



HAL
open science

Évaluation de l'exposition toxique professionnelle lors de la vinification des vins de Savoie

Jean-François Bourdés

► **To cite this version:**

Jean-François Bourdés. Évaluation de l'exposition toxique professionnelle lors de la vinification des vins de Savoie. Médecine humaine et pathologie. 1998. dumas-00859941

HAL Id: dumas-00859941

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-00859941v1>

Submitted on 9 Sep 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il n'a pas été réévalué depuis la date de soutenance.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact au SICD1 de Grenoble : thesebum@ujf-grenoble.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>



M. Jean-Jacques

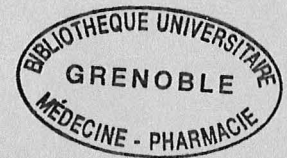
**UNIVERSITE JOSEPH FOURIER
FACULTE DE MEDECINE DE GRENOBLE**

ANNEE 1998

N° D'ORDRE **5017**

**EVALUATION DE L'EXPOSITION TOXIQUE
PROFESSIONNELLE
LORS DE LA VINIFICATION DES VINS DE SAVOIE**

THESE PRESENTEE POUR L'OBTENTION DU DOCTORAT EN
MEDECINE
DIPLOME D'ETAT
par



Jean-François BOURDÉS
Né le 12 Février 1969 à Toulouse

Thèse soutenue publiquement le 08 Avril 1998 à 17 heures
Devant le jury composé de :

- Monsieur le Professeur J.-M. MALLION** **Président du Jury**
- Monsieur le Professeur H. SMOLIK**
- Monsieur le Professeur R. DE GAUDEMARIS**
- Madame le Docteur B. OLIVIER-ROUSSEL**
- Madame le Docteur A. MAÎTRE**

**UNIVERSITE JOSEPH FOURIER
FACULTE DE MEDECINE DE GRENOBLE**

ANNEE 1998

N° D'ORDRE

**EVALUATION DE L'EXPOSITION TOXIQUE
PROFESSIONNELLE
LORS DE LA VINIFICATION DES VINS DE SAVOIE**

**THESE PRESENTEE POUR L'OBTENTION DU DOCTORAT EN
MEDECINE
DIPLOME D'ETAT**

par

Jean-François BOURDÉS

Né le 12 Février 1969 à Toulouse

Thèse soutenue publiquement le 08 Avril 1998 à 17 heures

Devant le jury composé de :

Monsieur le Professeur J.-M. MALLION **Président du Jury**

Monsieur le Professeur H. SMOLIK

Monsieur le Professeur R. DE GAUDEMARIS

Madame le Docteur B. OLIVIER-ROUSSEL

Madame le Docteur A. MAÎTRE

A Monsieur le Professeur MALLION

Nous le remercions de nous faire l'honneur de présider ce jury.
Nous lui exprimons notre gratitude et l'assurons de notre profond respect.

A Monsieur le Professeur SMOLIK

Nous lui savons gré de l'honneur qu'il nous accorde en acceptant,
loin de la Bourgogne, de faire partie de ce jury.
Qu'il soit ici assuré de notre sincère reconnaissance.

A Monsieur le Professeur DE GAUDEMARIS

Nous avons eu l'occasion d'apprécier sa passion
pour l'informatique, qui nous poursuit, et pour l'épidémiologie.
Nous le remercions de nous faire l'honneur de siéger à notre jury.

A Madame le Docteur OLIVIER-ROUSSEL

Nous la remercions de faire partie de notre jury.
Elle est à l'origine de notre travail.
Elle a su l'éclairer de son expérience et en tempérer la teneur.
Sa rigueur, sa vision et son humanisme
nous ont réconforté pendant plus d'un an passé à ses côtés.

A Madame le Docteur MAÎTRE

Nous la remercions d'avoir dirigé notre thèse et de participer à ce jury.
Qu'elle soit ici remerciée de la rigueur qu'elle nous a inculquée,
de l'esprit de synthèse avec lequel elle nous a guidés tout au long de nos études,
et de la confiance qu'elle a su nous montrer dans la pratique de cette thèse.

Nous tenons également à remercier

Madame Muriel STOKLOV

Elle nous a aidés dans la préparation logistique de la thèse.

Qu'elle soit ici remerciée pour ses remarques pertinentes,
et sa disponibilité.

Les membres du laboratoire de toxicologie

et surtout **Marie**,

pour avoir réalisé la partie analytique de ce travail,
et contribué à la réalisation des prélèvements.

Les salariés, présidents et directeurs des caves vinicoles concernées,

qui ont eu l'amabilité de nous recevoir, ont bien voulu répondre à nos interrogations,
et qui ont su aiguïser notre passion naissante pour l'œnologie.

Le Docteur Pascal THEVENOT

et **Alain CHANDEZ**, conseiller en prévention à la MSA,
pour leur disponibilité, leur expérience et leur connaissance du milieu agricole.

Ils ont su nous guider dans le cheminement pratique de l'étude,
et ont facilité notre intégration dans les terroirs de Savoie.

