 92 % de SiO₂

2

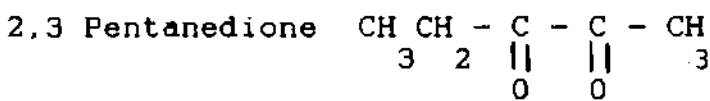
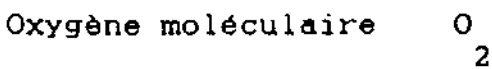
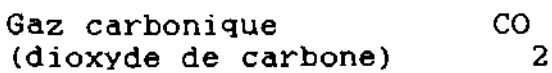
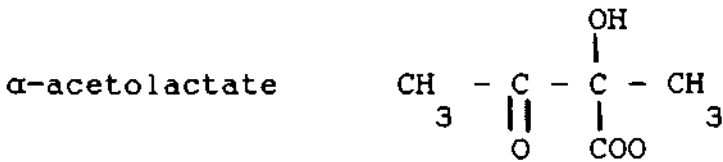
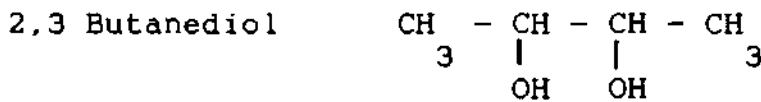
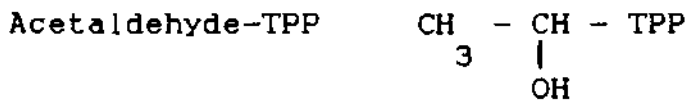
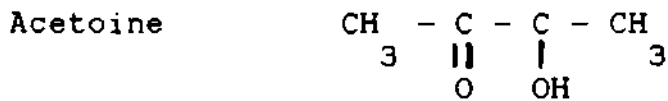
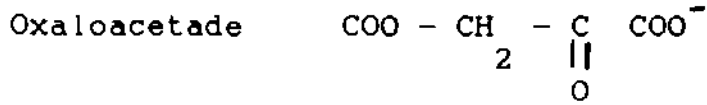
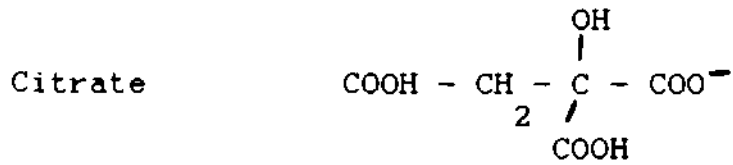
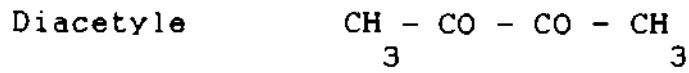
Coll = Collaborateurs

rH = logarithme négatif de la pression d'hydrogène réducteur (H₂)

pH = potentiel d'hydrogène

ex = exemple

FORMULES CHIMIQUES



INTRODUCTION

Les industries Agro-Alimentaires sont d'une importance capitale dans les pays développés car elles répondent à la nécessité de la transformation et de la conservation des denrées alimentaires périssables.

Dans les pays en voie de développement en général et au Burkina en particulier, ces problèmes se posent encore avec acuité.

Au Burkina Faso, la politique actuelle vise la promotion des industries Agro-Alimentaires. Cela se traduit par de nombreux colloques et foires mais également par la création au sein de l'université de Ouagadougou d'une filière de formation en "Industries Agro-Alimentaires".

Sur le plan social les industries agro-alimentaires créent des emplois rémunérateurs et mettent à la disposition de la population une gamme de produits alimentaires finis.

Sur le plan économique, ces unités industrielles contribuent au développement du pays.

Parmi les industries agro-alimentaires en activité au Burkina Faso figure la BRAKINA (Brasseries du Burkina Faso) qui produit des variétés de boissons notamment les boissons gazeuses et la bière. D'une manière générale la fabrication de la bière est un art qui a surtout pour but d'équilibrer les principaux facteurs de qualité. On arrive actuellement dans bien de brasseries à maîtriser la stabilité physico-chimique et biologique. Il est par contre plus difficile d'équilibrer l'amertume, le moelleux, la flaveur (goût et arôme) et en particulier de maintenir cet équilibre pendant longtemps afin de ralentir le vieillissement de la bière.

En dehors des sucres, substances azotées, polyphénols, isohumulones, le diacétyl joue un rôle prédominant sur la flaveur de la bière dans la mesure où ce corps confère à la bière finie un fort goût de beurre.

Les phénomènes d'oxydo-réduction sont étroitement liés à la présence de l'oxygène dissous lors de la fabrication de la bière.

L'oxygène a une action bénéfique sur le développement des levures en début de fermentation mais sa présence dans les autres stades de la fabrication de la bière provoque la formation de produits indésirables.

Malgré les progrès de la technique de fabrication de la bière le diacétyl et l'oxygène moléculaire sont à l'origine de difficultés de production de bière de bonne qualité dans les brasseries des pays en voie de développement, principalement à la BRAKINA. C'est pour contribuer à la résolution technologique des difficultés liées à la présence d'oxygène moléculaire et de diacétyl dans la bière produit à la BRAKINA que nous nous sommes proposés d'"Etudier l'évolution des taux de diacétyl et de l'oxygène dissous lors de la fabrication de la bière". Ce travail sera entièrement réalisé à l'usine de la BRAKINA à Bobo-Dioulasso.

I - BUT DE L'ETUDE

Le but de notre étude est d'examiner les facteurs agissant sur le taux du diacétyl, la dissolution et le taux d'oxygène moléculaire dans la bière et de proposer des alternatives permettant à la BRAKINA de contrôler ces facteurs afin d'améliorer la qualité.

II - PROBLEMATIQUE

Elle s'articule autour de la compréhension de notre thème à savoir "l'étude de l'évolution du taux de diacétyl et de celui de l'oxygène moléculaire au cours de la fabrication de la bière à la BRAKINA". En effet, le thème de notre étude soulève deux questions principales auxquelles nous devons répondre à travers notre étude à savoir :

- Quels facteurs influencent l'évolution du taux du diacétyl et de celui de l'oxygène dissous au cours de la fabrication de la bière et.

- Quelles solutions peut-on envisager pour en assurer le contrôle.

Ainsi notre travail consiste en utilisant les méthodes analytiques de la biochimie et de la microbiologie, à déceler les éventuels facteurs et proposer les méthodes technologiques visant à leur maîtrise.

Au regard du temps qui nous est imparti, il nous est pratiquement impossible de cerner tous les facteurs de vieillissement de la bière à la fois. Pour cela, nous limiterons notre étude sur les aspects biochimique, microbiologique et technonologique. Cependant nous refusons de croire que le vieillissement de la bière est exclusivement intéressé par ces aspects sus-cités. Pour nous, ils pourraient englober l'essentiel de ces facteurs et constitueraient les plus pertinents pour l'amélioration de la qualité organoleptique et la conservation de la bière.

III - METHODOLOGIE

1 - Méthode d'approche

Elle a consisté dans un premier temps à tirer profit des enseignements de la littérature spécialisée. Cela nous a permis de serier le mécanisme de production du diacétyl ainsi que l'origine de l'oxygène moléculaire lors de la fabrication de la bière.

Dans un deuxième temps, nous avons effectué une étude technologique :

- des matières premières (levure, eau, moût...)
- du matériel technique de fermentation (circuits, cuves de fermentation, tanks de garde, tanks de bière filtrée, soutireuse...).
- de la technique de brassage, de fermentation de garde, de filtration...
- de l'approche méthodologique du personnel technique.
- de l'évolution du taux du diacétyl et de celui de l'oxygène moléculaire depuis la réfrigération du moût jusqu'au soutirage de la bière.

Cette étude s'est déroulée sur une période de trois mois et demi conformément à la durée de notre stage à la BRAKINA.

2 - Plan de travail

L'étude se fera suivant le plan de travail ci-dessous :

- présentation de l'usine (BRAKINA)
- Etude Bibliographique
- Matériels et méthodes
- Résultats
- Conclusion et propositions

CHAPITRE I
PRESENTATION DE L'USINE

SECTION 1 : HISTORIQUE

La BRAKINA (ex BRAVOLTA) dont la naissance remonte au 4 Juillet 1960 n'était pendant 4 ans qu'un atelier d'embouteillage de bière provenant de la BRACODI (Brasserie de Côte d'Ivoire) et une fabrique de boissons gazeuses et de glace alimentaire. C'est en 1964 qu'un nouvel essor est reçu avec l'apport du matériel de fabrication eu égard à une démographie galopante et à une demande de plus en plus croissante, l'atelier d'embouteillage fut transformé en brasserie proprement dite avec une direction à Bobo-Dioulasso. Depuis lors on assiste à une évolution du capital qui était au départ de 825 millions de Francs CFA. Celui-ci passe à 1.063.625.000 de Francs CFA en 1988.

SECTION 2 : LOCALISATION

Située dans la ville de Bobo-Dioulasso le long de l'axe Bobo-Banfora, la BRAKINA se localise dans la zone industrielle. Elle couvre par ses activités commerciales l'ensemble du territoire nationale avec une annexe à OUAGADOUGOU chargée uniquement à la mise en bouteille.

SECTION 3 : ORGANISATION

D'une manière générale, les objectifs de la BRAKINA sont :

- créer des emplois rémunérateurs
- participer à l'équilibre de l'économie du pays.

Pour ce faire, les effectifs du personnel travaillant dans l'entreprise sont les suivants :

- 13 Cadres
- 36 Agents de maîtrise
- 286 Employés et ouvriers.

L'usine propose une gamme de produits variés à savoir :

- * la Bière. La Brakina produit 3 variétés de bière qui sont :
 - la bière "BRAKINA"
 - la bière "FLAG"
 - la bière brune du FASO (BBF) auxquelles on ajoute
 - actuellement la bière "SO.B.BRA".
- * Les Boissons gazeuses. L'usine produit 2 types de BG :
 - les Boissons sous-licences (BSL) qui sont
 - . Fanta
 - . Coca cola
 - . Sprite

Les Boissons gazeuses spécifiques

- . Youki orange
- . Youki tonic
- . Bullvit

- * La glace alimentaire
- * L'eau minérale LAFI

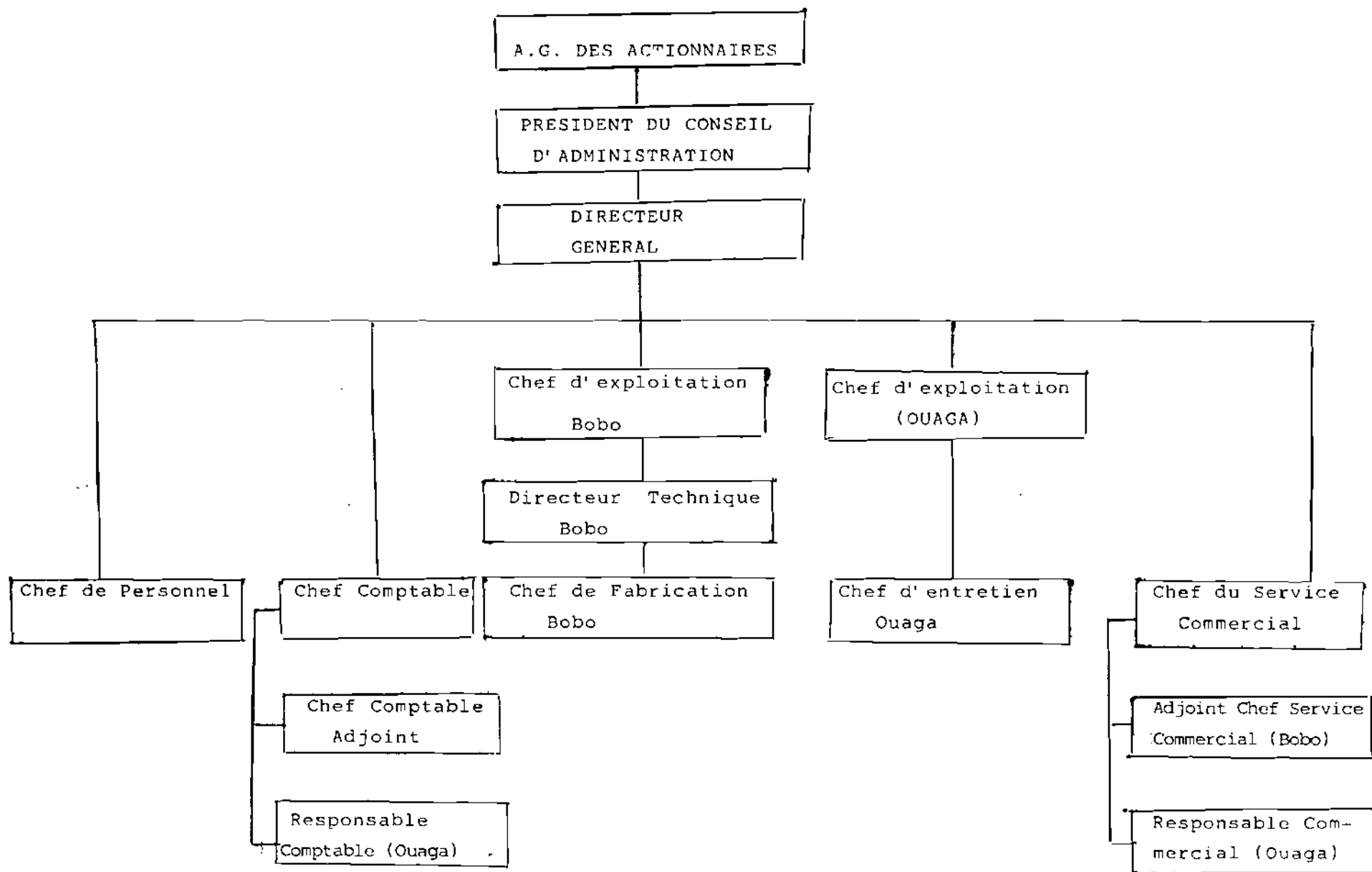
ORGANISATION ADMINISTRATIVE

La Brasserie du Burkina est une société anonyme dirigée par un organe suprême qui est l'assemblée générale des Actionnaires représentée par le conseil d'administration (voir organigramme).

Le conseil d'administration comprend 7 membres dont 2 représentants de l'état burkinabè.

La repartition du capital actuel de la société est la suivante :

Entreprises Privées Burkinabè.....	74,66 %
Etat Burkinabè.....	22,44 %
Particuliers Burkinabè.....	2,82 %
Entreprises Privées Etrangères.....	0,06 %
Particuliers hors Burkina Faso.....	0,02 %
	100 %



ORGANIGRAMME ENCADREMENT BRAKINA

CHAPITRE II

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

L'intérêt que nous accordons à ce chapitre est fondamental. Il nous permettra :

- de savoir ce que c'est la bière, sa fabrication dans le cas spécifique de la BRAKINA.
- de connaître les mécanismes de production du diacétyle par les bactéries lactiques et les levures ainsi que l'origine de l'oxygène moléculaire lors de la fabrication de la bière.

Pour cela, il sera subdivisé en trois points :

- i - Données générales de la fabrication de la bière à la BRAKINA.
- ii - Mécanismes de production du diacétyle ;
- iii - Origine de l'oxygène moléculaire lors de la fabrication de la bière.

SECTION I

DONNEES GENERALES DE LA FABRICATION DE
LA BIERE A LA BRAKINA

I - BIERE ET MATIERES PREMIERES

I.1 - Esquisse historique

La bière est connue depuis la plus haute antiquité. Les égyptiens utilisèrent d'abord le blé, puis l'orge pour obtenir une boisson alcoolisée alors dénommée "vin d'orge". Elle est encore consommée dans la plus grande partie de l'EGYPTE. Son usage s'étendit à la GRECE, puis à la GAULE et à la GERMANIE où elle est restée la boisson favorite.

Mais il faut savoir que la bière des peuples anciens était différente de notre bière actuelle. Cette "cervoise" (du nom de Cerès, la déesse des moissons) était d'un degré alcoolique plus élevé que celui de la bière actuelle. Elle fut longtemps fabriquée sans houblon qui donne le goût agréable légèrement amer à la bière moderne.

C'est au début du XVI^e siècle que l'industrie de la bière appelée encore Brasserie commença son apogée. Elle est classée de nos jours au premier rang des industries agricoles de fermentation. On fabrique actuellement dans le monde environ 200 millions d'hectolitre de bière par an [1].

I.2 - Définition de la bière

C'est une boisson obtenue par fermentation d'un extrait aqueux de céréales germées additionnées de Houblon.

En Allemagne, la définition de la véritable bière est "une boisson obtenue par fermentation sans distillation de l'orge germée par addition de Houblon, de levure et d'eau".

L'Ecole supérieure de Brasserie (Nancy) donne l'excellente définition suivante "la bière est le produit de la fermentation du moût de bière, liquide sucré qu'on obtient en faisant macérer dans l'eau, à une température convenable, de la farine de malt (ou orge germée) en séparant le liquide de la matière solide soluble (ou drêche) en faisant bouillir ce liquide avec du houblon". [9] La fermentation de ce moût de bière est provoquée par l'addition d'un levain constitué par un organisme vivant microscopique appelé "levure de bière".

1.3 - Les matières premières

1.3.a - L'orge

C'est la matière première fondamentale de la bière. Normalement il est possible de faire de la bière avec toutes les céréales contenant de l'amidon, mais l'orge présente des avantages suivants [18] :

- L'orge est une céréale vêtue, les glumelles protègent la plumule qui se développe au cours de la germination.
- L'orge germe facilement
- L'orgé germée est riche en enzymes, ce qui permet une solubilisation très rapide de ses composants.
- Dans sa composition, le rapport entre les glucides et les matières azotées est très bien adapté à la fermentation : Nutrition très équilibrée de la levure de bière.
- Son emploi est économique
- C'est une céréale très répandue. Sa culture n'est pas limitée aux climats tempérés mais s'étend très loin dans les régions septentrionales aussi bien que les régions méridionales ;
- La filtration en brasserie est améliorée grâce aux enveloppes pailleuses qui allègent la masse filtrante.
- La température d'empesage est basse (environ 50 ° C) ce qui rend la saccharification aisée.
- le rendement en malterie est élevé.

1.2.b - Les grains crus

Par raison d'économie et parfois pour corriger la composition de l'extrait, on remplace au brassage une partie du malt par des grains non maltés appelés "grains crus". On emploie surtout la farine du riz, de maïs ainsi que le manioc, l'orge et le Sorgho. Ainsi obtient-on de l'extrait moins coûteux que celui du malt mais de moindre qualité. Cependant, si l'on limite la proportion de ces succédanés à 10-30 %, la qualité de la bière n'en est pas altérée.

I.3.c - Les sucres

Ils interviennent comme succédanés. Ils sont utilisés pour pallier à un mauvais traitement de l'orge et des grains crus.

I.3.d - Le Houblon [9]

C'est une plante grimpante de la famille des cannabinaées appartenant à l'ordre des urticales ; c'est une plante à floraison dioïque (les fleurs mâles et femelles poussent sur deux plantes différentes). Ce que l'on désigne par Houbon en brasserie, ce sont uniquement les fleurs femelles, celles-ci sont disposées en cônes et chacun de ces cônes est formé de folioles à la base desquelles se développe une forme de coupelles. Lorsqu'on ouvre un cône, l'ensemble des coupelles apparaît sous forme d'une poudre jaune appelée : Lupuline ; celle-ci secrète des résines amères et des huiles essentielles qui, dans la bière joueront le rôle d'arômes. Dans les résines ainsi secretées, on a pu isoler deux acides cristallisables qui confèrent au houblon son pouvoir d'antiseptique : Ce sont l'humulone, acide en C_{21} et le lupulone, acide en C_{24} . Quant aux huiles essentielles, ce sont surtout des hydrocarbures du groupe de terpènes, notamment du myrcènes qui contribueront au bouquet de la bière.

I.3.e - L'eau

L'eau est de toute première importance pour la brasserie où elle sert à deux usages bien distincts : Elle est utilisée, d'une part pour la fabrication proprement dite, c'est-à-dire pour la trempe, le brassage et le lavage des appareils, d'autre part pour l'alimentation des générateurs réfrigérants etc... On ne doit employer que de l'eau adoucie et pure. En ce qui concerne la fabrication, il est incontestable que les sels contenus dans l'eau de brassage ont une très grande influence sur la qualité de la bière, à ce point même que des types de bière universellement réputés, par exemple la Pilsen ou la Munich, doivent leur célébrité principalement à la nature spéciale des eaux utilisées.

Dans le cas de la BRAKINA l'eau utilisée est une eau (minérale) provenant d'un forage. Cependant on utilise aussi l'eau de l'ONEA dans les proportions de 20 %.

En résumé, l'orge (et ses succédanés éventuels) le houblon et l'eau, voilà les matières premières essentielles de l'industrie de la bière.

II - LA FABRICATION DE LA BIÈRE

La fabrication de la bière comporte deux parties :

- le maltage
- la fabrication proprement dite.

A - LE MALTAGE

Qu'est ce que le malt ? Le malt est le produit de la transformation de l'orge en orge germée et torréfiée par les moyens industriels que nous allons décrire en les résumant au maximum. Pour la fabrication de la bière les brasseries ont besoin du malt tout préparé. Cette opération se fait en grand dans les malteries spécialisées (hors des brasseries).

Le maltage a pour but :

- de transformer l'amidon insoluble du grain d'orge en amidon soluble.
- de développer dans l'orge des enzymes qui agiront lors du brassage.
- de doter l'orge de l'arôme qui donnera son cachet à la bière.

Ces différents résultats sont obtenus par :

- un début de germination de l'orge qui assure la formation des diastases, enzymes qui vont attaquer au cours du brassage le contenu de la graine et le dissoudre dans l'eau.
- un touraillage qui arrête la germination et donne l'arôme à l'orge.

Il y'a en pratique cinq opérations au niveau du maltage :

1 - La préparation du grain

Cette opération consiste à débarasser l'orge des impuretés par le nettoyage (tamisage, ventilation, triage...) et par le calibrage de l'orge en catégories de différentes grosseurs à l'aide des tamis.

2) Le trempage

Il a pour rôle de fournir à la graine de l'orge de l'eau et de l'oxygène nécessaires à la germination mais aussi d'éliminer les inhibiteurs de la germination contenus dans les enveloppes de l'orge [7]. Afin de ne pas asphixier le grain, l'humidité doit être de 43 % de son poids.

3 - La germination

Le but de la germination est :

- de créer les enzymes qui vont permettre la solubilisation des matières de réserves du grain au brassage,
- le développement de l'embryon aux dépens des réserves ;
- l'attaque des membranes cellulaires de l'amande du grain par les hémicellulases. Il y'a une action protéolytique sur les protéines du grain et le dédoublement d'amidon en sucre.

Pour bien conduire la germination le malteur doit avoir parfaitement en main trois facteurs : la température, l'humidité et l'aération du grain. Les techniques de germination varient d'une malterie à une autre.

4 - Le touraillage

Le grain dont la germination est achevée porte le nom de "malt vert". L'arrêt complet de la germination et la transformation du malt vert en une marchandise stable et achevée est obtenue par le touraillage. C'est une dessiccation sous chaleur soit par des gaz chauds, soit par de l'air chaud circulant dans des tuyaux chauffés par les gaz. On distingue deux phases dans le touraillage :

- la phase de dessiccation pendant laquelle les dédoublements enzymatiques se poursuivent encore et qui peut être considérée comme une continuation de la germination.

- le chauffage du malt sec pendant laquelle il ne se produit plus que des réactions chimiques et physico-chimiques entre les composantes du malt. Il se passe aussi la transformation des produits colorés appelés "melanoïdines". Ce sont des combinaisons de sucres et d'acide aminés (réactions de maillard). Les melanoïdines ne jouent pas seulement le rôle de colorants et de porteurs d'arômes dans la bière, elle protègent en outre la bière contre les troubles par leurs pouvoirs réducteurs [7].

5 - Le Degermage

Le malt touraillé doit être bien débarassé de ses radicelles, car celles ci ne sont pas favorables à la qualité de la bière.

La composition du malt est en moyenne la suivante, selon HOPKINS et KRAUSE [12].

Amidon	58 %
Sucres reducteurs	4 %
Saccharose	5 %
Pentosanes solubles	1 %
Pento et Hexanes insolubles	9 %
Cellulose vraie	6 %
Matières azotées	10 %
Matières grasses	2,5 %
Matières minérales	2,5 %
Tanins et Vitamines	2 %

Comme enzymes du groupe des hydrolases on trouve dans le malt, selon HOPKINS et KRAUSE [12].

Enzymes	Optimum de	
	pH	Température
Amylase α	5,7	65°
Amylase β	4,7	55°
Protéïnase	4,3	50°
Peptidase I	7,8	40° - 45°
Peptidase II	8,6	40° - 45°
Cellulase	5,6	35° - 35°
Phylase	5,2	60°

On utilise au niveau de la BRAKINA deux types de malt pour la fabrication des deux variétés de bière à savoir la bière "BRAKINA" et la bière "FLAG".

- Malt du type 6 rangs Hivers, variété "plaisant" pour la bière "BRAKINA".
- Mélange de malt du type 6 rangs Hivers variété "Plaisant" dans les proportions de 70 % et 30 % de malt du type 2 rangs printemps variété "triumps" pour la bière "FLAG".

Le stockage se fait dans un magasin de capacité totale égale à 1400 Tonnes.

B - LA FABRICATION DE LA BIERE PROPREMENT DITE

Elle comprend cinq phases essentielles qui sont :

I - LE BRASSAGE

Il a pour but d'extraire tous les principes utiles du malt et du houblon et éventuellement des succédanés, pour en préparer un moût. Il comporte :

- 1) - le concassage du malt,
- 2) - le brassage proprement dit
- 3) - la filtration du moût
- 4) - l'ébullition du moût et le houblonnage
- 5) - le refroidissement.

I.1 - Le concassage du malt

Il a pour objet de réduire l'amande interne en farine aussi fine que possible pour faciliter l'extraction sans cependant déchiqueter l'enveloppe pailleuse du grain qui facilitera la filtration du moût. Il est donc évident de ne pas écraser le malt dans n'importe quelle condition. Les concasseurs sont dotés de trois paires de cylindres avec tamisage entre chaque paire. Entre le premier et le deuxième passage un tamis double divise la farine en trois catégories :

- pailles et gros gruaux
- fins gruaux
- fine farine

La fine farine va directement à la tremie, les pailles et gros gruaux vont à la deuxième paire de cylindres et les fins gruaux à la troisième. Le produit de la deuxième paire de cylindres est de nouveau divisé en 3 catégories : les fins gruaux vont rejoindre ceux du premier passage sur la troisième paire de cylindres ; les enveloppes et la fine farine vont à la tremie. Un contrôle minutieux de la mouture doit être fait. En fonction des appareils de la filtration ultérieure du moût on a :

	Cuve-filtre	filtre-presses (cas de la BRAKINA)
Enveloppes	20 - 25 %	12 - 15 %
Gruaux	45 - 55 %	40 - 45 %
Farine	20 - 30 %	40 - 45 %

1.2 - Le Brassage proprement dit

Le but du brassage est d'extraire du malt le plus d'extrait et de meilleure qualité possible. Cette extraction se fait à l'eau et à des températures appropriées. Pour régler les transformations au brassage, on dispose de la température, la destruction des enzymes, le pH, l'addition des grains. Les différentes transformations chimiques sont résumées dans le tableau suivant [7]

Optimum de		Enzymes	Produits obtenus
Température	pH		
45 - 50 %	4,6 - 5	Peptidases	Peptides
		Protéinases	Amino-acides
62 %	5	B-amylase	Sucres fermentés, cibles, maltose
T° lethale :			
70° C			
72° C			
T° lethale	5.6	α -amylase	Dextrines sucres à 10 - 13 unités
80° C			

Le dédoublement de l'amidon en sucres procède par plusieurs étapes/

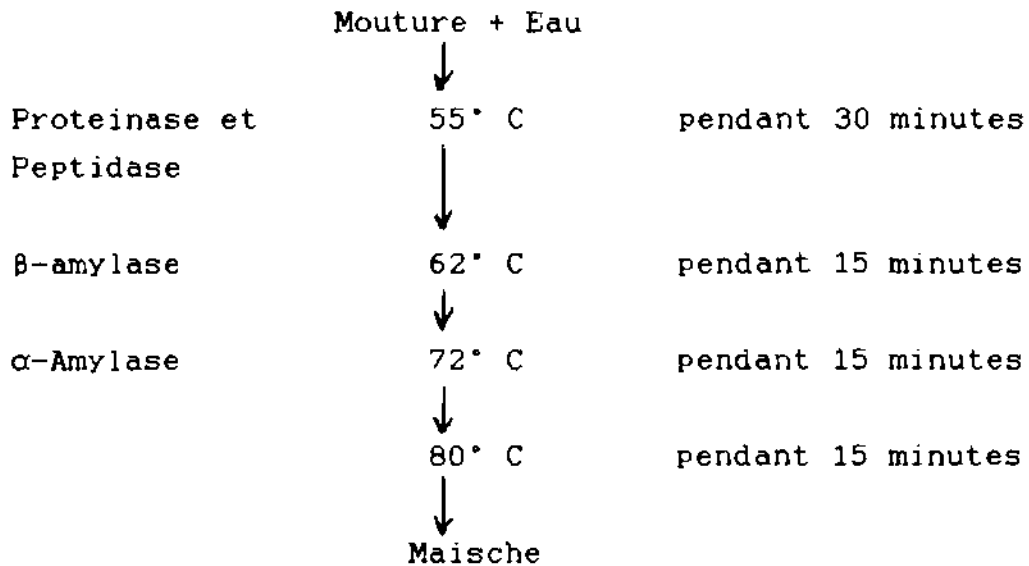
- l'éclatement des granules ou empesage de l'amidon qui se produit à 60° C.

- la liquefaction ou disparition de la viscosité de la solution amylosique sous l'action de l' α -amylase.

- la saccharification sous l'action conjuguée de l' α et de la β -amylase.

N.B. : La β -amylase attaque l'amidon au niveau des bouts réducteurs pour donner des sucres à 2 unités (maltose). Alors que l' α -amylase l'attaque à n'importe quel endroit.

Il existe une foule de méthodes de brassage et on peut en inventer tant qu'on veut. On doit faire le choix selon la qualité du malt dont on dispose, le type de bière qu'on veut obtenir, la proportion des grains crus utilisés et le matériel dont on dispose. Mais il faut respecter les paliers de température qui sont des zones de stabilité des enzymes (condition capitale).



Au niveau de la BRAKINA, le diagramme de brassage est le suivant selon le type de bière.

18.05.1990

T °C

DIAGRAMME BRASSAGE "BRAKINA"

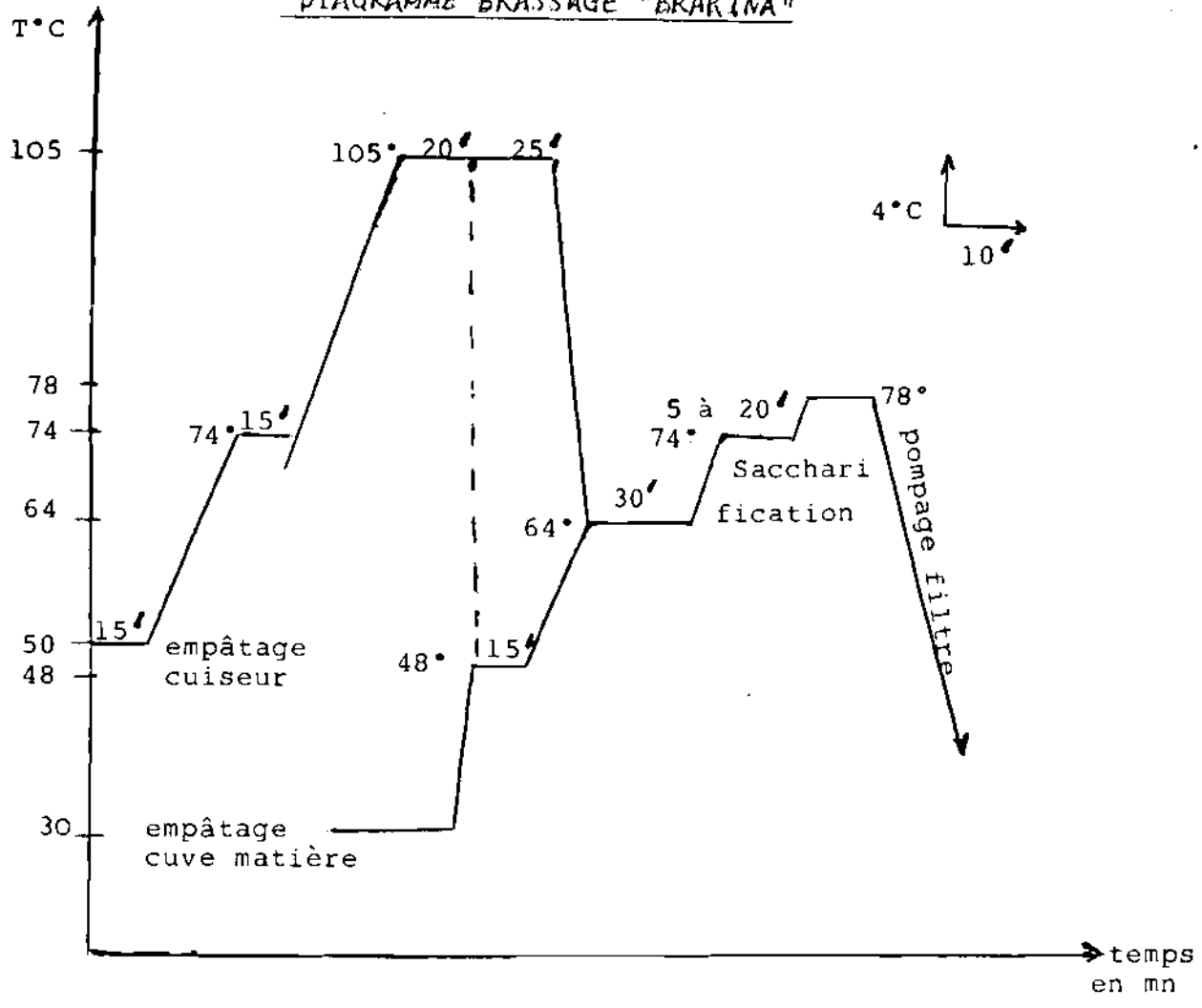
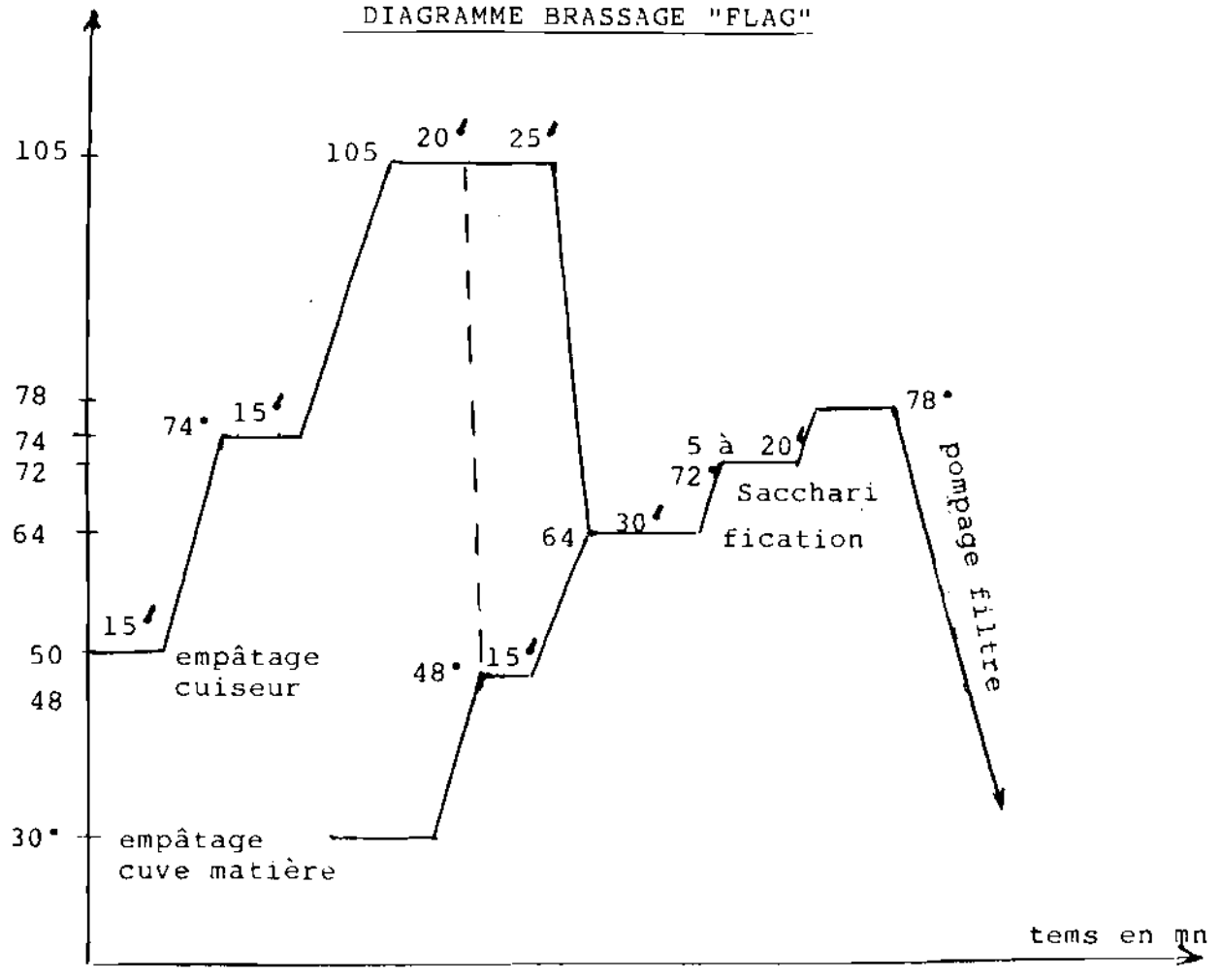


DIAGRAMME BRASSAGE "FLAG"



Selon le diagramme de brassage, on obtient en moyenne (7),

Fructose	1,2 à 3,3
Glucose	9,3 à 10,3
Saccharose	2,4 à 6,5
Maltose	41 à 52
Maltotriose	12,3 à 13
Maltotétrose	2,1 à 5,9
Maltopentose	1,3
Malto hexose	1,9
dextrines	11,5 à 23

L'acidité au brassage n'a qu'une influence indirecte par son action sur l'activité des enzymes. Le pH du moût est normalement de 5,8 environ avec l'eau neutre ou distillée. Mais il peut se déplacer dans le sens alcalin par la présence des ions bicarbonates et dans le sens acide par les ions calcium et magnésium dans l'eau. On peut corriger le pH du moût en ajoutant soit une base, soit un acide pour avoir le pH optimum des enzymes (pH : 5 - 5,2).

Le traitement des grains crus (empesage)

Afin d'éviter les difficultés de Saccharification on ajoute aux grains crus, lors de l'empâtage une certaine proportion de malt (1/4 ou 1/5) puis après un temps (10 à 20 min) on monte à l'ébullition. Dans le cas de la BRAKINA, on utilise 40 % de grains crus pour la bière "BRAKINA" et 30 % pour la "FLAG".

1.3 - Filtration et lavage des dreches

La solution obtenue après le brassage (maische) contient toutes les substances solubles et une partie insoluble (Drêche) d'où la nécessité de la filtrer. L'opération se passe en deux phases :

- écoulement du moût.
- lavage de l'extrait qui imbibe encore la drêche.

Le lavage doit être soigné car la drèche contient 80 % d'eau contenant encore une proportion notable d'extract.

La qualité de la bière peut souffrir.

- Si le moût et les eaux ne s'écoulent pas clairs.
- Si l'alcalinité de l'eau n'a pas été corrigée (éviter la dissolution des matières taniques et amères des enveloppes).
- L'eau de lavage doit avoir une température d'environ 80°C.
- La technique de filtration.

La technique de filtration adoptée au niveau de la BRAKINA est celle de filtre-presses. Il est formé de l'alternance de cadres creux et de plateaux rainurés recouverts de toile.

1.4 - Cuisson et houblonnage du moût

Une fois filtré le moût est envoyé dans une cuve appelée chaudière à houblonner où il va être porté à ébullition. Cette ébullition a pour objet de stabiliser la composition du moût et de l'aromatiser avec le Houblon. la cuisson stabilise le moût en détruisant les enzymes, en le stérilisant et en faisant coaguler les matières azotées complexes.

Les transformations à la cuisson du moût

1°) Coagulation des matières azotées.

Cela consiste à une dénaturation des protéines et à leurs précipitations sous l'effet du pH et de la température.

2°) L'aromatisation par le houblon.

Sous l'effet de la chaleur, les résines amères de l'humulone et la lupulone subissent une isomérisation en iso-humulone. Seul l'iso-humulone a un pouvoir d'amertume.

3°) La transformation des tanins ou polyphénols.

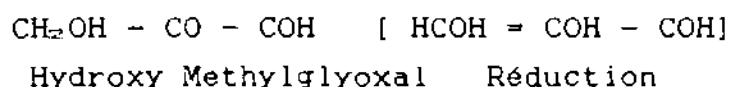
Le tanin du houblon est entièrement soluble dans le moût bouillant, une fois dissout ces tanins s'oxydent et se combinent plus facilement aux protéines - Le produit de cette combinaison est insoluble et précipité.

4°) La coloration du moût

L'ébullition augmente la coloration du moût - ceci est dû essentiellement à la caramélisation des sucres, à la réactions de maillard et aussi à l'oxydation des tanins.

5°) La formation des réductones

Le moût subit une réduction pendant l'ébullition, l'oxygène dissous s'échappe alors et donne lieu à des réductones. La formule brute de la réductone est $C_3H_4O_3$ et serait la forme énolique de l'hydroxy methyl glyoxal :



Le pouvoir réducteur des reductones est dû aux groupements énoliques qui s'oxydent selon la réaction suivante.



Ces substances constituent une protection contre l'oxydation du moût [5].

Technique d'ébullition et du houblonnage.

La cuisson du moût se fait en chaudière chauffée soit au feu - direct, soit par un double fond ou à l'aide d'un serpentin dans lequel circule de la vapeur le cas de la BRAKINA.

Le Houblon est ajouté au cours de la cuisson en versements successifs. Ce qui permet de maintenir l'effet des huiles essentielles (parfum). La dose de Houblon est fonction de l'amertume désirée.

A la BRAKINA, le Houblon est ajouté au cours de la cuisson et selon le type de bière de la manière suivante :

- Une seule fois en extrait et au début de l'ébullition pour la bière "BRAKINA" à raison de 25 Kg d'extrait/brassin.
- Pour la bière "FLAG", on ajoute
 - . au début de l'ébullition 2 Kg d'extrait/brassin.
 - . Une demi-heure avant la fin de la cuisson 2,5 Kg de pellets/brassin.

1.5 - Traitement et refroidissement du moût

Le moût sort à 100°C de la Salle à brasser riche en précipité (cassures et drêches de houblon). Le principe est d'avoir un moût clair, à une température convenable pour l'ensemencement puisque la levure est déjà tuée vers 40°C, tout en assurant la stérilisation.

TRANSFORMATIONS AU REFROIDISSEMENT.

Pendant le refroidissement le moût se concentre par évaporation et on observe la formation de troubles qui sont essentiellement de deux types :

- Les troubles grossiers provenant des cassures au niveau de l'ébullition.
- Les troubles fins qui apparaissent au refroidissement dont la composition est mal connue mais qui ont l'inconvénient de donner un goût vulgaire à la bière.

Elimination des troubles

A la Brakina, l'élimination des troubles se fait dans un bac d'attente avec décanteur à moût (Whirlpool).

Technique de refroidissement

Plusieurs réfrigérants à moût sont utilisés mais à la Brakina on utilise actuellement les échangeurs à contre-courant constitués par un empilement de plaques en acier inoxydable. D'un côté de chaque plaque circule le moût chaud à refroidir et de l'autre passe de l'eau froide qui sera ainsi chauffée. Le refroidissement final s'effectue en remplaçant l'eau froide par un frigorigène (eau glycolée).

Composition du moût final

Elle joue un rôle très important sur les propriétés de la bière finie. Le moût, doit contenir :

- les quantités de sucres fermentescibles voulues pour les levures.

- les quantités de matières azotées nécessaires au développement de la levure (Acides aminés tels que Valine leucine...).
- les composés de flaveur du malt et du houblon.

Les constituants indésirables et précurseurs de mauvais goût et antimousse doivent être contrôlés.

II - LES FERMENTATIONS

Le moût refroidi estensemencé avec la levure. L'oxygène nécessaire au développement de la levure est injecté au même endroit. On distingue deux fermentations successives : la fermentation principale et la fermentation secondaire ou GARDE.

A/ - LA FERMENTATION PRINCIPALE

Elle est caractérisée par :

- la composition du moût
- la nature de la levure
- les conditions du process (durée, température, volume de moût, la pression, la forme du tank ou cuve de fermentation, l'agitation...).

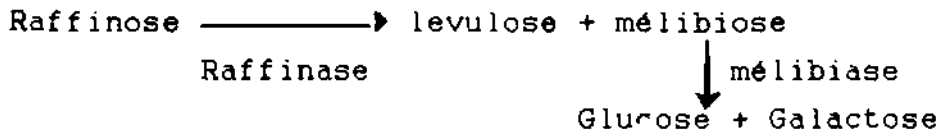
1 - LA LEVURE DE BIÈRE

La levure de bière est du genre saccharomycès on distingue 2 espèces :

- Saccharomyces carlsbergensis ou levure basse
- Saccharomyces cerevisiae ou levure haute.

Toutes les autres levures sont dites levures sauvages et considérées comme agents d'infection. Les 2 types de levures de bière se distinguent par le fait que : Carlsbergensis fermente plus facilement à basse température jusqu'à 0° C et qu'elle se dépose au fond de la cuve en fin de fermentation tandis que cerevisiae ne fermente pas généralement en dessous de 10° C et monte à la surface du moût en fin de fermentation.

- Carlsbergensis possède la raffinase et la mélibiase. Ces 2 enzymes permettent de fermenter la raffinose (Trisaccharide).



par contre Céréviceae ne possédant pas la mélibiase ne peut catalyser que le 1/3 de la raffinose.

Les levures hautes ayant un coefficient respiratoire plus élevé peuvent respirer grâce à un enzyme appelé succinate oxydase, enzyme que les levures basses ne possèdent pas.

* Morphologie et composition.