Les internes de Médecine du Travail,

et **particulièrement Marie-Anne et Dorothee**
pour leur aide à la réalisation des prélèvements.

Les membres du service de Médecine du Travail de l'ASMI de Bonneville,
pour leur soutien moral et le temps matériel qu'ils nous auront accordé.

A mes parents,
à qui je dois tout,
en témoignage de mon affection et de ma reconnaissance.

A Géraldine,
avec tout mon Amour,
et ma reconnaissance pour ces longues années
d'attente **internale**.
La vie est devant Nous.

A Cécile,
ma petite sœur chérie, si souvent ta "kiné" e.

A mes grands-parents,
A mes oncles et tantes.

A la mémoire de ma grand-mère.

A Monique et Dominique,
pour leur soutien moral et technique,
pour leur confiance.

A Freddou, Tinou, Christou et Pilou
mes compagnons stéphanois.

A Bacchus...

Infernale attente du vin, du vin qui se fait, du vin qui grandit. Fièvre montante, bouillonnement baveux débordant des cuves, des yeux, des cerveaux, éclaboussant le carrelage des nuits.

La fermentation, chaos fébrile, insomnie verbale, agitation furieuse, transforme le jus de raisin en vin et le jus de sensation en mots. Ce n'est qu'au petit matin lorsque les levures s'apaisent, que le vin s'éclaircit enfin et que les idées peuvent sédimenter.

L'air frais dévoile alors les odeurs hésitantes du nouveau-né.

André OSTERTAG, *vigneron*.

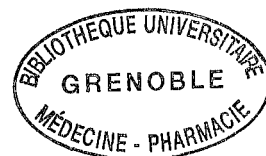
TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES	6
INTRODUCTION	11
PARTIE 1 CARACTERISATION DES RISQUES TOXIQUES EN CAVE DE VINIFICATION	12
I - LE VIN	13
I-1 - DEFINITION	13
I-2 - LE VIN EN FRANCE	13
I-3 - LES VINS DE SAVOIE	16
II - MICROBIOLOGIE ET CHIMIE DU VIN	19
II-1 - LA FERMENTATION ALCOOLIQUE	19
II-1-1 - GENERALITES	19
II-1-2 - PRODUITS FORMES LORS DE LA FERMENTATION ALCOOLIQUE	21
II-1-3 - LES FERMENTATIONS ANORMALES	22
II-2 - FERMENTATION MALO-LACTIQUE	23
III - LA VINIFICATION EN VIN ROUGE	25
III-1 - RECEPTION DE LA VENDANGE ROUGE	25
III-2 - SULFITAGE DE LA VENDANGE	26
III-3 - LES CORRECTIONS DE LA VENDANGE	27
III-3-1 - LA CHAPTALISATION	27
III-3-2 - ACIDIFICATION ET DESACIDIFICATION	28
III-3-3 - L'ENSEMENCEMENT	28
III-4 - LES DIFFERENTES ETAPES DE LA FERMENTATION ALCOOLIQUE	29
III-4-1 - LES RECIPIENTS DE LA FERMENTATION	29
III-4-2 - CONDUITE DE LA FERMENTATION	29
III-4-3 - VIDANGE DES CUVES	33
III-4-4 - DECUVAGE	34
III-4-5 - PRESSURAGE DU MARC DECUVE	35
III-5 - FERMENTATION MALO-LACTIQUE	36
III-6 - TRAVAIL DU VIN	36

III-7 - FILTRATION	36
IV - LA VINIFICATION EN VIN BLANC SEC	38
IV-1 - RECEPTION DE LA VENDANGE	38
IV-2 - PRESSURAGE	38
IV-3 - SULFITAGE DE LA VENDANGE	38
IV-4 - DEBOURBAGE	39
IV-4-1 - LES BOURBES (OU GROSSES LIES)	39
IV-4-2 - LE DEBOURBAGE	39
IV-5 - FILTRATION DES BOURBES	40
IV-6 - FERMENTATION ALCOOLIQUE	40
IV-7 - TRAVAIL DU VIN	41
V - LES RISQUES TOXIQUES DE LA VINIFICATION	43
V-1 - PRESENTATION DES DIFFERENTS RISQUES	43
V-1-1 - LES RISQUES D'EXPOSITION AUX PRODUITS CHIMIQUES	43
V-1-2 - EXPOSITION AUX PRODUITS EN PHASE PARTICULAIRE	43
V-1-3 - RISQUE MICROBIOLOGIQUE	44
V-1-4 - TRAVAIL EN AMBIANCE CHAUDE ET HUMIDE	44
V-1-5 - AUTRES RISQUES	44
V-2 - EFFETS TOXIQUES DUS A L'EXPOSITION AU CO₂	46
V-2-1 - SITUATIONS A RISQUES D'EXPOSITION PENDANT LA VINIFICATION)	47
V-2-2 - DISPERSION ATMOSPHERIQUE DU CO ₂	51
V-2-3 - PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES DU CO ₂	54
V-2-4 - TOXICOCINETIQUE ET METABOLISME	54
V-2-5 - TOXICITE	55
V-2-6 - SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION PROFESSIONNELLE	61
V-3 - EXPOSITION AU DIOXYDE DE SOUFRE	62
V-3-1 - UTILISATIONS ET RISQUES D'EXPOSITION EN CAVE VINICOLE	62
V-3-2 - PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES	65
V-3-3 - TOXICOCINETIQUE - METABOLISME	65
V-3-4 - TOXICITE	66
V-3-5 - SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION PROFESSIONNELLE	72
V-4 - EXPOSITION AUX VAPEURS D'ALCOOL ETHYLIQUE	73
V-4-1 - ORIGINES	73
V-4-2 - ACTIVITES ET SITUATIONS A RISQUES EN VINIFICATION	73