Les levures de bières sont caractérisées par leur forme globuleuse, sphérique et plus généralement ovoïde. Elles peuvent se réunir en chapelet (Tableau : [16]). La levure de bière contient 75 % d'eau. Les constituants les plus importants en poids sont le glycogène, le tréhalose, les matières azotées, les gommes, les matières grasses et les matières minérales. Le pH interne de la levure est de 5,6 à 6. A côté de ces substances, on trouve toute une série d'agents biotiques par lesquels, les levures peuvent exercer leur métabolisme. Ce sont :

- les enzymes comme principalement les hydrolases (carbohydrolases qui déterminent la fermentescibilité des sucres) ; Les Protéases ; les transférases et les cytochromes oxydases ou ferments de respiration.

- les facteurs des croissances et les vitamines.

		Vraies Levures : levures Sporulantes						Fausses levures : levures non Sporulantes				
		Levure de Brasserie		Levures sauvages								
		Saccharomycès Carlsbergensis (L.basse)	Saccharomycès cérévisiae (L.Haute)	Saccharomycès diastaticus	Saccharomycès pastoriscus	Pichia	Autres vraies Levures	Kloëckera apiculata (L.apiculée)	Mycoderma Cérévisiae	"Torula" Sens (large)	"Torula" Rose (Rhodo Torula)	Autres fausses levures
CARACTERI- SATION	Aspect Micros- copique	4 à 10µ x 5 à 15µ 	3 à 10µ x 5 à 12µ 	3 à 4µ x 4 à 10µ 	3 à 4µ x 7 à 26µ 	3 à 5µ x 5 à 12µ 	Variable	2 à 5µ x 5 à 8µ 	2 à 5µ x 5 à 12µ 	3 à 5µ x 5 à 10µ 	2 à 4µ x 6 à 12µ 	Généralement petites à contenu assez homo- gène
	Sporu- lation	(mais sporulation possible en un temps plus long)		+	+	+	+	-	-	-	-	-
	Croissance sur milieu à la Lysine	-	-	-	-	+	Variable	+	+	+	+	+
COMPORTEMENT EN BRASSERIE	Origine (Si connue)	Sélection de levures sauvages	Sélection de levures sauvages	Environnement ou évolution de lévures de culture	Environne- ment naturel	Environne- ment naturel	Environne- ment naturel	Sols des vergers. Surface de fruits	Environne- ment naturel	Environne- ment naturel - Fruits -	Environne- ment naturel - Eau -	Environne- ment naturel
	Milieu de vie en Brasserie	Moût	Moût	Bière en bouteilles ou en fûts	Moût Bière mal atténuée	Bière	Moût Bière	Moût	Bière et autres milieux alcoolisés	Moût et même bière	Moût et même bière	Moût bière

TABLEAU I : CARACTERISATION ET COMPORTEMENT EN BRASSERIE DES LEVURES [16]

TABLEAU I₀ (Suite)

		Vraies levures : levures Sporulantes						Fausses levures : levures non Sporulantes				
		Levure de Brasserie		Levures sauvages								
		Saccharomycès Carlsbergensis (L.basse)	Saccharomycès cérévisiae (L.Haute)	Saccharomycès diastaticus	Saccharomycès pastoriscus	Pichia	Autres vraies Levures	Kloëckera apiculata (L.apiculée)	Mycoderma Cérévisiae	"Torula" Sens (large)	"Torula" Rose (Rhodo Torula)	Autres fausses levures
COMPORTEMENT EN BRASSERIE	Propagation en Brasserie	Levain	Levain	Appareillage	Levain Poussière Insectes	Levain	Levain Poussière Insectes	Levain Poussière Insectes	Levain Poussière	Levain eau	Levain eau	Levain Air Eau Insectes
	Effets	Fermentation basse	Fermentation haute	Super atténuation + Trouble	Dépôt Fermentation Faux-goût	Voile Oxydation	Variables Trouble, dépôt, voile, Faux-goût	Ne fermente que le Glucose	Dépôt et voile épais- plissé oxyde l'alcool en acide acétique	Dépôt- Voile en anneau. Importance réduite	Dépôt- Voile en anneau. Importance réduite	Variable

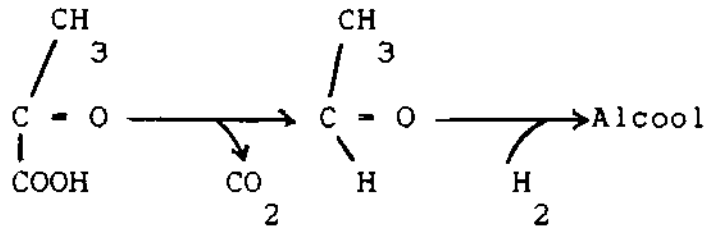
TABLEAU I₀: CARACTERISATION ET COMPORTEMENT EN BRASSERIE DES LEVURES [16]

* Fermentation alcoolique et respiration

La levure a besoin en 1ère phase de l'O₂ pour transformer le sucre en CO₂ et H₂O + l'énergie nécessaire à son développement $C_6H_{12}O_6 + O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 674 \text{ Kcal}$
 en 2è phase, en absence d'oxygène, la levure dédouble le sucre fermentescible en alcool + CO₂ c'est la fermentation alcoolique
 $C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2 + 22 \text{ KCal.}$

Ces 2 formules sont très simplifiées car en réalité, elles passent par une série de réactions enzymatiques et d'oxydo-réduction. Plusieurs hypothèses ont été envisagées mais le schéma qui rend le plus compte est celui d'Embden-Meyerhof-Parnas qui aboutit à l'alcool et au CO₂ (fig. 1).

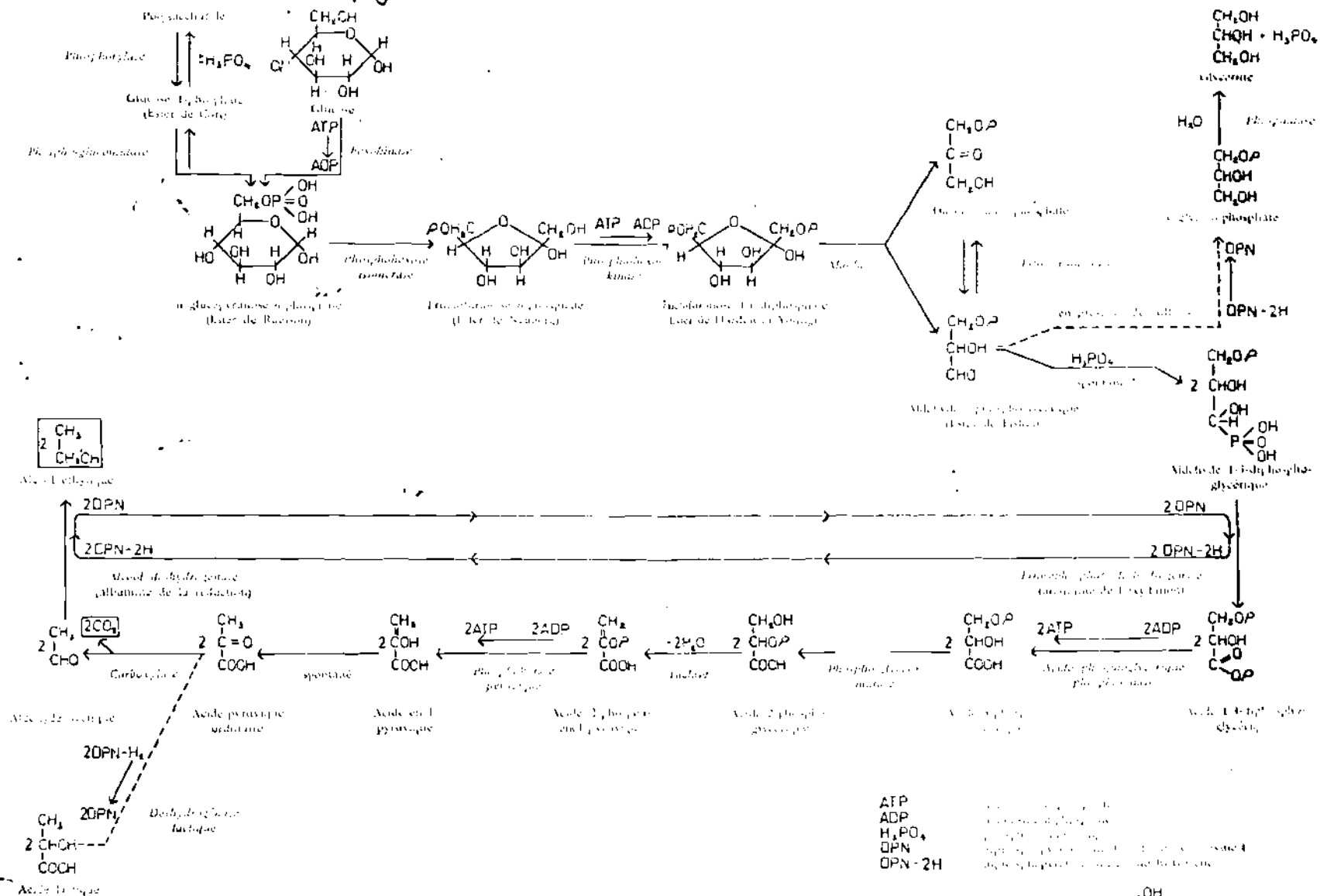
Lorsqu'il y'a de l'O₂, l'acétaldéhyde n'est plus réduit alors il y'a accumulation du pyruvate, point de départ du cycle de Krebs (Voie de respiration).



Soit aussi une voie de respiration à partir du glucose - 6 P : c'est le cycle des hexoses-mono phosphate. Ces 2 cycles aérobies procurent à la levure l'énergie et les produits de départ nécessaires à ses synthèses.

fig 1

schéma de Embden-Meyerhof-Parnas de la fermentation alcoolique.



2) Transformations pendant la fermentation de la bière

* L'Atténuation

La principale transformation est donc la fermentation des sucres. La formule de Gay-lussac :
$$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \longrightarrow 2\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 2\text{CO}_2$$
 montre que le sucre qui est plus dense dans l'eau est remplacé par l'alcool moins dense et du CO_2 gazeux qui s'échappe.

La densité du moût va donc diminuer et c'est cette diminution qui va servir de mesure au brasseur pour contrôler la progression de la fermentation. Il lui donne le nom de "Atténuation" et l'exprime en % de diminution de la densité.

Si E = teneur en extrait du moût initial

E' = teneur en extrait de la bière fermentée.

$$\text{Alors Atténuation} = \frac{E - E'}{E} \times 100$$

L'atténuation est fonction de :

- la fermentescibilité des sucres
- la floculence de la levure
- la dégénérescence de la levure

* Métabolisme des matières azotées

La levure absorbe 50 % des matières azotées du moût et rejette dans la bière le 1/3. La teneur en azote diminue donc d'1/3 pendant la fermentation. Cette diminution est aussi due à la précipitation de matières azotées complexes.

* les matières volatiles

La levure produit une série de matières qui vont donner un parfum à la bière et qui influencent aussi la stabilité de la mousse. On distingue 5 catégories :

- Les alcools supérieurs ou "huile de fusel" en moyenne 50 mg/l environ et qui donnent un goût amer à la bière. Les principaux représentants sont : alcool isoamylque, alcool isobutylique et l'alcool amylique.
- Les acides volatiles (acide acétique, acide formique).
- Les esters. Ce sont les agents de l'arôme de la bière, le plus important est l'acétate d'éthyle.
- Les aldéhydes et dérivées.

Les aldéhydes ne sont pas si importants par eux-mêmes, mais surtout par leurs dérivées, dont certains sont très dangereux pour le goût de la bière. Deux en sont bien connus jusqu'à présent :

. Le diacétyl donne un très mauvais goût à la bière. C'est ce qui fera l'objet de notre étude.

. L'acétone donne un goût de renfermer à la bière.

* Acidité et Acide carbonique

Le pH diminue au cours de la fermentation cet abaissement provient de la formation du CO₂ et d'acides

organiques. Le pH normal de la bière est compris entre 4,0 et 4,4.

* L'oxygène, substances réductrices

L'oxygène disparaît avec la respiration de la levure dès le début de la fermentation. Il reste cependant un peu d'oxygène soit 3 % de l'oxygène [6]. Le potentiel d'oxydo-réduction diminue cependant au cours de la fermentation, passant de 20 au début à 11 à la fin de la fermentation.

* Transformations diverses

La coloration baisse pendant la fermentation les isohumulones sont éliminés en partie, une diminution de l'ordre (9-13 %). Les polyphénols sont éliminés aussi en partie par adsorption à la levure variable d'une souche à l'autre et par la formation des écumes.

3) - TECHNIQUE DE LA FERMENTATION

On distingue deux grands genres de bières : de fermentation haute et de fermentation basse qui se distinguent par la race de levure qu'on utilise pour les fermenter. Selon les développements de la technique on a fermenté ces bières de manières fort différentes.

Mais quelque soit la méthode suivie, il y'a certains principes généraux à observer dans la conduite de la fermentation :

1) Le choix de la levure

La levure est l'élément essentiel pour la réussite de la fermentation. Il faut donc choisir une levure qui donnera les qualités requises et la maintenir en bon état. Ce choix va dépendre de :

- type de bière
- la méthode de fermentation
- la composition du moût

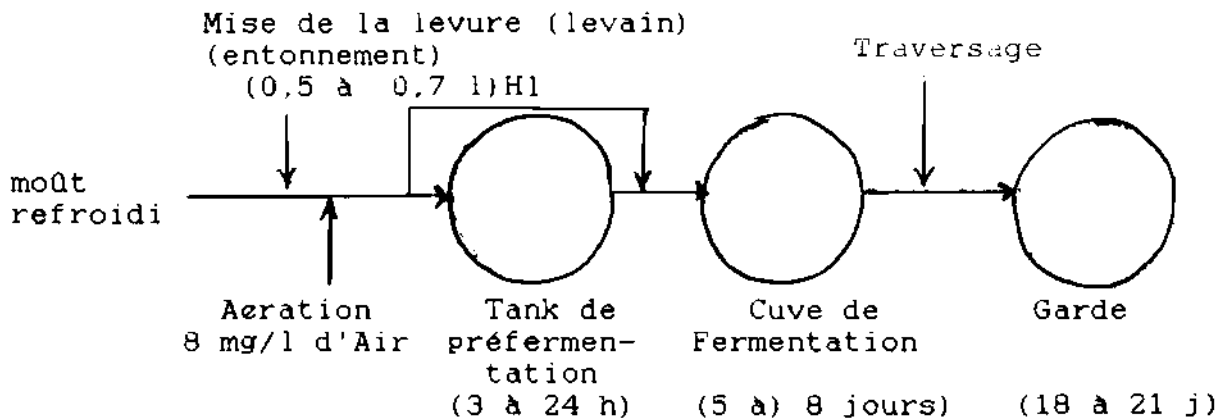
2) le soin du levain

3) la température de fermentation

4) les facteurs secondaires influençant la fermentation (agitation, profondeurs des cuves).

5) contrôle de la fermentation.

Schéma de fermentation



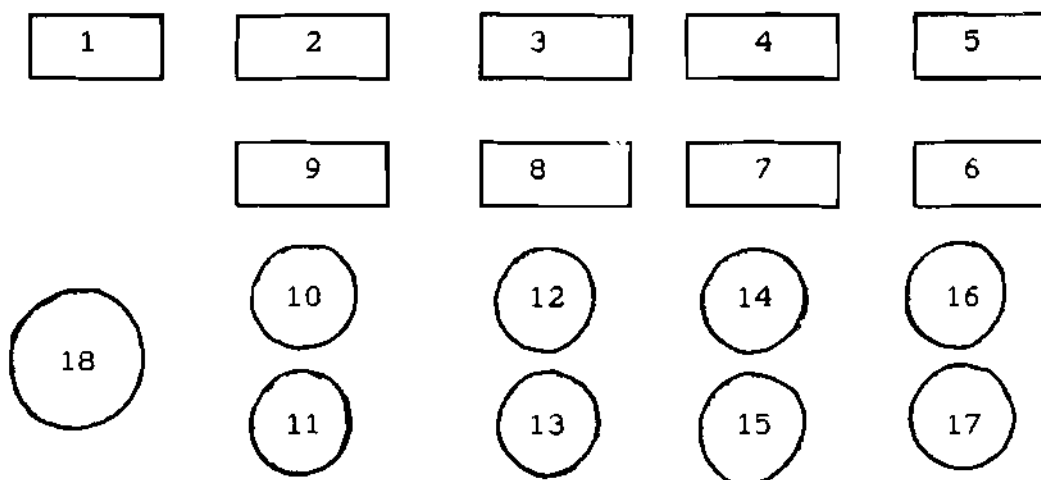
Température d'entonnement

- levures hautes 18° C
- levures basses (9-10) °C

La fermentation se fait à la BRAKINA dans :

- des cuves parallélépipédiques classiques d'une capacité totale de 210 hl x 9.
- des cuves cylindriques horizontales disposées sur 2 étages d'une capacité de 540 hl.

- une cuve cylindrique horizontale d'une capacité de de 750 hl.



Présentation de la salle de fermentation.

A la BRAKINA, le type de bière produit est la bière basse donc de fermentation basse ("BRAKINA" et "FLAG") la souche de la levure utilisée est : la Levure Huilimann. Il s'agit de la levure pressée basse et floculante en provenance de Zurich).

B - FERMENTATION SECONDAIRE OU GARDE

Les buts à poursuivre au cours de la garde sont :

- laisser déposer les levures et les particules amorphes qui troublent la bière.
- Saturer la bière de CO₂
- Affiner le goût de la bière
- Précipiter le trouble au froid, pour obtenir des bières plus brillantes.
- réduire la bière et la maintenir à l'abri l'oxygène de l'air.

La bière ne se clarifie cependant pas entièrement par simple dépôt ; pour l'avoir brillante, il faut la filtrer.

Conduite de la GARDE à la BRAKINA

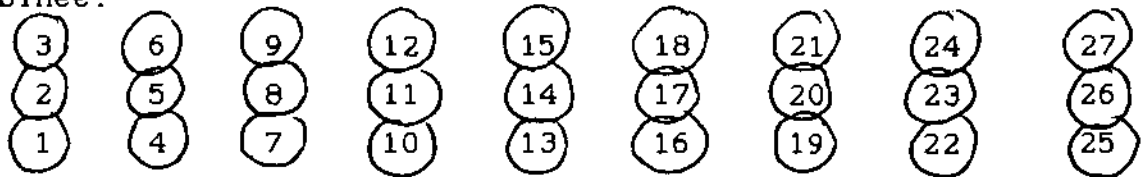
Lorsque la bière est jugée à point pour le traversage, on la descend dans un tank, muni d'une soupape de sûreté ou "Appareil à bondonner". La cave de garde est maintenue à une température de 0 à 1°. La fermentation secondaire se fait surtout au début de la garde, lors que la bière n'est pas encore entièrement refroidie. La durée de la garde varie avec la proportion en extrait de la bière. Lorsqu'on prolonge trop la garde, la bière commence à perdre sa qualité. Elle devient vide. Aussi faut-il réduire la garde pour les bières plus légères.

A la BRAKINA, la garde se fait en cave dans :

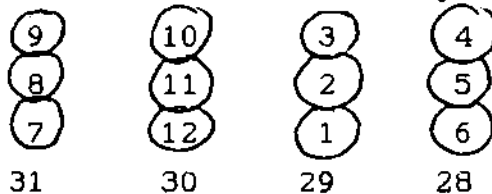
- des tanks cylindriques horizontaux, disposés sur trois étages (capacité totale : 250 hl x 27 ;
- des tanks cylindriques verticaux reliés entre eux. (capacité totale = 125 hl x 12 ;
- des tanks out door (TOD) (on utilise également les TOD pour le stockage de la bière en ce moment on les appelle les TBF (tank de bière filtrée) : capacité totale :

2 TBF x 800 hl = 1600 hl ; 1TBF x 1600 hl

Leur installation est récente et une augmentation de leur nombre est envisagée en vue d'une fermentation garde combinée.

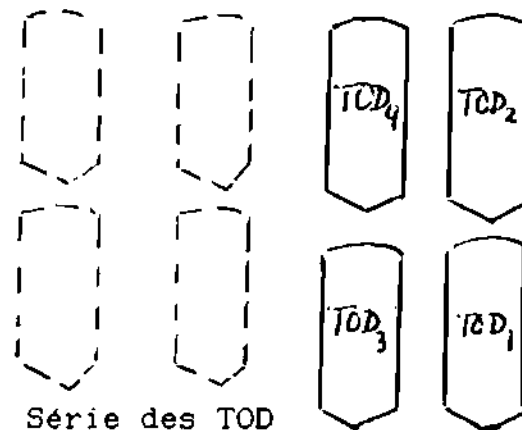


9 séries de 27 tanks cylindriques disposés sur 3 étages.



4 séries de 12 tanks
cylindriques verticaux
reliés entre eux

Présentation de la cave de garde



3 - LA FILTRATION

Le but de la filtration est de rendre la bière plus brillante et plus stable. Le filtre chargé de clarifier, de stériliser et de stabiliser la bière réalise cela par deux actions tout à fait différentes :

- le tamisage, qui consiste à arrêter mécaniquement les particules trop grosses pour traverser les pores du filtre et,
- l'adsorption, qui consiste à arrêter les substances même moléculairement dissoutes.

TECHNIQUE DE LA FILTRATION

Il existe plusieurs systèmes de filtration

- filtration sur masse
- filtration sur poudres
- filtration sur cartons
- clarification par centrifugation.

Dans le cas de la BRAKINA, la filtration se fait avec un filtre à Kieselguhr à plaques rainurées entre lesquelles on serre les cartons. Un Alluvionneur HOLSTEIN et KAPPERT permet la formation des précouches et de l'alluvionnage. La formation de précouche de Kieselguhr sur les cartons-support du filtre est faite par une suspension Kieselguhr préparée avec de l'eau. L'alluvionnage est faite elle avec une suspension de Kieselguhr préparée avec de la bière. La bière pénètre par un canal latéral dans les rainures d'une plaque, passe à travers le carton et s'écoule par les rainures de la plaque suivante.

4 - LE SOUTIRAGE

Nous sommes maintenant au dernier stade de la préparation de la bière et toute faute que l'on commettrait ne pourrait plus se rectifier. Le soutirage est la plus grande source d'oxydation de la bière et peut constituer un grave danger d'infection. De plus, pour une bonne présentation, les bouteilles doivent être propres et bien étiquetées.

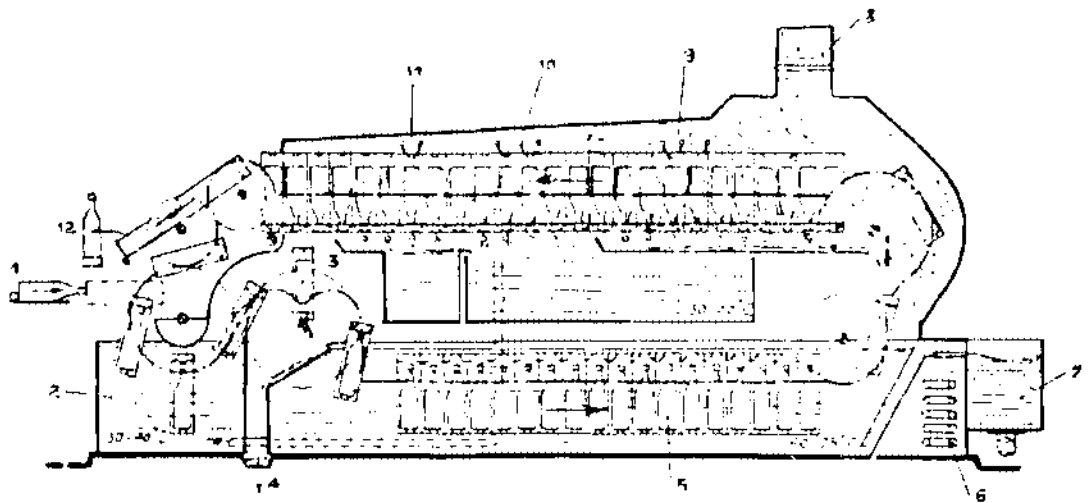


Fig. 9. — Laveuse de bouteilles, type à chaîne.

1. entrée; 2. bain de réchauffement; 3. vidange des bouteilles;
4. évacuation de la vidange; 5. trempage; 6. serpentín de chauffage;
7. filtration du bain; 8. évacuation des buées; 9. aspersions
et injections aux détersifs; 10. rinçage à l'eau tiède; 11. rinçage
à l'eau froide; 12. évacuation de la bouteille sur la chaîne trans-
porteuse.

1) Les dangers imputables au soutirage

. L'oxydation au soutirage.

Pendant le transfert dans les bouteilles la bière sera en contact avec l'air. L'oxygène de l'air dans le col va progressivement se dissoudre dans la bière après soutirage. Cette oxydation aura des conséquences néfastes :

- suite à l'oxydation des matières amères du houblon et des matières volatiles (α -acétolactate), le goût et le parfum de la bière vont devenir déplaisant.
- la diminution de la stabilité colloïdale de la bière.
- l'augmentation de la coloration de la bière.

. L'infection au soutirage

Compte tenu des difficultés rencontrées pour stériliser les soutireuses, une stérilisation soignée doit être faite au niveau des bouteilles. Car les infections au soutirage sont toujours redoutables parce que les microorganismes qui s'y développent sont directement acclimatés à la bière donc capables de s'y développer rapidement.

. Un autre danger imputable au soutirage est la perte d'acide carbonique. On doit donc maintenir la bière sous une contre-pression suffisante pour que l'acide carbonique n'ait pas à s'échapper.

2) Technique de soutirage

A la BRAKINA, le soutirage se fait en bouteilles. Celles-ci passent d'abord par une laveuse, type automatique à chaîne, à un bain de trempage suivi d'une série d'injections. La fig 2 en représente un modèle.

Le soutirage ne peut se faire régulièrement que si l'équilibre de pression est toujours parfait à tous les stades, depuis le TBF jusqu'à la soutireuse et si l'on élimine autant que possible les causes de turbulence de la bière. (vitesse d'écoulement...).

5 - LA PASTEURISATION

Après le soutirage, la bouteille de bière passe par un pasteurisateur où elle est chauffée à une température d'au moins 60° pendant quelques minutes pour la préserver de toute alteration par les micro-organismes (levures). Mais la pasteurisation n'est pas sans inconvénients pour la stabilité colloïdale, ni pour le goût de la bière et l'augmentation de la coloration. Dans le cas de la BRAKINA, la pasteurisation se fait à l'aide d'un pasteurisateur - tunnel. Le schéma de fonctionnement est représenté par la fig 3. La vitesse de marche du Pasteurisateur doit être réglée car dans les petites bouteilles, la bière prendra plus vite la température de l'eau que dans les grandes (bouteilles). Pour garantir l'atteinte de la léthalite il faut au moins 20 UP (Unités de Pasteurisation). Pour contrôler ceci on utilise à la BRAKINA un appareil où on place une bouteille du modèle de celle que l'on pasteurise et y plonge un thermomètre relié à un enregistreur. On lui fait parcourir le trajet à travers le tunnel avec les autres bouteilles. C'est ce qu'on nomme "thermomètre baladeur".

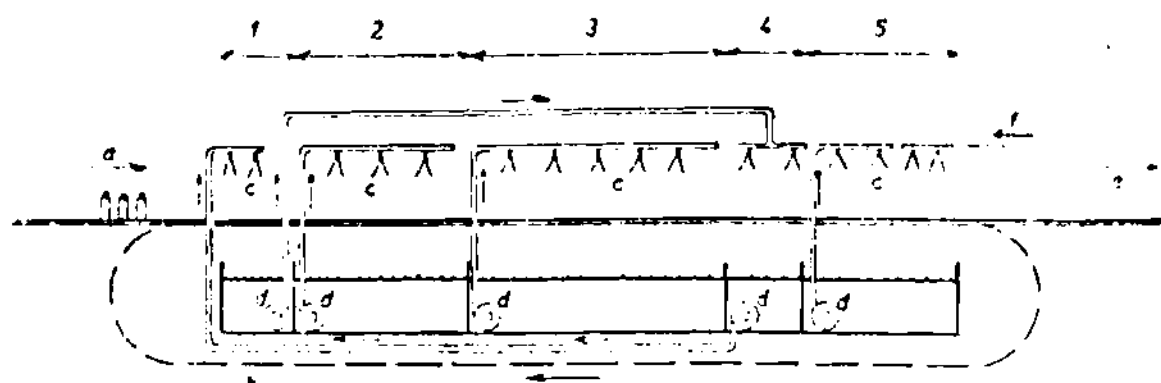


Fig. 3. — Pasteurisateur-tunnel.

1. Zone de pré-chauffage; 2. zone de pré-pasteurisation; 3. zone de pasteurisation; 4. zone de pré-refroidissement; 5. zone de refroidissement;

a. Entrée des bouteilles; b. transporteur sans fin; c. pulvérisateurs; d. pompes; e. sortie des bouteilles; f. conduite d'eau fraîche.

Les températures et durées de séjour dans les différentes zones sont normalement:

1 à 6 minutes de préchauffage à 40°-46°
12 à 14 pré-pasteurisation à 61°-63°
16 à 20 pasteurisation à 58°-61°
5 à 6 pré-refroidissement à 38°-43°
10 refroidissement à la température de l'eau fraîche dont on dispose.

SECTION II : MECANISMES DE PRODUCTION DU DIACETYLE

Afin de mieux proceder à sa réduction, il nous a paru utile d'exposer de manière succincte les mécanismes de production du diacetyte par les bacteries et levures.

I - PRODUCTION DU DIACETYLE PAR LES LEVURES ET LES BACTERIES LACTIQUES

1 - Voies métaboliques

Le lactate, le CO_2 , l'acétate et l'éthanol sont des

produits finaux du métabolisme de la plus part des carbohydrates. Au cours de ce métabolisme le diacetyte et l'acetaldehyde sont de façon évidente des produits intermédiaires. Leur présence en tant que produits finaux de fermentation au cours de certains processus de transformation alimentaire peut être à l'origine de détérioration de la qualité organoleptique de l'aliment.

2 - Métabolisme du diacetyte par les bacteries lactiques

La production du diacetyte et d'acetoïne chez la plupart des bacteries est réalisée à partir du pyruvate. Toute fois, chez les bacteries lactiques, ces deux éléments volatiles sont produits à partir d'autres intermédiaires métaboliques à moins qu'elles disposent d'une source supplémentaire de pyruvate. En effet, chez les homofermentaires tout le pyruvate provenant des hydrates de carbone est réduit en lactate pour régénérer le NAD (fig 4). Tandis que chez les hétérofermentaires, les enzymes conduisant à la production de diacetyte et d'acetoïne sont souvent réprimées. Pour ces espèces bactériennes le métabolisme du citrate constitue un moyen d'obtenir le surplus de pyruvate ultérieurement transformé en diacetyte et Acetoïne (fig 5).

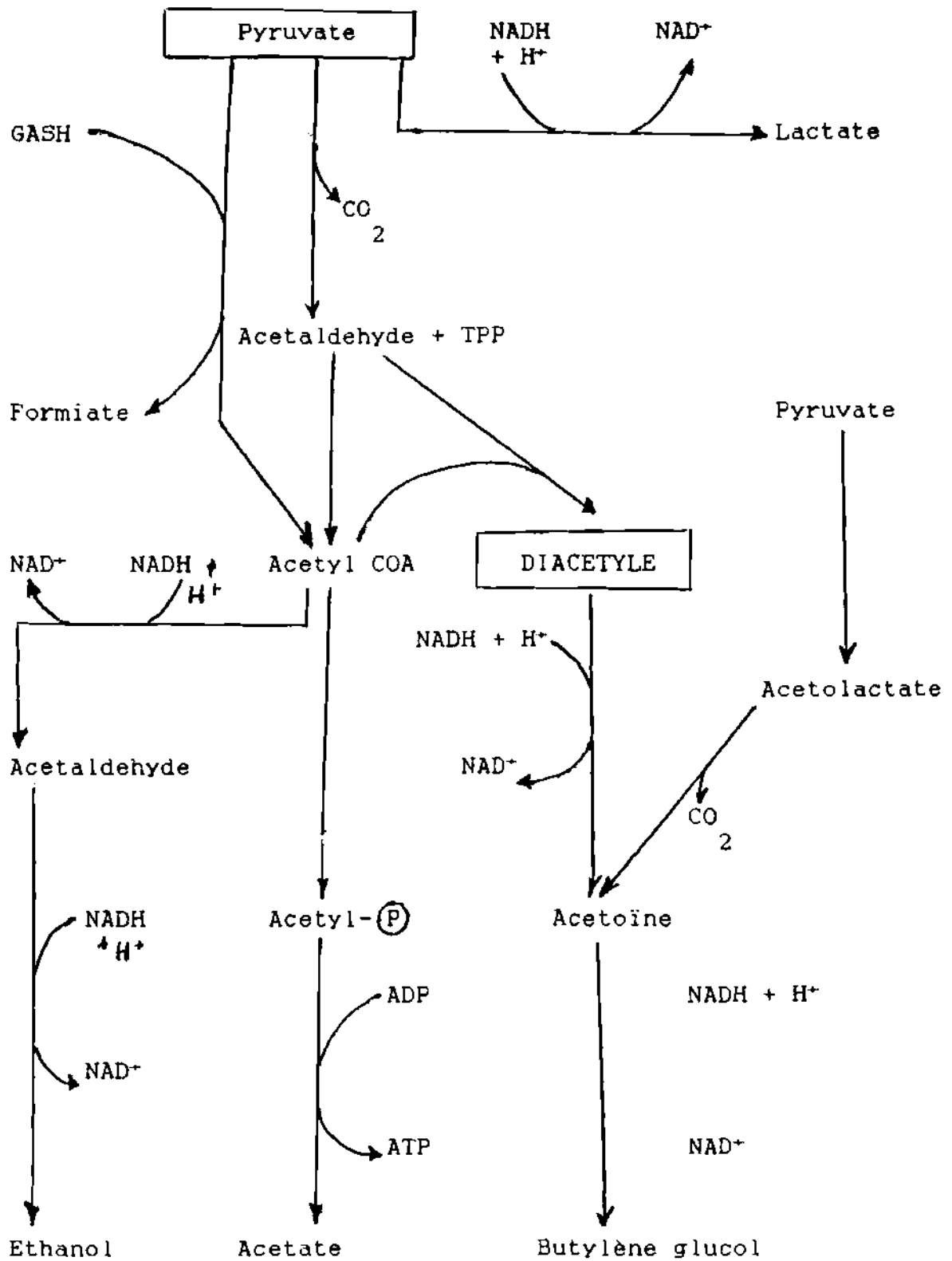


Fig 4 : Voie metabolique de production du diacetyl
par les bacteries lactiques a partir du
pyruvate [15]

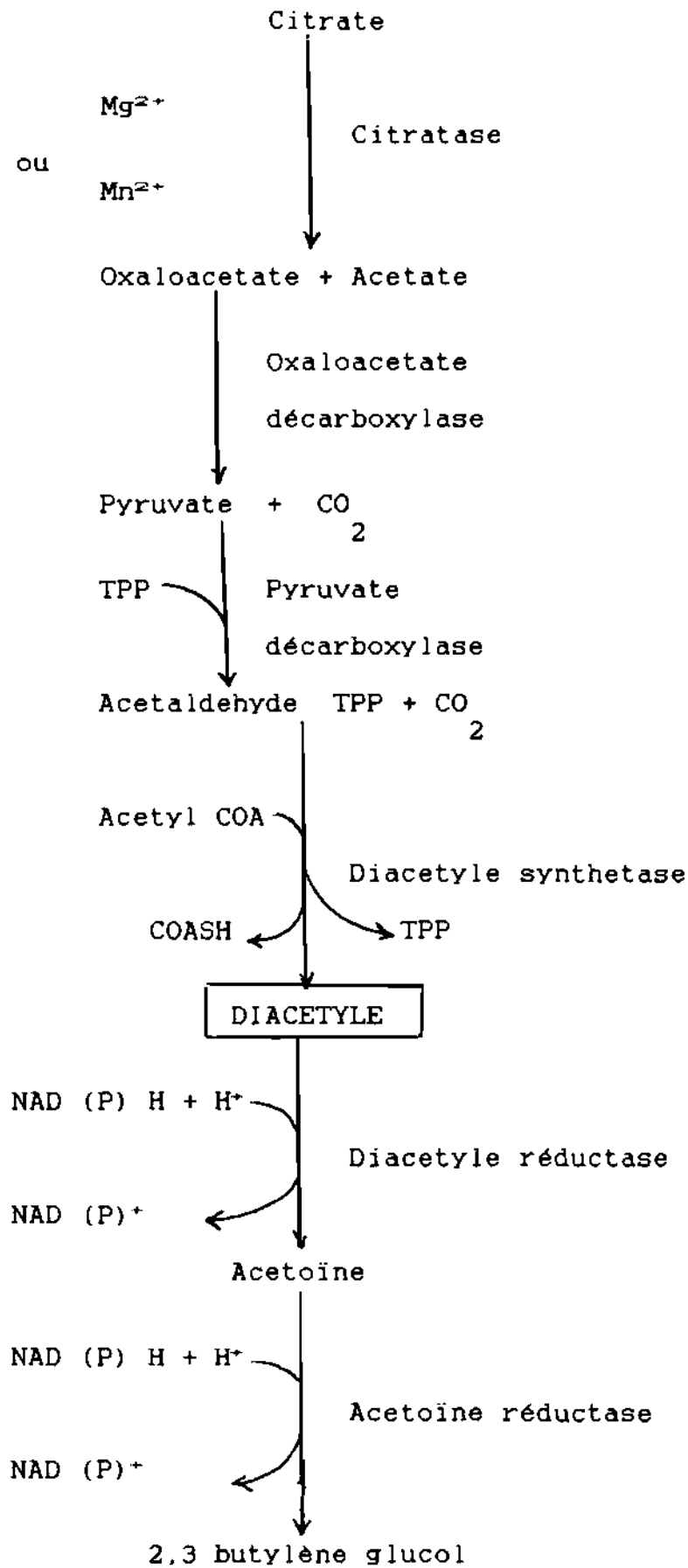


Fig 5 : Voie métabolique de production du diacétyle
par les bactéries lactiques à partir du citrate [15]

3 - Métabolisme du diacétyle par les levures (fig. 6).

Le composé clef de la voie de synthèse du diacétyle par les levures est le pyruvate. Son origine métabolique est le maltose dans le cas de la bière ainsi que d'autres glucides tels que le glucose, le fructose, le saccharose contenus dans le moût. Dans ces cas de métabolisme, le diacétyle dont la synthèse est fortement liée à la production de valine est un intermédiaire métabolique. En conséquence, lorsque le diacétyle se retrouve en quantité importante dans la bière, sa présence est due à l'activité de contaminants divers notamment certains lactobacilles, *Pediococcus*, *Sarcina* et *Saccharobacillus* [5]. Dans ces cas de contamination, le diacétyle est formé dans le milieu à partir de l'alpha acétolactate par une réaction chimique de décarboxylation oxydative. Toute fois la quantité de diacétyle accumulée dans la bière est diminuée du fait de son utilisation ultérieure par les levures pour former du 2,3 butanédiol (via l'acétoïne) (Tableau II [16]).

Par ailleurs, le 2,3 pentanédione, autre dicétone volatile responsable de faux-goût au niveau de l'indice de contamination, semble être produit à partir des acides aminés contenus dans le moût, notamment l'acide Aspartique, et la thréonine (fig 7).

4 - Valine et production du diacétyle par les levures (fig. 8)

Les acides aminés peuvent être classés par ordre d'incorporation dans la levure de brasseries en quatre groupes selon Pierce et Jones [17] :

Groupe A : Arg, Asp, Asn, Gln, Glu, Lys, Ser, thr

Groupe B : His, Ile, Leu, Met, Val

Groupe C : Ala, Gly, Phe, Try, Tyr

Groupe D : Pro (non assimilé).

Chaque acide - aminé peut être synthétisé tout le long de la croissance, à partir du squelette hydrocarboné provenant soit des acides aminés parents, exogènes, soit du métabolisme des glucides.

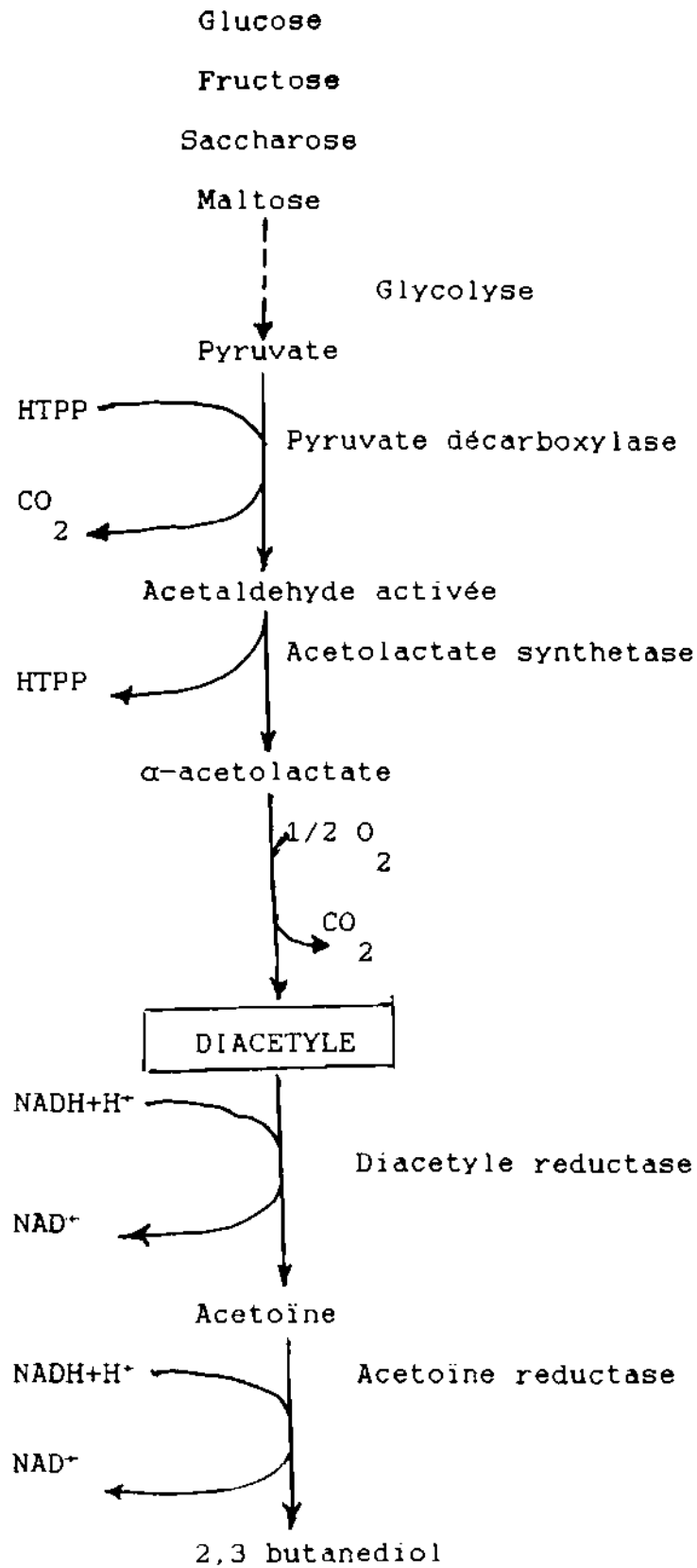


Fig 6 : Voie métabolique de production de diacétyle par les levures. [15]

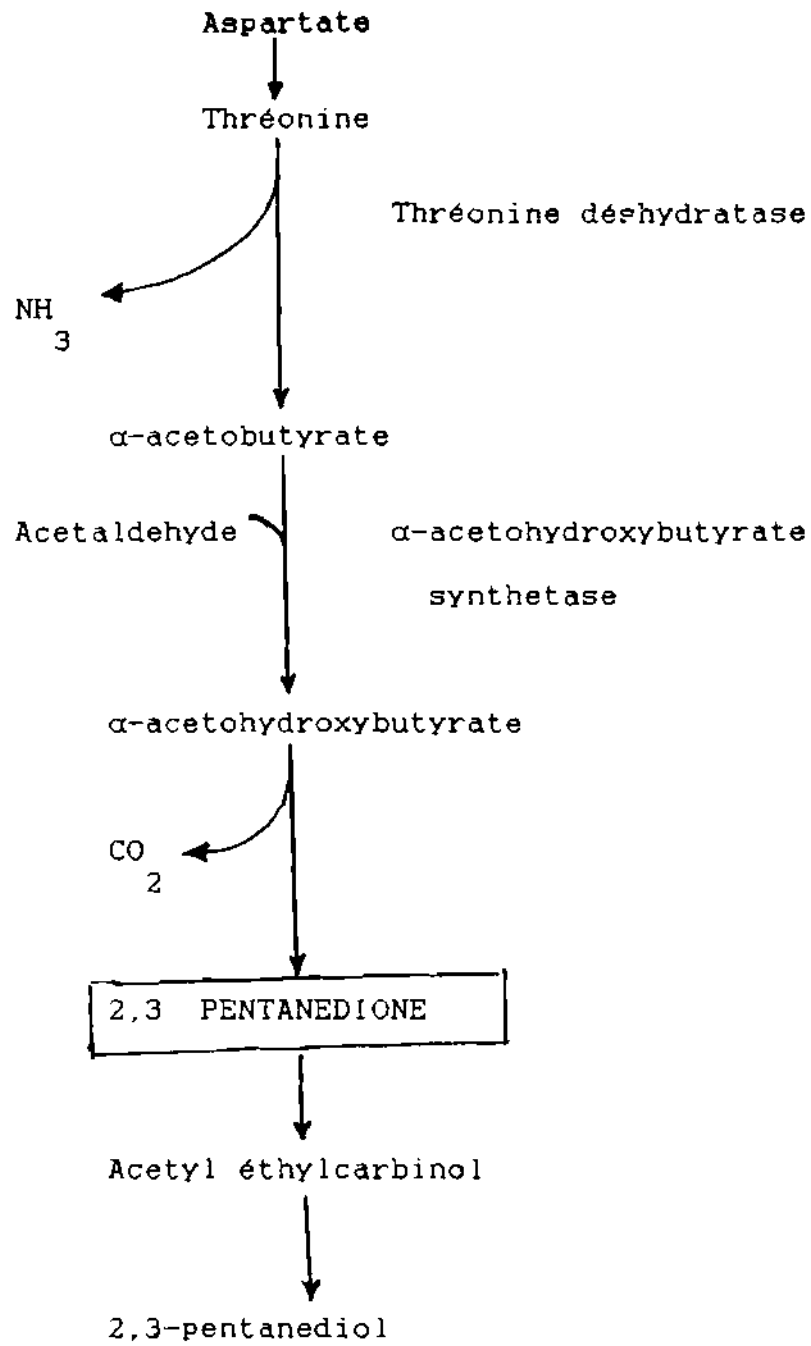


Fig 7 : Voie métabolique de production du 2,3 pentanedione par les contaminants.

(Dillemans et Coll 1987)

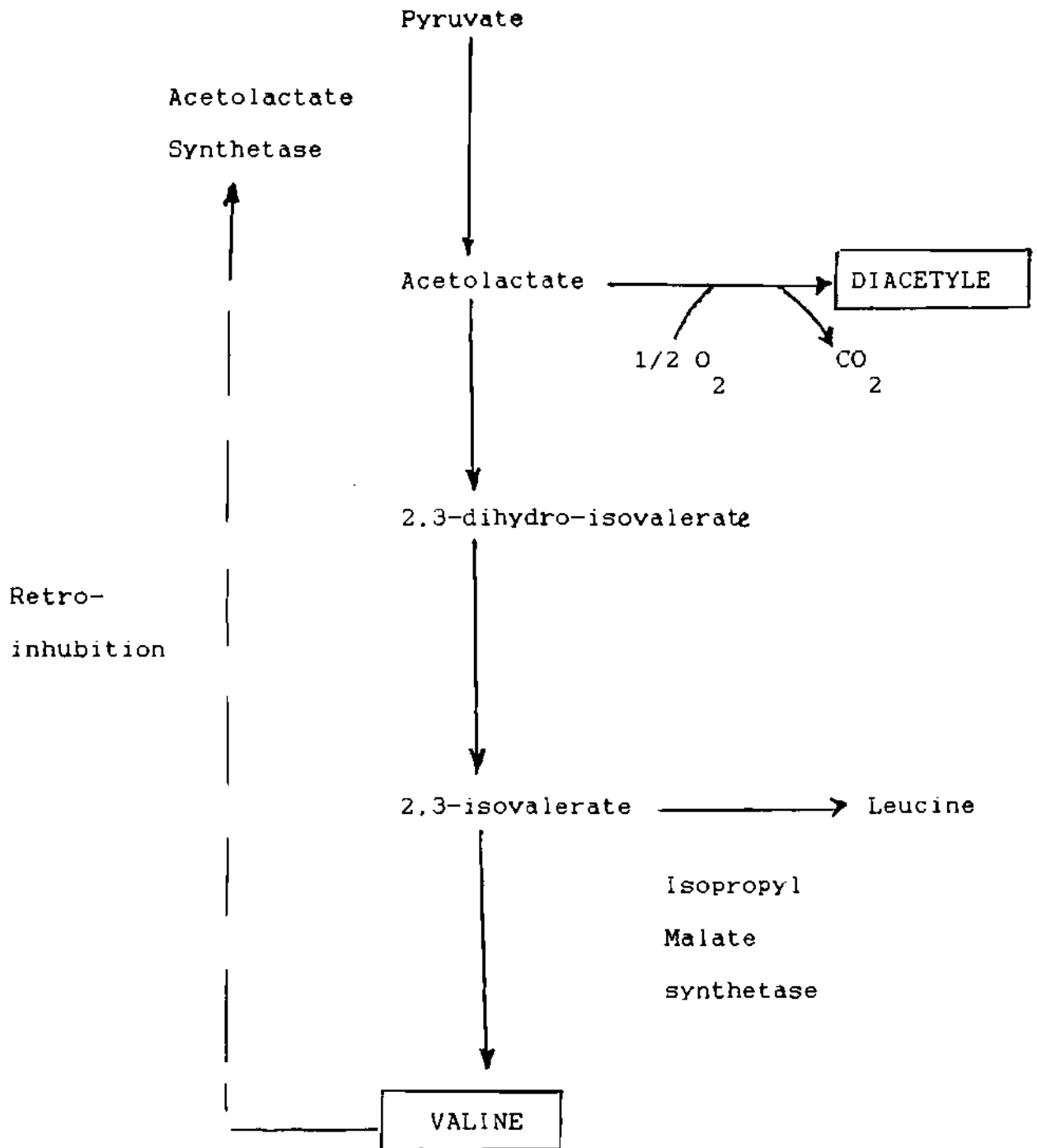
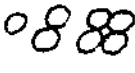


Fig 8 : Voie métabolique montrant la relation entre la Valine et production du diacétyl par les levures.[15]

		LACTIQUES		ACETIQUES		COLIFORMES		ACHROMOBACTERIACEAE	
		Lactobacillus (Saccharobacilles)	Pediocoques damnosium (Sarcines)	Acetobacter Sp "Acétiques de" Brasseries	Acetomonas oxydans (Variétés visqueuses)	Escherichia coli	Aerobacter "Thermo" aerogeus	Lavobacterium Proteus	Achromobacter Anaerobius
CARACTERI- SATION BACTERIOLO- GIQUE	Aspect Micros- copique		 1μ	 0.5-1μx2-3μ	 1μx2-3μ	 0.5μx1-3μ	 0.5-0.8μx1-3μ	 1μx2-4μ	 1.5μx2-3μ
	Coloration Gram	+	+	-	-	-	-	-	-
	Catalase	Aerobies Facultatifs	Aerobies Facultatifs	+ Aerobies	Aerobies + Facultatifs	Aerobies + Facultatifs	Aerobies + Facultatifs	+ anaerobies-préf	
	Fermentation Lactique	Variable	-	-	-	+	+	-	+
	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	Mobilité	-	-	-	-	+	+	-	+
COMPORTEMENT EN BRASSERIE	Mode d'intro- duction en Brasserie	?	Air - Eau	Air - Eau fûts et bouteilles	Air - Eau fûts et bouteilles	Eau	Eau	?	fûts
	Propagation en Brasserie	Levain air	Levain air	Levain air	Levain air	Appareillage	Appareillage	Levain	fûts

TABEAU 11. CARACTERISATION ET COMPORTEMENT EN BRASSERIE DES CONTAMINANTS EN BRASSERIE DES CONTAMINATIONS [16]

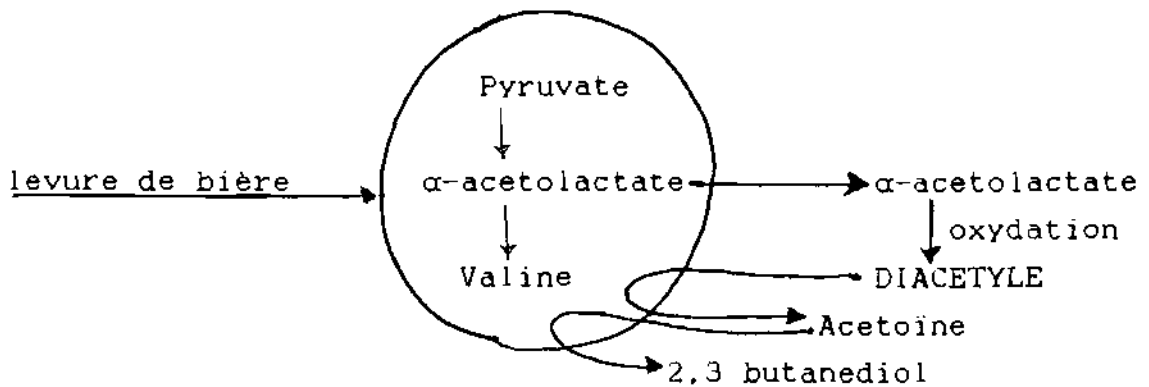
TABLEAU II₀ (Suite)

		LACTIQUES		ACETIQUES		COLIFORMES		ACHROMOBACTERIACEAE	
		Lactobacillus (Saccharobacilles)	Pediococcus damnosus (Sarcines)	Acetobacter Sp "Acétiques de" Brasseries	Acetomonas oxydans (Variétés visqueuses)	Escherichia coli	Aerobacter "Thermo" aerogenus	Lavobacterium Proteus	Achromobacter Anaerobius
COMPORTEMENT EN BRASSERIE	Milieu de Croissance	Levain-Moût en fermentation bière	Levain-Moût en fermentation bière	Levain-Moût en fermentation haute-bière exposée à l'air	Levain-Moût en fermentation haute-bière même en bouteilles	Moût	Moût	Moût en fermentation	Bière en fûts
	Effets	"Tourne bières" Trouble, dépôt acidification faux-goût	Altération des bières: Troubles, dépôt. Odeur de Diacétyl	Altération de la bière: Dépôt trouble, voile, viabilité	Altération de la bière: voile, viscosité	Altération du Moût: Odeur putride	Altération du Moût: Odeur celéri	Pas d'effets	Dégradation rapide, Trouble "Odeur de H ₂ S"

TABLEAU II₀: CARACTERISATION ET COMPORTEMENT EN BRASSERIE DES CONTAMINANTS EN BRASSERIE DES CONTAMINATIONS [16]

En début de fermentation, seuls les acides aminés du groupe A sont incorporés. De ce fait, la levure produit de la Valine nécessaire à sa croissance à partir d'une chaîne de réactions biochimiques également productrices de diacétyle. Lorsque les acides aminés du groupe B sont incorporés dans la levure, la Valine alors en excès, exerce une action inhibitrice au niveau de l'acétolactate synthétase. De ce fait la voie de production du diacétyle est bloquée. D'autre part, un excès de leucine provoque l'inhibition de l'isopropylmalate synthétase et conséquemment une forte production de Valine.

Cet ensemble d'observations permet d'affirmer que la levure, lors de sa croissance, produit de l'alpha-acetolactate qui est un intermédiaire dans la biosynthèse de la valine. Une fraction de l'alpha-acetolactate est excrétée par la levure et subit une décarboxylation oxydative non enzymatique dans le moût. Les bactéries lactiques forment le diacétyle soit par décarboxylation enzymatique de l'alpha-acetolactate, soit par condensation du complexe acétaldéhyde thiamine pyrophosphate avec l'acetyl COA. Le diacétyle formé est ensuite réduit par la levure en acétoïne puis en 2,3 butanediol, un composé semble-t-il peu gênant.



Devenir du diacétyle

ORIGINE DE L'OXYGENE MOLECULAIRE DANS LA BIERE

SECTION III

Bien que ce travail ait pour but l'étude des facteurs intervenant sur la dissolution de l'oxygène de l'air lors du processus de fabrication de la bière, il est important avant tout d'exposer l'aspect théorique des phénomènes d'oxydo-réduction et l'oxydation par l'oxygène moléculaire. Cela permettra de mieux comprendre et connaître le rôle néfaste que peut jouer l'oxygène sur la qualité organoleptique de la bière.

1 - L'OXYGENE

L'oxygène est l'élément le plus abondant de la couche terrestre. On en trouve dans les eaux naturelles et les roches. Il représente un pourcentage important dans l'air atmosphérique. C'est un gaz incolore, inodore et insipide. L'oxygène a longtemps permis la définition de la notion d'oxydation qui signifiait à l'origine la fixation d'oxygène sur un corps ou une liaison. Sa présence dans la bière peut être due aux opérations d'oxygénation et d'aération ou enfin à un contact fortuit entre la bière et l'oxygène de l'air au cours des différents traitements :

- l'oxygénation est une action typiquement physique qui consiste à dissoudre de l'oxygène moléculaire dans le moût. Une teneur en oxygène de 9 à 12 mg/l dans le moût avant fermentation permet à la levure une bonne multiplication cellulaire lors de la phase aérobie et un bon départ de la fermentation.

- l'aération est un phénomène semblable qui consiste à réaliser la dissolution de l'air ($N_2 + O_2 +$ autres gaz) - dans le moût. Cela permet dans les conditions habituellement rencontrées en brasserie, d'avoir un taux d'oxygène dissous dans le moût de l'ordre de 6 à 9 mg/l.

La dissolution de l'oxygène dans la bière est responsable des phénomènes d'oxydation nuisibles pour la qualité organoleptique de cette boisson. En conséquence une connaissance parfaite du potentiel redox du moût et de la bière est importante pour la production d'une bière de bonne qualité.

Le système redox de la levure au niveau des transporteurs de la chaîne respiratoire peut être mesuré à pH 7 et à 30° C.

Tableau [3] : Système redox de référence : $2H^+/H_2 = - 0.42$ volts

Systèmes redox	Potentiel redox
- $1/2 O_2/O_2^{\cdot -}$	+ 0,81 Volts
- cytochrome a $F_{\cdot}^{3+}/F_{\cdot}^{2+}$	+ 0,29 Volts
- cytochrome c $F_{\cdot}^{3+}/F_{\cdot}^{2+}$	+ 0,26 Volts
- cytochrome b $F_{\cdot}^{3+}/F_{\cdot}^{2+}$	+ 0,04 Volts
- FAD/FADH ₂	- 0,10 Volts
- NAD ⁺ /NADH + H ⁺	- 0,32 Volts

On constate d'après ce tableau que les potentiels redox (E_0) décroissent de l'oxygène par les cytochromes, qui font partie du système mitochondrial de transport d'électrons vers les co-enzymes de déshydrogenase. Ceci nous permet de prévoir que la direction de transfert d'électrons se fera vers le système dont le potentiel est supérieur c'est-à-dire l'oxygène.

Le symbole rH exprime en brasserie le niveau d'oxydation. Il représente le logarithme négatif de la pression d'hydrogène réducteur (H_2) qui règne dans le milieu. L'emploi du symbole rH en brasserie se justifie par le fait que dans les moûts et les bières, le pH ne varie que dans des limites étroites et l'erreur qu'on pourrait commettre en exprimant le niveau d'oxydation en rH sera donc très minime et toujours inférieure aux erreurs de mesures.

L'échelle de rH se présente de la façon suivante [3].

Neutralité		
0	27	42
zone réductrice		zone oxydante

A partir de la neutralité, plus la valeur de rH est grande, plus le milieu est oxydant. Au cours de la fabrication de la bière les valeurs de rH tendent vers zéro et dépendent du pouvoir réducteur du milieu.

A certains stades de la fabrication de la bière, il est possible d'intervenir sur les valeurs de rH. En effet, un abaissement de ces valeurs peut être obtenu en agissant indifféremment sur les paramètres suivants : [3].

- la nature de la matière première (malt du type Munick, ombré, caramel etc...)
- la méthode de brassage (cuisson, limitation de la dissolution de l'air)
- la composition du moût (réductones, mélanoidines)
- la technique de fermentation (levures saines, dose de levure, cuves fermées, températures modérées)
- la méthode de filtration (limitation de la dissolution de l'air, ayant des réducteurs)
- le type de pasteurisation (modéré, UP peu élevées, faible taux d'oxygène dissous et de l'air au col des bouteilles)

2. - Solubilité de l'oxygène dans l'eau, moût, bière.

La dissolution (Absorption) de l'oxygène est un phénomène physique qui consiste dans les conditions optimales de dissoudre en phase liquide l'oxygène soluble en phase gazeuse. Le phénomène inverse s'appelle la désorption.

Les phénomènes d'absorption et de désorption sont assez complexes, nous nous contenterons de donner ici un aperçu sur la solubilisation de l'oxygène dans les liquides à l'aide de trois lois fondamentales de physique et de physico-chimie, telles que la loi de Henry, Dalton, et Fick qui régissent bien les phénomènes de diffusion et d'équilibre entre gaz et liquide. En nous basant sur ces trois lois sus-citées nous pouvons dire que la dissolution de l'oxygène de l'air dans le moût et bière dépend :

- de la nature du liquide (moût, bière...)
- de la température et pression, (plus la température et la pression sont élevées, plus la dissolution est importante et vice-versa).
- de la pression partielle de l'oxygène dans un mélange gazeux, (l'accroissement de la pression va augmenter la dissolution).
- du gradient de concentration en oxygène entre l'air et le liquide.
- de la valeur des interfaces entre l'air et de liquide et du renouvellement de celui-ci. Plus la surface de contact du liquide avec l'air est grande plus la dissolution est importante (agitation, turbulence, brassage, convection).

Il faut souligner que la diffusion de l'oxygène dans la bière (liquide carbonate) s'écoulant dans un tank pressurisé à l'air est inférieure à celle de l'eau (liquide non carbonaté). Cela résulte du fait que le CO_2 tend plus rapidement vers un équilibre, puisque la pression partielle du CO_2 dans la phase gazeuse est faible.

3 - Contribution des matières premières et du process sur la formation des réducteurs.

On considère les réducteurs en brasserie comme étant des substances capables de réduire l'oxygène moléculaire dans un milieu aqueux leur pouvoir réducteur peut être déterminé par des méthodes au nombre desquelles on cite celle de De CLERK et Van cauwenberge [6].

Selon le temps de réduction du 2.6. Dichlorophénol indophénol (DIP) ces auteurs ont classé les réducteurs en trois catégories :

- a) réducteurs immédiats (réduction du DIP en 15 secondes) :
réductones (Acide ascorbique)
- b) réducteurs rapides (réduction du DIP en 5 minutes) :
melanoïdines.
- c) réducteurs lents (réduction du DIP en 2,5 heures) :
polyphénols.

Il faut souligner que, entre ces trois catégories de réducteurs, il n'y a pas frontière bien précise.

Les réductones sont fortement réducteurs (rH environ 11) ils se forment lorsque l'on chauffe des sucres en milieu alcalin.

Les melanoïdines se forment à chaud surtout en milieu aqueux concentré. Ce sont des combinaisons sucres et d'acides aminés ou de chaînes protidiques comportant des groupements aminés libres (Réaction de Maillard).

Les Polyphénols ont une grande importance qualitative en particulier sur la formation des troubles colloïdaux et le vieillissement de la bière.

On peut distinguer deux types de réducteurs : naturels d'une part, et artificiels d'autre part. Les réducteurs naturels se trouvent dans les matières premières et se forment en grande partie lors de la fabrication. Par contre les réducteurs artificiels sont fabriqués en dehors de la brasserie et représentent en général des substances pures prêtes à l'emploi.

4 - Absorption et réduction de l'oxygène de l'air au cours de la fabrication de la bière

Il est intéressant de connaître les quantités d'oxygène absorbées et réduites, afin de pouvoir diminuer son action néfaste sur la qualité de la bière :

4.1 - Concassage

Peu de travaux ont été réalisés sur l'apport de l'oxygène par la mouture sèche ou mouture humide du malt et l'influence sur la qualité de la bière.

4.2 - Empâtage - maische

Les travaux de Lie et coll [14] ont montré que les valeurs de l'absorption de l'oxygène à l'empâtage (20 à 50 mg O_2 /l) sont plus importantes que celles observées lors de l'ébullition (5 à 25 mg O_2 /l) et dans le Whirl pool (5 à 30 mg O_2 /l). Dans tous les cas l'absorption augmente fortement pendant la montée en température.

4.3. Filtration de la maische

Il a été mis en évidence par Desrone et coll [10] qu'une dissolution excessive d'oxygène dans la maische diminue de l'ordre de 2,5 la filtrabilité du moût. Dans ce cas le Teig qui est une matière colmatante de couleur brunâtre et majoritairement constitué de protéines se concentre dans la partie supérieure et forme un capuchon imperméable rendant la filtration difficile quand bien même celle-ci est réalisée sous une pression de l'ordre de 1 bar.

4.4. Ebullition du moût

L'ébullition du moût est une étape importante dans le processus de la fabrication de la bière. En effet, WAN LAER et ROLENTAL [22] ont montré que la fixation de l'oxygène est étroitement dépendante non seulement de l'agitation et du pH, mais également et surtout de la température d'ébullition du moût.

DE CLERCK J. et H. VAN CAUWENBERGE [6] de leur côté ont étudié avec précision la fixation d' O_2 par le moût et ont rapporté que des moûts de brassins entièrement réalisés à l'abri de l'air restaient très troubles et que les bières qui en résulteraient, conservaient un trouble laiteux qui reste en suspension. Il en résulte que la réaction d'oxydation commencée en chaudière se poursuit pendant le refroidissement mais qu'elle ralentit lorsque la température descend au dessous de 80 - 85° C.

Selon DE CLERCK J. [7] l'oxydation des moûts est nécessaire mais doit être limitée. Son affirmation est soutenue par le constat que toute bière préparée à l'abri de l'air est instable et de mauvaise qualité.

4.5 - Fermentation

Le moût mis en fermentation doit contenir une certaine quantité d'oxygène dissous pour assurer une multiplication satisfaisante de la levure. Dans la plupart des brasseries et principalement à la BRAKINA, l'aération du moût est réalisée à l'aide d'une bougie poreuse en acier inox installée dans la tuyauterie du moût. L'air exempt d'humidité et de traces d'huile est introduit dans le moût sous une pression de 2 bars et un débit de 4 à 8 m³ Air/heure. Une telle aération est adéquate pour un flux de 200 à 300 Hl de moût/heure. Toute fois le taux d'oxygène dissous varie en fonction de la souche de levure utilisée. En effet, les levures peuvent être réparties en quatre classes en fonction de leurs besoins en oxygène dissous dans le moût. KIRSOP B. H. [13]. a proposé la répartition suivante :

- les levures de la classe 1 ont besoin de 4 mg O₂/l
- les levures de la classe 2 ont besoin de 8 mg O₂/l
- les levures de la classe 3 ont besoin de 40 mg O₂/l
- les levures de la classe 4 ont besoin plus de 40 mg O₂/l
- la BRAKINA utilise les levures de 2^e classe.

Il est à noter que la présence de l'oxygène tout en étant indispensable pour la croissance de levures, permet la synthèse et l'accumulation dans la levure de sterols (Ergosterol) et d'acides gras insaturés. Les Stérols formés constituent une réserve énergétique et représentent un facteur de survie nécessaire à la levure lors de la fermentation. Au début des fermentations, l'oxygène dissous est réduit après 4 à 5 heures pour les cas de fermentation accélérée et après 10 à 11 heures au cours des fermentations classiques. Toutefois la vitesse de réduction est dépendante de la souche et de l'âge de l'inoculum. Au cours de la fermentation, l'oxygène dissous exerce une influence directe sur la production et l'accumulation d'un grand nombre de produits secondaires qui du reste jouent un rôle prédominant sur la qualité organoleptique de la bière. Ainsi une augmentation de l'oxygène dissous dans le moût conduit à un accroissement de la production de 2,3-Pentanedione et du diacétyl.

4.6. Garde

La garde est la phase de la technologie de la fabrication de la bière au cours de laquelle tout apport d'oxygène peut nuire à la stabilité et la flaveur de la bière. En effet, la présence d'oxygène à ce stade provoque l'oxydation de l' α -acetolactate en diacétyle qui, s'il n'est pas ultérieurement réduit par la levure, reste accumulé dans la bière. Dans les tanks de garde, l'absorption de l'oxygène au traversage est due principalement à la formation d'une "fontaine" lors du remplissage et ensuite par le maintien en mouvement de la partie supérieure de la bière.

4.7. - Filtration

L'oxygène dissous au cours de la filtration dépend de la quantité qui se trouve dans la bière à l'arrivée du filtre, de l'eau et d'autres facteurs.

4.8. Tanks de Bière Filtrée (TBF)

L'absorption de l'oxygène par la bière lors du remplissage du TBF est semblable à celle en tank de garde. D'après EYBEN et VAN DROGEN BROEK [11] l'usage des déflecteurs placés devant l'orifice d'entrée de la bière dans un tank peut réduire de moitié la prise d'oxygène. La réduction de la vitesse d'écoulement (1,69 à 0,85 m/seconde) de la bière dans le TBF peut réduire l'absorption de l'oxygène (1,62 mg O_2 /l à 1,02 mg O_2 /l).

4.9. - Le soutirage

La dissolution de l'oxygène dépend de la conception de la soutireuse, de la longueur des cannules, de la vitesse de remplissage et du type de gaz et pression utilisés lors du soutirage d'après EYBEN et VAN. DROGEN BROEK [11].

4.10. - Bière en bouteilles

SOBERKA R. [20], a démontré que l'oxygène dissous dans la bière conservée en bouteille pendant plusieurs semaines réduit le taux d'isohumulones, accroît l'acetaldehyde, le diacétyle et certains alcools supérieurs.

CHAPITRE III : MATERIELS ET METHODES

SECTION 1 : DOSAGE DU DIACETYLE DANS LA BIERE

I - Appareillage

- Spectrophotometre avec lampe dentérium, cuvettes de quartz de 1,0 cm ;
- Rampe de distillation constituée
 - . d'un ballon à col court, à rodage côneique 1000 ml
 - . d'un allonge
 - . d'un réfrigérant à serpentín (Voir schéma).
- Eprouvettes graduées, 200 ml
- Fioles jaugées 100 ml, 50 ml
- Pipettes 10 ml
- Pipettes de précision pipernam 2 ml, 500 microlitres
- Erlenmeyer 25 ml
- Balance

II - Réactifs

1 - HCl 4N

2 - Orthophénylène Diamine $C_6H_4(NH_2)_2$ 1 %.

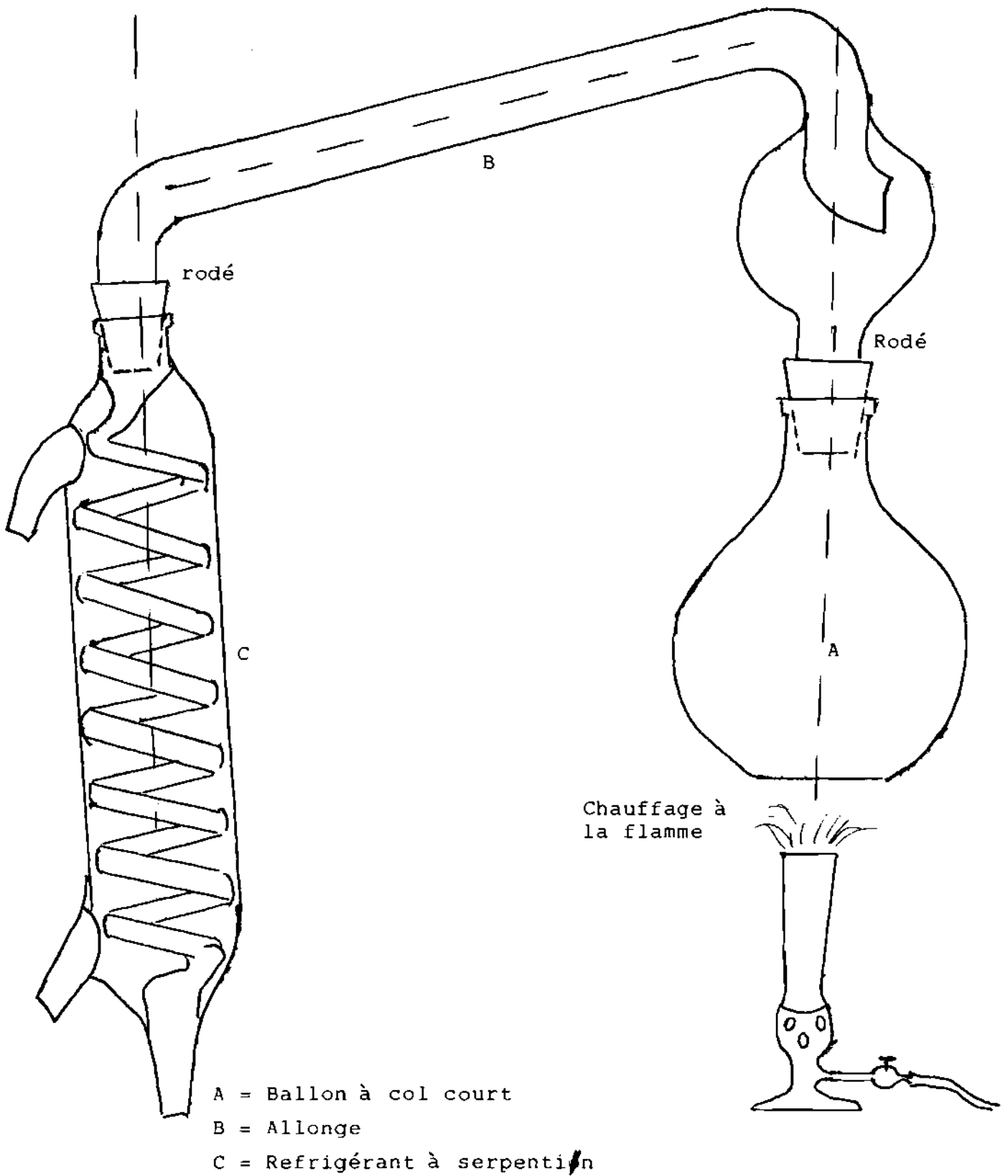
La préparation de ce réactif consiste à peser 0,1 g de O.P.D. dans une fiole de 50 ml que l'on dissout dans l'eau à 40-50° C en le complétant à 10g. Puis on bouche et entoure la fiole de papier aluminium afin de le garder dans l'obscurité.

3 - Alcool à 10 %

L'alcool à 10 % se prépare en pipetant 10 ml d'éthanol à 96 % que l'on dilue à 100 ml avec de l'eau.

60

320 mm



APPAREIL A DISTILLER POUR LE DOSAGE DU DIACETYLE

III - MODE OPERATOIRE

Le dosage du Diacetyte consiste à préparer 200 ml de bière non dégazée dans une éprouvette : Si l'échantillon provient d'un tank de garde, il faut le filtrer au préalable. On le distille ensuite pour recueillir 50 ml de distillat qu'on agite pour l'homogénéiser. La distillation ne doit pas dépasser 20 min. Cependant lors de l'ébullition on doit la surveiller pour éviter un débordement de la mousse. On pipette 10 ml du distillat dans un erlen de 25 ml auquel on ajoute 500 microlitre O.P.D. 1 %. On agite puis l'on place à l'obscurité pendant 25 minutes. Après ce temps, on ajoute à l'ensemble 2 ml de HCl 4N et on mélange.

La mesure du taux de diacetyte se fait par le biais de l'absorbance A qui est elle même mesurée à 335 nm dans les cuves en quartz contre le blanc.

La préparation du blanc se fait en pipetant 10 ml d'alcool 10 % auquel on ajoute 500 microlitre de O.P.D. 1 % puis 2 ml d'HCl 4N et on mélange. Le taux de Diacetyte est donné par la formule suivante :

$\text{Diacetyte} = 2,7 \times A \text{ en ppm}$
--

On donnera le résultat avec 2 décimales.

SECTION II : RECHERCHE DES CONTAMINANTS

Il nous a paru utile après constatations d'une évolution défavorable du diacetyte de rechercher la présence des contaminants dans la bière lors de la garde.

I - Appareillage

- 1 - Chalumeau pour produire la flamme.
- 2 - Bouteilles hermétiquement fermables contenant de l'eau stérile.
- 3 - Pissette d'alcool.
- 4 - Boîtes de Petri à usage unique.

- 5 - Rampe de filtration sous vide.
- 6 - Membranes sartorius de porosité 0.45 micron
- 7 - Etuve pour incubation
- 8 - Microscope
- 9 - Milieux sélectifs :
 - milieu WLD différentiel liquide pour recherche des sarcines, bacilles et bacilles acétiques, lactobacilles.
 - milieu ENDO liquide pour recherche des coliformes
 - milieu TOTAL liquide pour recherche des germes totaux.

Nous n'avions pas pu connaître exactement la composition des différents milieux sélectifs. Toute fois nous savons que ces milieux contiennent une concentration variable de l'actidione lequel inhibe la croissance des levures de brasserie mais favorise celle des contaminants recherchés.

II - MODE OPERATOIRE

I - Prélèvements des échantillons

Le prélèvement des échantillons se fait sous protection de la flamme, dans des bouteilles juste après avoir été vidées de leur contenu en eau stérile. On doit au préalable rincer le robinet pour prélèvement du tank avec de l'alcool.

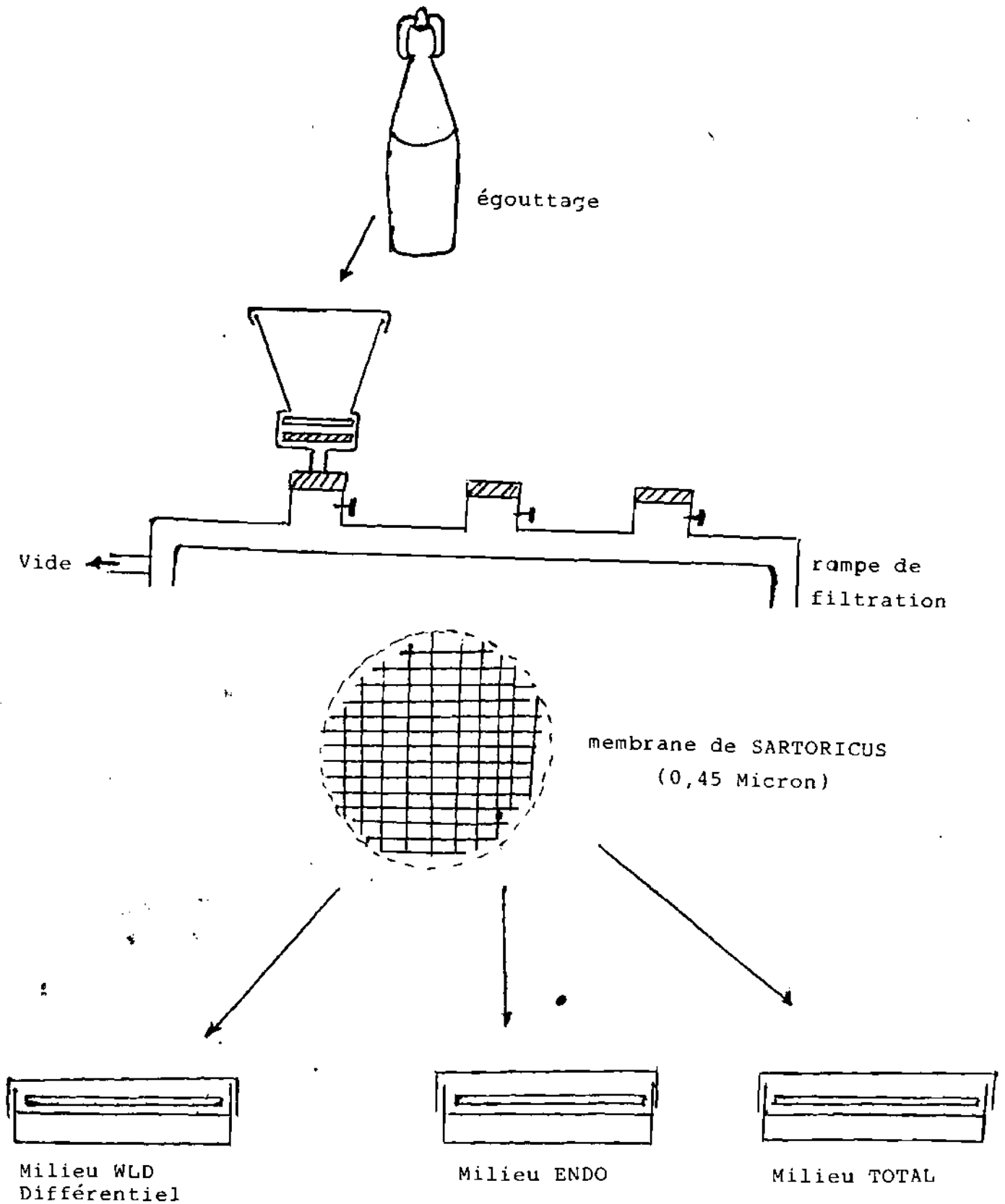
2 - Traitement des prélèvements

La technique utilisée pour le traitement des prélèvements est celle de la filtration sur membrane. Pour ce faire on filtre le prélèvement sur la membrane de Sartorius de porosité 0.45 micron sous une protection permanente de flamme afin d'éviter une éventuelle contamination (moisissures, levures sauvages).

On prend :

- 200 ml de prélèvement pour le milieu TOTAL : dans ce cas on divise la lecture par 20.
- 100 ml de prélèvement pour les autres milieux et, on lit directement.

2 - Traitement des prélèvements



On coule ensuite chaque milieu liquide dans une boîte de Petri à usage unique.

On place enfin sur chaque milieu une membrane sur laquelle on a préalablement filtré le prélèvement

3 - Incubation

L'incubation se fait à 38°C pendant 48 à 72 h dans une étuve.

4 - Lecture directe après incubation

Cette méthode est intéressante car on se place dans des conditions qui favorisent les contaminants aux dépens des levures. Mais l'inconvénient de cette méthode est son aspect purement qualitatif alors que pour une identification fine des contaminants, on est amené à faire une coloration de Gram pour une lecture au microscope.

SECTION III : DETERMINATION DE LA DENSITE DU MOUT PRIMITIF

I - METHODE ANCIENNE AVEC DISTILLATION

I - Appareillage

- 1 - Rampe de distillation (voir schema)
- 2 - Eprouvettes graduées 250 cc
- 3 - Bechers 250 ml
- 4 - Saccharomètre (Balling temperature 20°)

II - MODE OPERATOIRE

La détermination de la densité du moût primitif consiste à prendre 250 ml de bière dégazée dans une éprouvette graduée qu'on a rincée plusieurs fois avec de l'eau distillée. On transvase dans le ballon de distillation puis on porte à l'ébullition. On recueille 160 ml d'alcool. La distillation est arrêtée et on laisse le restant dans le ballon pour refroidissement.

On le transvase ensuite dans l'éprouvette graduée et on complète jusqu'à 250 ml à nouveau avec de l'eau distillée tout en prenant le soin de rincer le ballon plusieurs fois.

On prend le balling à l'aide du Saccharomètre. Pour ce faire, on plonge le saccharomètre dans la solution contenue dans l'éprouvette. On lit le balling et la température. Si la température est supérieure à 20°C on la retranche du balling lu et si elle est inférieure à 20°C on l'ajoute.

Compte tenu du fait que le moût est composé des sucres fermentescibles (maltose) et des dextrines, la bière est composée d'alcool, de CO₂ et de dextrines.

La reconstitution du moût primitif est donnée par la formule de Balling suivante :

$$[2,0665 \times PA/100 \text{ cc} + ER] \times 100$$

$$\text{Moût primitif : } \frac{100 + 1,0665 \times PA/}{100 \text{ cc}}$$

$$\begin{matrix} E \\ A \end{matrix} = \text{Extrait apparent} = 1,5$$

$$\begin{matrix} E \\ R \end{matrix} = \text{Extrait réel} = 3,2$$

$$\frac{PA/}{100 \text{ cc}} = \text{Alcool \%} = \left(\frac{E}{R} - \frac{E}{A} \right) \times 2,22$$

2.22 = facteur conventionnel

II - METHODE AVEC REFRACTOMETRE THERMOPRISME

On mesure actuellement à la BRAKINA la teneur en extrait à l'aide du refractomètre thermoprisme pour l'analyse de la bière. Cette méthode permet de reconstituer la densité primitive sans distillation. C'est donc un grand avantage.

I - Appareillage

- 1 - Refractomètre thermoprisme
- 2 - Bain marie
- 3 - Source lumineuse
- 4 - Pycnomètre de 50 ml
- 5 - Bechers
- 6 - Entonnoirs de Filtration
- 7 - Balance
- 8 - Papier et poudre à filtrer.

II - MODE OPERATOIRE

La mesure de la teneur en extrait à l'aide du refractomètre thermoprisme consiste à dégazer la bière dans les bechers qu'on filtre. Après avoir pesé les pycnomètres à vide, on les remplit de la bière filtrée qu'on place dans un bain marie à 20° C pendant 20 minutes.

On pèse ensuite les pycnomètres contenant de la bière filtrée puis ceux-ci sont remplis d'eau distillée qu'on replace dans un bain-marie à 20° C pendant 20 minutes. On pèse maintenant les pycnomètres contenant de l'eau distillée. On procède enfin à la lecture de l'indice de refraction de la bière. Mais avant cela, il faut étalonner le refracto en ramenant à 85 l'indice de refraction de l'eau. Pour ce faire on place à l'aide d'une pipette une goutte d'eau sur le thermoprisme du refracto. On attend à ce que la température se stabilise à 20° C avant de faire la lecture.

R = 100 - lecture au refracto

R = est l'indice de refraction

R eau = 85

Calcul :

P_b = Poids du Pycnomètre contenant de la bière

P_e = Poids du Pycnomètre contenant de l'eau

P_v = Poids du Pycnomètre à vide

$$D = \text{Densité relative Pycno} = \frac{P_b - P_v}{P_e - P_v}$$

$$1) \text{ Alcool \% P/P} = (0.2965 R + 291.2825) - D \times 295.8$$

$$2) \text{ Extrait reel E \%} = (0.1235 R + 126 D) - 127.6825$$

$$3) \text{ Extrait primitif} = \text{Formule de Balling}$$

$$4) \text{ Extrait apparent} = 460.234 + 662.649 D - 202.414 D^2$$

SECTION IV : MESURE DE L'OXYGENE DISSOUS

Pour pouvoir contrôler son niveau aux différents stades de la fabrication, et suivre ainsi son évolution, on applique au niveau de la BRAKINA la méthode de mesure de l'oxygène par l'électrochimie - potentiometrie (obisphère).

La technique de mesure utilisée à cet effet est un système d'électrodes en argent sous forme de tube plein sans membrane qui constitue l'électrode de mesure et une contre électrode en acier inoxydable (l'électrode de référence est à base de chlorure de potassium).

L'électrolyte est la bière, donc un courant électrique de diffusion, produit par une réduction cathodique à l'électrode d'argent sera délivré proportionnellement à la quantité d'oxygène dissous.

L'étalonnage de l'appareil s'effectue à l'aide d'un dispositif incorporé qui produit par électrolyse une concentration connue d'oxygène dans l'échantillon.

CHAPITRE IV
RESULTATS

SECTION I : EVOLUTION DU DIACETYLE

Les mesures quotidiennes de la quantité de diacétyle présent dans les fermentations ont permis mettre en évidence son évolution aux divers stades de la fabrication de la bière.

Le tableau I présente les valeurs de diacétyle dans le moût en fermentation en fonction du temps (jour).

Condition de fermentation :

- moût (10.2 - 10.3) Balling; température maximale du moût variable 11.0-13°C.

- ensemencement avec levure pressée floculante et basse (levure Huilimann en provenance de Zurich) de génération variable (1 à 3), à raison de X 0.5 à 0.7 l/Hl viabilité 94 à 96 %.

- moût aéré 9 mg O₂/l. tank horizontal communiquant avec l'air libre de l'extérieur.

Tableau I : Valeurs de diacétyle (ppm) dans le moût en fermentation en fonction du temps (jours)

Niveau d'analyse	fin enton-nement (t=0)	FERMENTATION						
		Valeurs de diacétyle (ppm) dans le moût						
Numéros de cuves		1er Jour	2è Jour	3è Jour	4è Jour	5è Jour	6è Jour	7è Jour
A	0.10	0.18	0.19	0.26	0.66	1.1	0.70	0.64
B	0.17	0.22	0.33	0.52	0.68	0.93	0.63	0.52
C	0.09	0.16	0.28	0.34	0.49	0.83	0.48	0.43
D	0.13	0.21	0.62	0.80	1.72	0.62	0.51	0.38
E	0.35	0.42	0.86	1.11	0.82	0.71	0.58	0.45
F	0.18	0.25	0.36	0.45	0.68	0.51	0.42	0.35
G	0.15	0.28	0.37	0.78	0.54	0.51	0.43	0.38

Il ressort de ce tableau :

- qu'en fin entonnement, les valeurs de diacétyl mesurées sont variables pour toutes les cuves en raison de 0,09 à 0,35 ppm suivant la température de mise en levain et la dose de levain. Nous constatons en effet que lorsque la température de mise en levain et la dose de levain sont élevées, la formation du diacétyl est également fort (cuves n° E, B, F, G).

- qu'au stade "fermentation" du moût le point culminant de formation du diacétyl est atteint après 3 à 5 jours suivant la température de fermentation et la dose de levain. Nous constatons qu'à la température élevée ou la dose de levain élevée ou bien les deux, le point culminant de la formation du diacétyl est atteint en un temps relativement court : cuves E et G (3e jour) ce qui assure généralement une meilleure chance d'une éventuelle réduction de ce type de composé par contre les cuves A, B, C où le point culminant de la formation du diacétyl est atteint en un temps long (5e jour), nous constatons une faible réduction. La valeur maximum de ce métabolite sur le tableau se situe entre 1,1 ppm et 1,72 ppm et décroît régulièrement pour atteindre 0,35 et 0,64 ppm en fin de fermentation principale.

Le tableau II présente les valeurs de diacétyl dans la bière en garde en fonction du temps (jours) :

Conditions de Garde :

. Bière "BRAKINA" 10,2° Balling

. Bière "FLAG" 12,5° Balling

- Température du traversage..... = 5,4 à 7,0° C
- Atténuation au traversage..... = 70,3 à 82,3
- Densité au traversage..... = 3,1 à 1,8
- Atténuation limite..... = 82,7 à 85,3
- Densité limite..... = 2,0 à 1,5
- Température de la cave de garde..... = 1,5 à 2° C
- Série de 3 tanks horizontaux superposés remplie par le dessous.

Tableau II : Valeurs de diacétyle dans la bière en Garde
en fonction du temps (jours)

Niveau d'analyse	Traversage	VALEURS DE DIACÉTYLE DANS LA BIÈRE (ppm)							
		GARDE							
		1er jour	2è jour	5è jour	8è jour	10è jour	14è jour	21è jour	Soutirage
A = 10	0,32	0,36	0,46	0,54	0,58	0,63	0,59	0,43	0,28
B = 7	0,53	0,50	0,36	0,24	0,19	0,16	0,20	0,22	0,33
C = 4	0,43	0,43	0,48	0,50	0,42	0,39	0,32	0,30	0,32
D = 10'	0,52	0,56	0,45	0,37	0,31	0,29	0,27	0,20	0,19
E = 7'	0,25	0,27	0,22	0,16	0,12	0,12	0,10	0,10	0,12
F = 13	0,28	0,31	0,30	0,24	0,21	0,17	0,15	0,13	0,15

Il ressort de ce tableau :

- qu'au traversage, les valeurs de diacétyle mesurées varient de 0,25 à 0,53 ppm selon la température de la bière en fin de fermentation et l'absorption de l'air durant le pompage de la bière de la cuve de fermentation vers le tank de garde. Cependant nous avons constaté au niveau de certaines cuves de fermentation pour lesquelles un palier "Chaud" de 24 à 36 heures très près de la limite à été menagé que le niveau de la teneur en diacétyle est bas (Tank A, E, F). Cela serait aussi peut être dû à une absorption moindre de l'air lors du traversage. En effet la température relativement élevée en fin de fermentation active permet de hâter la réduction finale des sucres fermentescibles et du diacétyle. Par ailleurs quand bien même, il ne puisse plus rester beaucoup de sucres fermentescibles présents, on doit éviter toute absorption d'air lors du traversage. A cet endroit, l'oxygène tend à conduire la levure ou la bière à former de nouveau du diacétyle.

- Au stade "Garde", selon qu'il y'a des sucres fermentescibles résiduels, et suffisamment de levures entraînées en garde, avec ou sans absorption d'air, nous constatons une remontée de la teneur en diacétyle les deux premiers jours de garde ; puis une baisse progressive jusqu'à la fin.

Quand bien même, la bière en début de garde avec une teneur en diacétyle faible est protégée du contact de l'oxygène pour les raisons déjà citées, il ne reste plus qu'à se préoccuper d'une contamination par des micro-organismes étrangers, surtout les sarcines et lactobacilles, qui peuvent pousser dans les conditions anaérobies et microaérobies et qui sont source de diacétyle dans la bière en garde. La mauvaise évolution du diacétyle constatée au niveau des tanks A, B, C serait due à une infection par ces micro organismes mais aussi à la suite de l'introduction du Fexmex (enzymes permettant de fortifier les levures donc de réactiver les processus de la fermentation responsables de la production du diacétyle).

- Au soutirage, les valeurs du taux de diacétyle varient de 0,12 à 0,33 ppm en bouteilles. Nous avons constaté que la durée du palier "chaud" en fin de fermentation active (24 à 48 h) mais aussi la température basse de la garde froide jouent en faveur de la pureté, puisque le taux de diacétyle pour les tanks ayant subi ces conditions est réduit de moitié (Tanks E, F).

Il est à remarquer en plus qu'une évolution favorable peut se poursuivre pour une bière qui a été conservée en tank de garde froide au delà du moment prévu pour le soutirage.

SECTION II : EVOLUTION DE LA DENSITE

En vue de mettre en évidence le temps supplémentaire disponible pour la réduction du diacétyle en garde, nous avons suivi l'évolution de la densité des bières en tanks de garde conventionnels. Le tableau III présente les valeurs de densité des bières en garde en fonction du temps (jours). Il ressort de ce tableau une faible variation de la densité des bières dans les tanks de garde conventionnels. Cette variation faible de la densité traduit le ralentissement de la fermentation (donc plus de formation du diacétyle), nous devons plutôt assister à une réduction du diacétyle par la levure si celle-ci est en contact avec la bière.

Assurément cette évolution défavorable du diacétyl constatée serait due au faible taux de cellules de levures en sus-pension dans la bière en garde ou doit provenir de l'activité des contaminants et de l'oxydation des précurseurs du diacétyl (α -acetolactate).

Niveau d'analyse N° de Tank	Densité Traversage	GARDE					
		3 ^e jour	6 ^e jour	9 ^e jour	15 ^e jour	18 ^e jour	21 ^e jour
TK7	2.0	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9
TK4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
TK10	2.7	2.7	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6
TK10'	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
TK7'	2.4	2.4	2.3	2.2	2.2	2.1	-

Tableau III : Evolution de la densité des bières en garde en fonction du temps (jours).

SECTION III : EVOLUTION DE LA SATURATION

Le tableau IV présente les mesures de la teneur en CO_2 faites sur les tanks conventionnels en garde. Il y ressort une montée constante du taux de CO_2 dans les bières en garde cela est normal et confirme le fait que la fermentation active est totalement ralentie mais aussi un bon signe d'une saturation de la bière suite aux conditions de garde froide.

Niveau d'analyse Tank	Après Boudonnage	GARDE					
		3e jour	6e jour	9e jour	15e jour	18e jour	21e jour
TK7	4,00	4,06	4,12	4,16	4,16	4,25	4,25
TK4	3,40	3,42	3,48	3,55	3,67	3,55	3,55
TK10	4,00	4,10	4,26	4,28	4,32	4,36	4,56
TK10'	3,54	3,55	3,80	3,63	4,00	3,99	4,00
TK7'	3,60	3,64	4,05	4,28	4,80	4,94	4,95

Tableau IV : Evolution de la saturation (CO_2 en g/l) des bières en garde en fonction du temps (jours).

SECTION IV : INFLUENCE DE CERTAINS FACTEURS SUR LE TAUX DE DIACETYLE

De nombreuses études ont montré que Diacétyle et Pentanedione sont formés durant le premier stade la fermentation par les levures et certaines bactéries lactiques et que tous deux sont réduits pendant les tous derniers jours. Les opinions concernant les causes et remèdes sont contradictoires. Nous avons considéré une liste simplifiée de facteurs qui doivent nous permettre de mener à bien une fermentation (Tableau V).

Nous n'avions pas pu mesurer tous les facteurs avec précision pour savoir la grandeur de l'influence de chacun mais nous savons suite aux recherches précédentes que l'uniformité dans les matières premières, la façon de brasser et le travail en caves peuvent éviter les ennuis.

Tableau V

Facteurs influençant la fermentation.

A - LA LEVURE

Pureté microbiologique
souche ou type
dose ensemencée

B - MOUT

Pureté microbiologique
Acides aminés individuels
Teneur en oxygène
Substances nutritives minérales
inhibiteurs de la fermentation

C - FERMENTEURS ET CONDITIONS DE FERMENTATION

Matériel technique de fermentation
(Tanks, forme, matériel, ouvert ou fermé)
Cycle de température
Hauteur du moût
Durée du cycle de fermentation
Technique de l'oxygénation
Technique de mise de levain
Absorption d'Air.

I - La levure

Le degré de pureté de la levure doit être très élevé. Le levain doit être exempt de toute bactérie et de levures sauvages, contenir moins de 5 % de mutants déficients respiratoires capables de réduire le diacétyle à faibles niveaux et avoir un apport nutritif. Il faut une bonne levure qui fermente bien car nous pourrions espérer qu'elle réduira effectivement le diacétyle.

Pour parvenir à ces résultats :

- On ne doit pas garder la levure trop longtemps, à une température élevée ni permettre une autolyse.

- On doit comprimer la phase de formation du diacétyle en un temps relativement court en vue de son éventuelle réduction en accélérant le phénomène général de la fermentation (température de mis de levain élevée et dose de levure élevée).

- On doit également permettre un contact durable entre la levure et le moût (ou la bière) en la maintenant en suspension ce qui favoriserait l'activité fermentaire de la cellule (élimination du diacétyle).

II - Le moût

Le moût doit être exempt de bactéries, muni des éléments nutritifs nécessaires à la levure (acides aminés, sucres fermentescibles), exempt d'inhibiteurs de la levure ou de l'enzyme et suffisamment oxygéné pour promouvoir une croissance de la levure et une fermentation rigoureuse.

Pour ce qui est des acides aminés, nous notons qu'aux réponses favorables correspondent :

- des moûts riches en Valine, Leucine, Isoleucine : inhibiteurs des dicétones (diacétyle, pentanedione).
- des moûts pauvres en thréonine activateurs de la 2,3 pentanedione) avec comme catalyseurs des ions Ca, Na, Mg.

Nous avons vu dans la partie théorique de notre étude que les mécanismes de synthèse protéique et de coordination des activités biochimiques que possède la cellule de levure, compte tenu des variations du milieu et de son environnement sont à la base de la fermentation et de la maturation de la bière.

L'élaboration de la plupart des substances responsables de l'arôme de la bière est régie par le jeu des régulations intervenant dans la biosynthèse et la dégradation des acides aminés. Comme le montre la fig. 8, la valine, l'isoleucine et la leucine occupent une position tout à fait centrale dans la formation des dicétones. Des travaux récents ont montré que les précurseurs du diacétyle et 2,3 pentanedione (α -acetolactate et α -acétohydrobutyrate) sont des métabolites intermédiaires de la chaîne de biosynthèse de la valine et de l'isoleucine. Ces produits passent dans le milieu extérieur et sont convertis en diacétyle et 2,3 pentanedione par une réaction chimique de décarboxylation oxydative puis intervient un processus de réduction enzymatique :

- du diacétyle en acétyl méthyl carbinol
- du 2,3 pentanedione en acétyl éthyl carbinol.

Ce sont ces deux phases (decarboxylation et réduction enzymatique) qui sont décisives dans la maturation de la bière.

Sans entrer dans les considérations très théoriques de la biosynthèse et la régulation des acides aminés (Valine et Isoleucine) rappelons cependant que la régulation porte essentiellement sur l'acetolactate synthétase (fig. 8) soumise à :

- une repression multivalente des trois acides aminés terminaux de la chaîne : leucine, valine, isoleucine.
- une retro-inhibition de la valine.

C'est pourquoi l'addition de quantités croissantes de valine au milieu de culture freine considérablement la production de diacétyle et de 2,3 pentanedione. La teneur en Valine, mais aussi sa vitesse de pénétration dans la cellule de levure jouent un effet régulateur sur la formation du diacétyle. Compte tenu de l'absorption préférentielle de certains acides aminés et la cinétique particulièrement inhérente à chacun des 4 groupes de Pierce et Jones, il n'y aura pas la possibilité de formation de diacétyle si les voies de biosynthèse de la valine et de la leucine fonctionnent effectivement. C'est ce qui se constate lorsque l'on localise le maximum de formation, du diacétyle vers la fin de la fermentation. (Cette phase correspond à la première moitié de la fermentation). Un tel glissement de ce maximum risquerait d'entraîner des teneurs anormalement élevées dans la bière.

III - Fermenteurs et conditions de fermentations

Le cycle de fermentation doit être conçu de manière à favoriser la conversion rapide des sucres en alcool et CO_2 et avoir un temps suffisant après l'épuisement des sucres, et à une température convenable pour permettre à la levure de continuer la réduction relativement lente du diacétyle.

1 - Géométrie des fermenteurs

La hauteur du moût dans les TOD (Tank Out - Door) tanks cylindro-coniques laisse présumer des différences considérables avec les cuves classiques à divers niveaux :

- pression
- dissolution et répartition du CO_2 dans les phases liquides et gazeuses.
- turbulence
- levure en suspension.

La hauteur varie avec le volume. L'établissement d'un cycle correct de température revêt donc un intérêt particulier.

2 - Vitesse de la fermentation

L'effet combiné de la hauteur et de la température maintiendra les levures en suspension jusqu'à épuisement de l'extrait fermentescible et la possibilité d'une élimination du diacétyle est bien meilleure. Car la vitesse de disparition du diacétyle est tellement plus faible que celle de la conversion des sucres.

3 - Influence de la température de mise en levain

Le tableau I montre qu'un échantillon en fermentation à température ordinaire peut contenir très peu de sucre résiduel mais que le niveau du diacétyle peut se situer très haut. Eventuellement le diacétyle sera réduit à des niveaux plus faibles (en particulier si la fermentation est agitée) mais sans agitation, lorsque la fermentation est pratiquement terminée (faible production du CO_2), le diacétyle dans la bière ne peut pas être absorbé par la levure pour être réduit en acétone et 2,3 butanediol. Il faudra démarrer plus chaud que d'ordinaire, mais maintenir au même maximum qu'auparavant. Il en résultera que la bière fermentant approchera son atténuation limite nettement plus tôt surtout si le refroidissement est différé.

4 - Influence de la technique d'oxygénation

L'oxygénation uniforme de toutes les charges du moût conduirait à des conditions d'aération de la levure très sensibles. Le danger existerait dans le cas d'une répartition inégale de l'oxygène dissous, avec des concentrations plus élevées dans le bas du tank, suite à une augmentation rapide de la pression hydrostatique après introduction des charges.

Une grande prudence s'impose donc à ce niveau, car un contact prolongé de la levure avec l'oxygène pourrait conduire à des perturbations au niveau du goût et de l'arôme de la bière, du fait de la formation de nombreux produits secondaires de la fermentation. Nous reviendrons sur cet aspect dans notre étude sur l'évolution du taux de l'oxygène dissous dans la bière.

Dans le cas du procédé classique de fermentation, le traversage en garde primaire doit éviter l'absorption de l'air, pour empêcher la levure à l'état fermentatif, de passer à la phase respiratoire, car la formation du diacétyl prédominerait alors jusqu'à ce que se produise le retour aux conditions anaérobies.

En pratique, la conduite de la fermentation devrait tenir compte des faits suivants :

A - La formation du diacétyl atteint son maximum plus tôt avec :

- températures de mise en levain "élevées")
- doses de levain "élevées"
- levure fortifiée nutritivement
- levure fraîche
- moût facilement fermentescible.

B : La réduction du diacétyl est favorisée par :

- une température "élevée" (pour faciliter l'activité de la levure)
- un nombre élevé de cellules de levures en suspension
- une levure active ayant un arsenal enzymatique décent
- l'absence de réfrigération pendant que la fermentation est active.
- absence d'absorption d'air alors qu'il y a encore des sucres fermentescibles présents

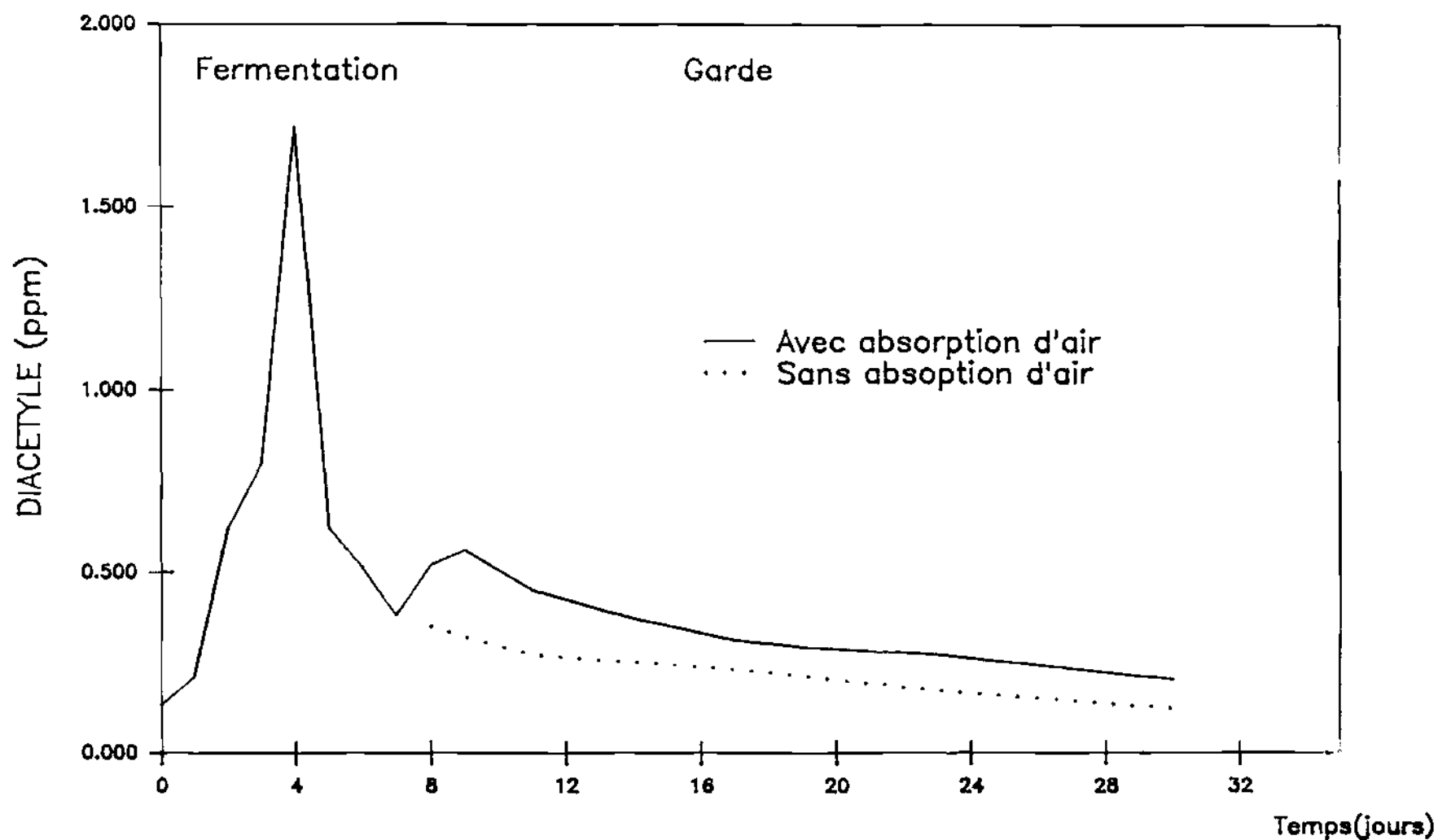


Fig. 9 : EVOLUTION DU TAUX DE DIACETYLE (ppm) AU COURS DE LA FERMENTATION ET GARDE (Brakina)

SECTION II : Etude de l'évolution de l'oxygène dissous lors de la fabrication de la bière à la BRAKINA.

Il s'agit ici d'examiner les facteurs intervenant sur la prise et la dissolution de l'oxygène de l'air de la fabrication de la bière (depuis l'entonnement jusqu'au soutirage de la bière).

I - EVOLUTION DE L'OXYGENE DISSOUS

Les mesures du taux d'oxygène dissous ont permis de mettre en évidence son évolution aux différents stades de la fabrication de la bière. (Tableau VI).

Niveau d'analyse	Fin enton- nement	Fin fermen- tation	Après traversage	Filtration		TBF	Soutireuse	Btie
				Entrée filtre	Sortie filtre			
N° Tanx	Valeurs des taux d'oxygène dissous (mg/l)							
TK7	9,13	0,27	0,68	0,05	0,10	0,65	0,81	1,99
TK10	10,00	0,30	0,48	0,10	0,39	0,47	0,73	0,95
TK1	8,83	0,26	0,53	0,19	0,26	0,59	0,72	0,98
TK16	11,52	0,34	0,47	0,07	0,22	0,46	0,95	1,19
TK13	10,26	0,31	0,40	0,04	0,11	0,14	0,15	0,74

Tableau VI : valeurs des taux d'oxygène moléculaire aux différents stades de la fabrication de la bière (oxygène dissous en mg/l)

Le tableau VI présente les valeurs du taux d'oxygène moléculaire aux différents stades de fabrication.

a) Il y ressort que les valeurs initiales d'oxygène apportées par l'aération du moût (9,13-11,52 mg/l) en fin d'entonnement disparaissent complètement en fin de fermentation. La vitesse de cette disparition est fonction de l'indice de démarrage de la fermentation (souche et âge de la levure).

b) Traversage

Nous constatons une absorption d'air durant le pompage de la bière de la cuve de fermentation vers le tank de garde (Traversage) soit une prise relative d'oxygène dissous de l'ordre de 0,30 mg/l en moyenne.

c) Filtration

Nous constatons à l'entrée du filtre un faible taux d'oxygène dissous variant entre 0,04 à 0,19 mg/l ce qui montre que l'oxygène dissous dans la bière au traversage a été totalement réduit pendant la garde.

A la sortie du filtre, nous observons une fois de plus une prise d'oxygène. Cette absorption d'air lors de la filtration dépend entre autre de la préparation de la suspension aqueuse de Kieselghur pour l'alluvionnage, de la technique de filtration, de l'état de la pompe à bière alimentant le filtre.

d) TBF

Il ressort du tableau VI un accroissement du taux d'oxygène moléculaire du filtre au TBF. Cette prise d'oxygène est étroitement liée à la vitesse de remplissage et de l'orifice d'entrée de la bière dans le TBF. Lorsque la bière arrive à une vitesse importante, il se forme à l'entrée du tank sans déflecteur, au début du remplissage une intense "fontaine" occasionnant une prise d'oxygène.

e) Soutirage

Nous constatons à partir du tableau VI, un accroissement accentué du taux d'oxygène dissous à l'entrée de la soutireuse. Cet accroissement est également lié à la vitesse de vidange du TBF, de l'orifice de sortie de la bière au niveau du TBF (avec ou sans déflecteur), ainsi que le circuit que suit la bière depuis le TBF à la soutireuse. En effet lorsque la bière est vidée à une vitesse importante, il se forme (si le tank ne dispose pas de déflecteur) une cavitation et un tourbillon qui occasionnent une forte dissolution de l'oxygène dans la bière.

Il ressort de ce tableau, que la réduction de l'oxygène dissous dans la bière en cave de garde est pratiquement terminée en 4 jours avec une population plus élevée de levures (16.10^4 cel/ml) ce qu'elle l'est après 3 semaines pour une bière contenant moins de levures en suspension (7.10^4 cel/ml). En effet la réduction de l'oxygène dissous dans la bière traversée est plus rapide et plus efficace avec une population élevée de cellules de levures en suspension.

Cependant nous avons constaté une disparité en ce qui concerne le nombre de cellules de levures en suspension après traversage en fonction de la température. les résultats sont consignés dans le tableau VIII.

Niveau d'analyse N° de Tank	Nombre de cellules de levures en suspension (10^4 cel/ml)		Température maximale de fermentation	Température au traversage
	en fermentation	Après traversage		
TK7	23,6	8,55	12,00	5,6
TK10	21,6	8,00	12,50	6,34
TK1	14,4	11,5	11,8	4,9
TK16	19,6	9,05	12,05	6,10
TK13	23,7	12,00	12,56	5,86

Tableau VIII : Nombre de cellules de levures en suspension en fonction de la température au niveau de la fermentation et du traversage.

Il ressort de ce tableau que la température de la bière au traversage joue un rôle non négligeable sur la floculation de la levure. Un refroidissement brutal de la bière au traversage jusqu'à des températures voisines de 0° C provoque une floculation prématurée, et une réduction inefficace de l'oxygène. Cela peut conduire à une formation accrue de diacétyle suite à l'oxydation de l'alpha-acetolactate qui ne sera pas réduit par la levure. Un "lavage" de la bière au CO_2 peut partiellement "améliorer" la situation. [19].

L'alpha-acetolactate excrétée par la levure dans le moût en fermentation, n'influence pas la flaveur de la bière, son influence se manifeste seulement après décarboxylation oxydative en présence d'oxygène dissous, quand il est transformé en diacétyle.

III - Influence de certains facteurs sur le taux de l'oxygène dissous dans la bière

Plusieurs facteurs influencent sur le taux de l'oxygène moléculaire au cours de la fabrication de la bière :

1 - La souche et l'âge de la levure

Les résultats obtenus montrent que l'oxygène dissous du moût est réduit rapidement par la levure, c'est-à-dire les valeurs initiales disparaissent complètement après environ 3 à 4 heures (en fermentation accélérée ex. tank cylindro-conique température élevée, dose de levure élevée) et seulement après 11-13 heures (en fermentation classique, température plus basse, dose de levure moins importante). Les travaux de SOBERKA et WARZECHA [21] sur les levures poussiéreuses et les levures floculentes nous en font bien le voir.

Il en résulte que la vitesse de réduction de l'oxygène varie d'une souche à une autre. Cette différence de réduction de l'oxygène entre les souches de levures réside vraisemblablement dans la morphologie des cellules et au niveau des mitochondries. L'âge de la levure joue un rôle déterminant sur la réduction de l'oxygène du moût en fermentation. Il a été remarqué qu'il n'y a pratiquement pas de différence entre la vitesse de réduction de l'oxygène par les levures de la 2^e et de la 5^e génération. Le ralentissement de la vitesse de réduction de l'oxygène s'accroît à partir de la dixième génération. Cependant on peut accroître la vitesse de réduction de l'oxygène dissous du moût des levures plus âgées en leur faisant subir un traitement de tamisage, ce qui permettra de les débarrasser des impuretés (matières amères, protéinestannins, et d'autres composées) absorbées sur la paroi en vue de leur permettre d'avoir un meilleur échange avec le milieu nutritionnel.

Comme nous l'avons vu et selon les résultats obtenus, nous pouvons admettre que la réduction de l'oxygène dissous du moût en fermentation est favorisée par une dose de levure et une température plus élevées, ainsi que par une levure jeune. Cette réduction dépend également de la souche de levure, des besoins en oxygène de la levure, et de la composition du moût.

2 - Le nombre de cellules de levure en suspension en tank de garde

Le taux relativement élevé de l'oxygène dissous dans la bière après traversage est dû principalement à une formation de "fontaine" au début du remplissage du tank et ensuite le maintien en mouvement de la surface de la bière. Cependant avec une forte population de levures, ce taux de l'oxygène est réduit rapidement et efficacement (Tableau VIII).

3 - La vitesse linéaire de la bière lors du remplissage et de la vidange d'un tank de garde

Le taux d'oxygène dissous dans la bière au cours du remplissage, et de la vidange du tank de garde évolue avec la vitesse linéaire. La principale cause de reprise d'oxygène lors de la vidange du Tank est due à la formation d'une cavitation et d'un tourbillon, qui met en mouvement la bière et crée un écoulement turbulent en augmentant ainsi la surface de contact entre la bière et l'air. Ce phénomène occasionne une forte dissolution de l'oxygène dans la bière d'autant plus grande que la vidange est effectuée sous compression d'air plus élevée, température plus basse et, surtout vitesse linéaire plus grande. Le meilleur moyen d'éviter une reprise au remplissage et à la vidange du tank, c'est de réduire la vitesse linéaire d'écoulement de la bière, ou d'installer sur l'orifice d'entrée du tank, un déflecteur [21]. La réduction de la vitesse linéaire d'écoulement à une valeur voisine de 0.1 m/s permet de remplir un tank de bière sans "fontaine" et pratiquement sans remous, ni absorption d'air, l'écoulement de la bière se fait ici à faible vitesse et sans turbulence (régime laminaire = déplacement de particules dans une même direction et parallèlement).

L'inconvénient d'une faible vitesse d'écoulement à l'entrée du tank (0,1 m/s), c'est qu'il peut se produire une stratification de CO_2 lors du remplissage avec les bières de différentes teneurs en CO_2 [21].

4 - La suspension aqueuse de kieselguhr lors de la filtration de la bière.

Une suspension de kieselguhr, même préparée avec de l'eau ayant une faible quantité d'oxygène dissous présente un taux élevé d'oxygène. Cet accroissement d'oxygène est dû principalement à l'oxygène introduit par le kieselguhr (Oxygène emprisonné dans les pores). La température, et le mode de remplissage de l'alluvionneur, ainsi que l'agitation ont une influence sur l'absorption de l'oxygène par l'eau et la suspension de kieselguhr. Lors de la filtration de la bière, il y'a intérêt de garder un volume constant de suspension, afin d'éviter une reprise importante d'oxygène par la bière car si par hasard la vidange de l'alluvionneur est totale, la pompe doseuse peut aspirer l'air et l'injecter dans la bière.

Cependant il a été constaté que le taux d'oxygène décroît au fur et à mesure de la durée de l'injection du CO_2 dans la suspension de kieselguhr et que l'arrêt de cette injection fait apparaître aussitôt une forte remontée d'oxygène dissous ce qui confirme que la reprise de l'oxygène est due principalement au kieselguhr et à l'agitation.

Afin de limiter la reprise d'oxygène par la bière lors de la filtration, différentes solutions sont envisageables [21].

- l'eau destinée à la préparation d'une suspension est dépourvue d'oxygène et saturée en CO_2
- le traitement du kieselguhr par un vide permanent
- l'alluvionneur avec une ou deux agitateurs à pale ne créant pas de turbulences excessives, et sous pression de CO_2 à 0,5- 1,0 bar, avec purge automatique.
- l'ajout dans la suspension de réducteurs d'oxygène (acide ascorbique +disulfite de sodium, glucose oxydase) encore faudrait-on prendre le soin de préparer les solutions à l'abri de l'air et avec de l'eau dépourvue d'oxygène.

Il ne faut pas oublier que l'absorption de l'oxygène peut être provoquée par la pompe à bière si celle-ci est défaillante.

CHAPITRE V : PROPOSITIONS ET CONCLUSIONS

SECTION I : SOLUTIONS PROPOSEES POUR LA REDUCTION DU DIACETYLE (Cas pratique BRAKINA).

1. La levure :

Afin d'élérer le degré de pureté de la levure, nous proposons qu'à côté du lavage acide préconisé, une méthode plus efficace serait de multiplier la levure dans un moût acidifié jusqu'à un pH de 4,5 : le lavage à l'acide affaiblit les levures [23]. Il est également nécessaire d'éviter toute infection pouvant provenir des tanks et conduites de bière.

II - Proposition d'essai de réduction du diacétyle à la BRAKINA

1°) Entonnement :

- durée de refroidissement = 2 à 2H 30 mn
- Aération à partir du premier bassin.

Nous avons constaté que pour entonner une cuve de fermentation, il fallait 2 brassins. L'aération est faite durant le coulage du moût. Lors de la deuxième recharge la phase aérobie de la fermentation qui a démarré est interrompue. Plus la durée entre la 1ère et la 2ème recharge est importante, plus le risque de formation excessive de alpha-acetolactate et de diacétyle est grand [19]. Afin d'éviter cet inconvénient, il est souhaitable que lors des recharges, la phase aérobie de la fermentation ne soit pas interrompue c'est-à-dire que ces recharges se fassent aussi rapidement que possible (1-2 heures). On doit pour ce faire trouver un compromis entre la capacité de la salle à brasser et le volume des cuves ou tanks de fermentation. Cela peut être réalisé par une réduction du temps de filtration du moût (1.5 à 2 heures), du stationnement au whirlpool (20 à 40 mn) et surtout du refroidissement du moût (1 heure).

La suspension de l'aération du moût du dernier bassin peut avoir un effet favorable.

- Température de refroidissement :
 - * premier brassin = 9° C
 - * second brassin = 12 à 13° C.

- Levurage :

0.51/Hl de levure pateuse (12.106 ± 2.106 cel/ml)
repartie à raison de 40 % dans le 1er brassin et 60 %
dans le dernier afin de limiter la prolifération des
contaminants si ces derniers existent.

- Bondonnage :

Cuves ouvertes à l'entonnement.

2) Fermentation

- Durée : jusqu'à ce que soit atteint l'atténuation
limite (à 1,5 % près).

- Température de fermentation.

La température de fin d'entonnement étant de 12-13° C
selon les cuves, monter à 14°-15° C et maintenir tout le long de
la fermentation. On peut varier la durée de cette phase (2 à 3
jours) sur différentes cuves afin d'observer son influence sur la
teneur en diacétyle.

Les avantages qu'on en tire sont les suivantes :

- * Réduction du temps de garde
- * Utilisation accrue du diacétyle et précurseurs
par les levures.

L'inconvénient majeur est le risque de contamination
mais aussi une baisse de viabilité des cellules de levure.

- Afin de garder une quantité suffisante de levures en
suspension dans la bière au traversage, refroidir lentement
jusqu'à la température de 3° C. Cette température va dépendre de
la température de la cave de garde.

- Pour éviter au maximum la prise d'air au traversage
effectuer le pompage de la bière sous contre pression de CO₂ à
environ 0,6 bar.

SECTION II : SOLUTIONS PROPOSEES POUR LA REDUCTION DU TAUX DE L'OXYGENE DISSOUS. (CAS PRATIQUE DE LA BRAKINA).

Les études faites sur l'influence de certains facteurs
sur le taux de l'oxygène dissous au cours de la fabrication de la
bière montrent que :

1°) - Les valeurs initiales de l'oxygène dissous du moût
apportées par l'aération du moût disparaissent complètement en
fin de fermentation.

Cette réduction dépend entre autre de la souche et l'âge de la levure. Nous proposons pour ce faire l'utilisation des levures jeunes de 2e et 3e générations pas très floculantes.

2') - La vitesse linéaire d'écoulement lors du remplissage et de la vidange d'un tank, joue un rôle non négligeable sur l'absorption de l'oxygène par la bière. Les vitesses élevées d'écoulement au début du remplissage et à la fin de la vidange d'un tank pressurisé à l'air sont les causes principales d'absorption d'oxygène par la bière. L'emploi de CO₂ pour la vidange de tanks présente quelques inconvénients. Le meilleur moyen d'éviter une reprise d'oxygène au remplissage et à la vidange du tank, c'est de réduire la vitesse linéaire d'écoulement de la bière ou d'installer sur l'orifice d'entrée du tank, un déflecteur. L'introduction du CO₂ comprimé par le bas du tank protège la bière contre l'absorption de l'oxygène.

3') - La principale cause de reprise d'oxygène par la bière lors de la fabrication est due à la suspension aqueuse de kieselguhr, à l'utilisation d'une eau riche en oxygène pour la formation de précouche et à une mauvaise désaération des canalisations et filtre. Nous proposons la préparation de la solution aqueuse de kieselguhr pour la précouche avec de l'eau désaérée ou la récupération des débuts et fins de filtrations précédentes pour la préparation de précouches (Kieselguhr) ; nous proposons également l'insufflation du CO₂ comprimé dans la suspension de Kieselguhr pour l'alluvionnage de la filtration.

- Soutireuse :

Nous proposons un soutirage sous CO₂. Il faut aussi veiller à ce que l'injecteur bouchage sur mousse fonctionne bien afin de réduire la teneur de l'air au col des bouteilles. Car l'oxygène contenu dans l'air au col des bouteilles se dissoudra et **influencera** avec le temps la teneur de l'oxygène totale et partant celle du diacétyle en bouteilles.

CONCLUSION GENERALE

En conclusion de notre étude sur l'évolution des taux du diacétyle et celui de l'oxygène moléculaire lors de la fabrication de la bière à la BRAKINA, et à la question de savoir "quels facteurs influencent l'évolution des taux du diacétyle et de l'oxygène au cours de la fabrication de la bière et, qu'elles solutions peut-on envisager pour en assurer le contrôle, nous disons ceci ; étant donné l'infrastructure de la brasserie, il est à notre avis pas facile de réduire à une teneur très faible le diacétyle et l'oxygène moléculaire dans la bière finie pour plusieurs raisons à savoir :

- Importance des interventions manuelles.
- Matériel pas toujours très adapté
- Méthode classique de fermentation-gardé.

Cependant, il ne faut pas non plus dramatiser l'importance de la teneur en diacétyle et de celle de l'oxygène moléculaire dans la bière finie. Les seuls vrais problèmes correspondent aux pointes de la fabrication d'où il faut perpétuellement avoir à l'esprit que l'oxygène dissous et diacétyle vont de pair. L'augmentation de la teneur du premier a une influence sur celle du second, et partant une incidence sur la qualité organoleptique de la bière finie et sa conservation. Afin de mieux contrôler la situation, il est donc nécessaire de tenir compte des différents facteurs énoncés ayant une influence sur le diacétyle et l'oxygène moléculaire. La division technique doit en prendre conscience et se défaire des pratiques routinières qui créent des fluctuations anormales au niveau de certains paramètres tels que la température, le pH, l'aération, pour cela, nous conseillons une rigueur et une précision dans la manipulation de ces paramètres.

Afin de garantir la qualité des produits BRAKINA, nous conseillons un suivi technique du matériel (Pompe, froid, soutireuse...).

Pour ce qui est de la rentabilité, nous pensons à la division technique qui doit être efficace, nous conseillons aux dirigeants de développer les perspectives, afin d'équiper dans la mesure du possible, la division technique pour bien mener ses activités et remplir sa tâche qui est de fournir un produit de meilleure qualité. Nous voulons mettre l'accent sur la modernisation de l'usine en ce sens que nous encourageons l'initiative de l'installation des TOD pour la fermentation - Garde Combinée. Nous saluons l'effort louable que développe la BRAKINA pour sortir la bière de bonne qualité.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

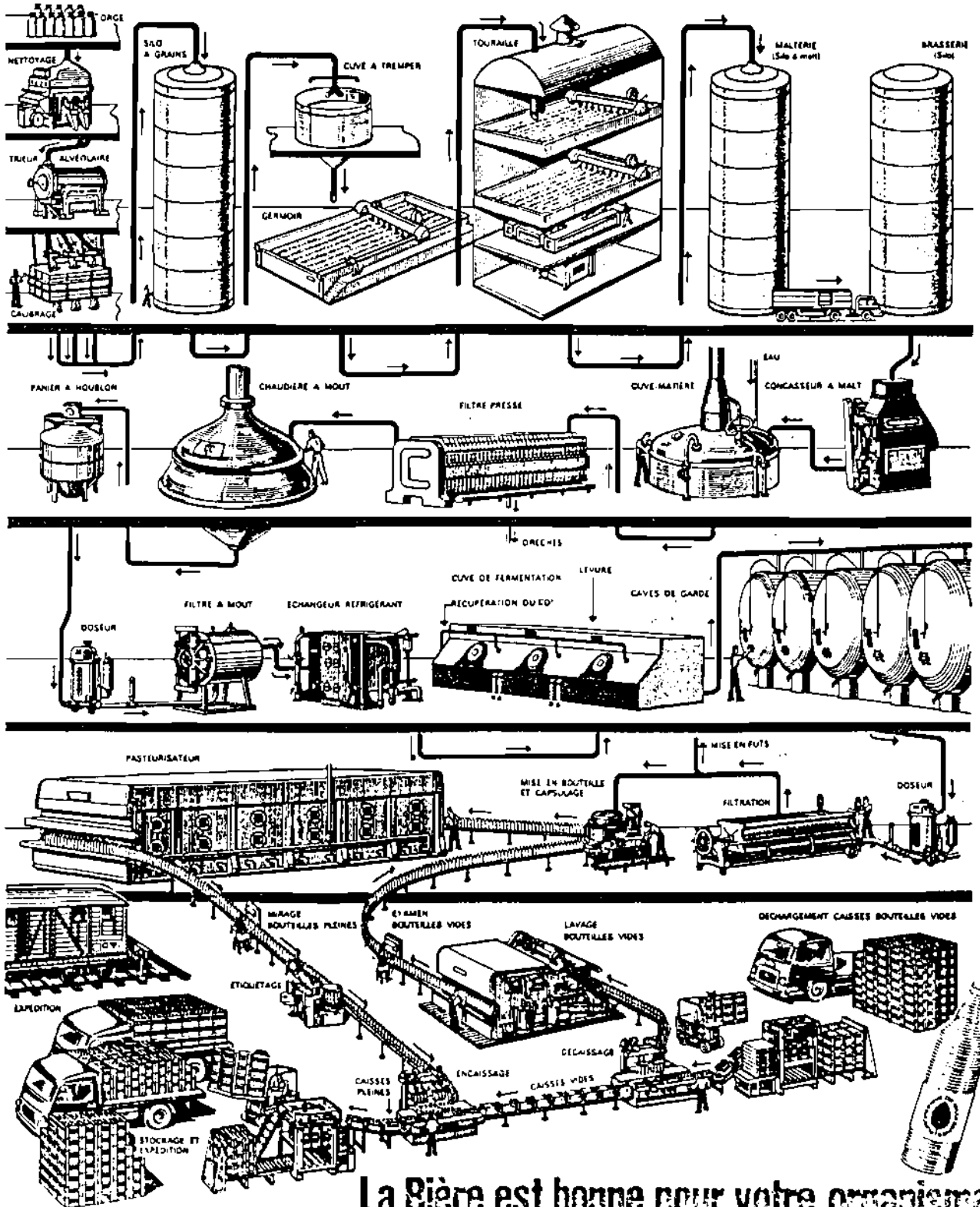
1. BIOS : Volume 19, n) 6-7, Juin-Juillet 1988, p. 69
BRASSERIE - MALTERIE - BOISSONS ET CONDITIONNEMENT
2. BIOS : Volume 19, n° 11, Novembre 1988, p. 33
BRASSERIE - MALTERIE - BOISSONS ET CONDITIONNEMENT
3. BIOS : Volume 17, n° 8-9 Août-Septembre, 1986, p. 44
BRASSERIE - MALTERIE - BOISSONS ET CONDITIONNEMENT
4. BIOS : Volume 17, n° 11, Novembre 1986, p. 29-30
BRASSERIE - MALTERIE - BOISSONS ET CONDITIONNEMENT
5. BOURGEOIS C.M. ET LEVEAU J. Y. (Coordonnateurs)
TECHNIQUES D'ANALYSE ET DE CONTROLE DANS LES
INDUSTRIES AGRO-ALIMENTAIRES
Volume 3, Contrôle microbiologique
Technique et Documentation PARIS 1980.
6. DE CLERCK Jean et H. VAN CAUWENBERGE :
Bulletin de l'Association des Anciens étudiants en
Brasserie de l'Université Catholique de Louvain
(52) 1956 p. 61 et 125 ; p. 1-23 BELGIQUE.
7. DE CLERCK Jean : COURS DE BRASSERIE
Vol. 1 matières premières, Fabrication, installations
Louvain 1980 - BELGIQUE.
8. DE CLERCK Jean : COURS DE BRASSERIE
Vol. 2, Méthodes d'analyse, contrôle de la fabrication
Louvain 1963 - BELGIQUE.
9. DE JOUFFROY D'ABBANS ISABELLE :
CIDRE - BIÈRE et autres boissons familiales PARIS 1977
10. DESRONE ET COLL : Bios, 1981 n° 4 p. 21
11. EYBEN ET VAN DROGENBROEK :
Fermentatio 1969, n° 1, p. 7.
12. HOPKINS R. ET KRAUSE B. :
Biochemistry of malting and Brewing London 1937.
13. KIRSOP B.H. :
Technical quarterly MBAA 1977 (14) n° 4, p. 227.

14. LIE ET COLL :
 Proceedings of the european brewery convention (EBC)
 16 th congrès Ansterdam 1977, p. 235
15. PARGOUX ch, DUMAS M., GUITTARD D. :
 Rapport d'étude : Production du DIACETYLE par les
 levures et les bacteries lactiques.
 ENSA IA NANCY 1989.
16. P. MICHEL
 Rapport de stage aux brasseries de PELFORTH : Recherche
de l'origine des contaminants des levures de la
refrigération du moût jusqu'à la fin de la Fermentation
principale. PELFORTH 1980.
17. PIERCE J. S. :
 Process biochemistry 1966 1. p. 412
18. ROUILLER MONIQUE :
 APPRECIATION DES ORGES. DU MALT ET DE LA BIÈRE
 VANDOEUVRE 1986.
19. SOBERKA ET WARZECHA A. :
 Cahiers scientifique SZCZECIN,
 Varsovie (Pologne) 1977, n° 64, p. 171.
20. SOBERKA RICHARD :
 Bios, 1973, n° 7-8, p. 357.
21. SOBERKA R. ET WARZECHA A. :
 Bios, Vol. 18, n° 10, Octobre 1987.
22. VAN LAER ET ROZENTHAL :
 Annalles des fermentations 1937 (3) p. 480 et
 1938 (4) p. 403.
23. KUTSCHER U :
 Brauerei 9 (1955) 564 et 10 (1956) 556.

La naissance d'une bouteille de bière

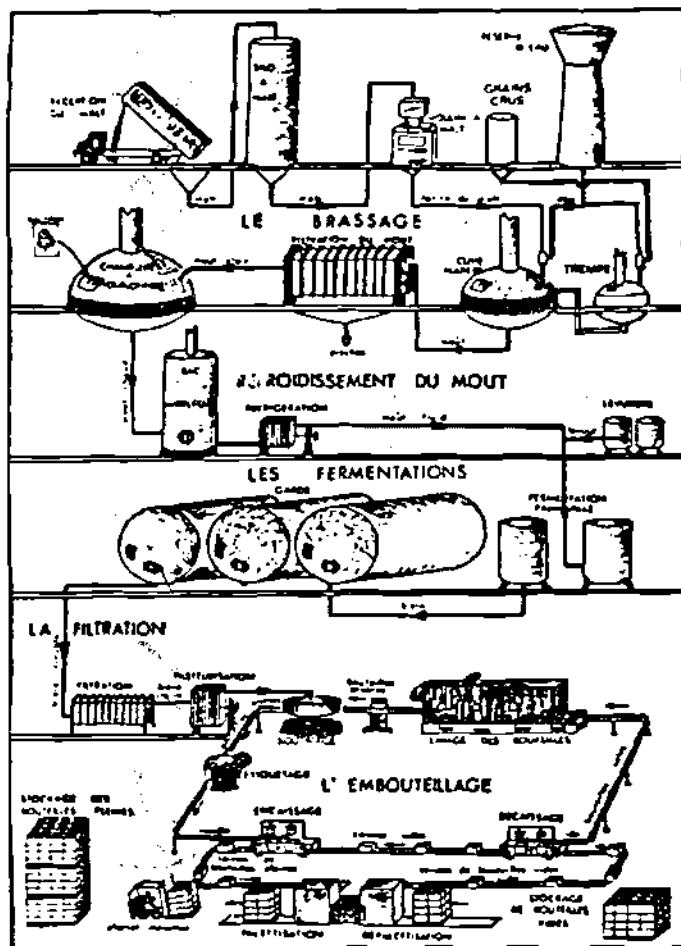
Chacun sait que la bière est obtenue avec de l'orge, du houblon et de la levure. Mais on ignore souvent que sa préparation nécessite son passage dans une série importante d'appareils qui sont représentés ci-dessous. Quant au processus de fabrication, il exige d'abord 14 jours pour la préparation du malt d'orge et ensuite 10 jours pour celle de la bière.

Puis, il faut compter de 2 à 4 mois pour que le malt puisse reposer suffisamment avant utilisation et pour que la bière reste en cave de garde, à basse température, afin d'atteindre la plénitude de ses qualités. On arrive ainsi à un total de 3 à 5 mois au minimum pour fabriquer une bouteille de bière.



La Bière est bonne pour votre organisme

SCHEMA DE FABRICATION DE LA BIÈRE



LA FABRICATION

ELLE COMPORTE 2 PARTIES

A. LE MALTAGE

• HORS DE LA BRASSERIE - CHEZ LES MALTEURS

B. LA FABRICATION PROPREMENT DITE QUI COMPREND

5 PHASES ESSENTIELLES :

1. LE BRASSAGE

2. LE REFOIDISSEMENT DU MOUT

3. LES FERMENTATIONS

4. LA FILTRATION

5. LE CONDITIONNEMENT (OU SOUS TIRAGE)
ET

PASTEURISATION

TOUT SUR LA BIÈRE

COMPOSITION MOYENNE D'UNE BIÈRE PASTEURISÉE (1)
(pour 1 litre)

	PRINCIPES NUTRITIFS	UNITES	BIÈRE BOCK	BIÈRE DE LUXE
PRINCIPES ÉNERGÉTIQUES ET SUBSTANCES DIVERSES	Azote total	g	0,38	0,47
	Protéines totales	•	2,40	2,30
	Acides aminés libres	•	1,30	1,30
	Maltose (2)	•	9,80	8,50
	Dextrines	•	21,00	23,00
	Glucides totaux	•	30,80	31,50
	Alcool	•	30,70	42,80
ÉLÉMENTS MINÉRAUX	Calcium	mg	38	58
	Phosphore	•	194	206
	Magnésium	•	58	67
	Potassium	•	300	400
	Sodium	•	25	21
	Chlore des chlorures	•	35	35
	Soufre des sulfates	•	29	45
OLIGO ÉLÉMENTS MINÉRAUX	Cuivre	mg	0,170	0,320
	Fer	•	0,600	0,500
	Manganèse	•	0,250	0,300
	Fluor	•	0,540	0,660
VITAMINES	Thiamine (Vitamine B1)	mg	0,050	0,075
	Riboflavine (Vitamine B2)	•	0,210	0,290
	Amide nicotinique (Vit. PP)	•	5,100	7,700
	Acide pantothenique (Vit. PCa)	•	0,660	0,700
	Pyridoxine (Vitamine B6)	•	0,465	0,675
EXTRAIT SEC CENDRES	Extrait sec	g	39	42
	Eau	•	940	923
	Cendres	•	1	1,45
	Degré alcoolique		3°8	6°3
	Valeur calorique		350	440

(1) - Dosages effectués par l'Institut Scientifique d'Hygiène Alimentaire

(2) - Sucres directement réducteurs exprimés en maltose.

SOCIÉTÉ EUROPÉENNE DE BRASSERIES

La plus importante société de brasseries du Marché Commun

Champigneulle •  MEUSE • VALSTAR
Kanterbräu • VILFORT