V-4-3 - PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES	74
V-4-4 - TOXICOCINETIQUE - METABOLISME	75
V-4-5 - TOXICITE	78
V-4-6 - SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION PROFESSIONNELLE	82
V-5 RISQUES LIES AU DEGAGEMENT D'ACETALDEHYDE	83
V-5-1 - LES RISQUES D'EXPOSITION EN CAVE VINICOLE	83
V-5-2 - PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES	83
V-5-3 - TOXICOCINETIQUE ET METABOLISME	84
V-5-4 - TOXICITE	85
V-5-5 - SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION PROFESSIONNELLE	88
V-6 RISQUES LIES A L'UTILISATION D'AUTRES PRODUITS	89
V-6-1 - TERRE A DIATOMEES	89
V-6-2 - PERLITE	92
V-6-3 - BENTONITE	93
V-6-4 - LEVURES SECHES ACTIVES	94
V-6-5 - ENZYMES PECTOLYTIQUES	95
CONCLUSION	96
PARTIE 2 EVALUATION DES NIVEAUX D'EXPOSITION	97
VI - MATERIEL ET METHODES	98
VI-1 - CONTEXTE ET NAISSANCE DE L'ETUDE	98
VI-1-1 - RESULTATS D'UNE ETUDE RECENTE DANS LE BORDELAIS	98
VI-1-2 - OPPORTUNITE GEOGRAPHIQUE	99
VI-2 - LES OBJECTIFS	99
VI-3 - MISE EN PLACE DU PROJET	99
VI-4 - ACTIVITES ETUDIEES	100
VI-5 - CALENDRIER D'INTERVENTION	100
VI-6 - METROLOGIE ATMOSPHERIQUE	101
VI-6-1 - POLLUANTS ANALYSES ET METHODES UTILISEES	101
VI-6-2 - TYPES DE PRELEVEMENTS	103
VII - RESULTATS	105
VII-1 - DESCRIPTION DES CAVES ET DES POSTES ETUDIES	105
VII-1-1 - CAVE A	105
VII-1-2 - CAVE B	114

VII-2 - JOURS ET PLANNINGS D'INTERVENTION	118
VII-3 - CONDITIONS D'INTERVENTION	121
VII-4 - LES NIVEAUX D'EXPOSITION ATMOSPHERIQUE	122
VII-4-1 - NIVEAUX ATMOSPHERIQUES PENDANT LES OPERATIONS A RISQUES	122
VII-4-2 - CONCENTRATIONS ATMOSPHERIQUES A PROXIMITE DES SOURCES DE GAZ DE FERMENTATION	130
VII-4-3 - CONCENTRATIONS ATMOSPHERIQUES EN AMBIANCE	132
VIII - DISCUSSION	137
VIII-1 - VALIDITE DES RESULTATS	137
VIII-2 - LES NIVEAUX D'EXPOSITION	138
VIII-2-1 - ACTIVITES LES PLUS A RISQUE	138
VIII-2-2 - COMPARAISON ENTRE LES DEUX CAVES	140
VIII-3 - LES POLLUANTS	141
VIII-3-1 - ETHANOL (CAVE B)	141
VIII-3-2 - ACETALDEHYDE	144
VIII-3-3 - CO ₂	145
VIII-3-4 - SO ₂	148
IX - LA PREVENTION	151
IX-1 - PROPOSITIONS DE STRATEGIES DE PREVENTION	151
IX-2 - AMELIORATIONS DEJA EFFECTUEES	153
X - PERSPECTIVES	153
X-1 - AUTRES RISQUES	153
X-2 - REFLEXIONS SUR LA SURVEILLANCE BIOLOGIQUE	154
BIBLIOGRAPHIE	158
ANNEXES	167
LEXIQUE	169



INTRODUCTION

INTRODUCTION

L'homme exploite la vigne depuis plusieurs millénaires pour se nourrir de ses fruits mais aussi pour en transformer et exploiter le jus. Il suffit en effet aux raisins d'être écrasés pour que le phénomène de fermentation alcoolique survienne spontanément, conduisant au vin.

Longtemps la fermentation alcoolique est restée mystérieuse, jusqu'à ce que Pasteur, à la fin du XIX^e siècle, en perce le secret. Les vignerons ont alors pu, au fur et à mesure des découvertes de la microbiologie et de la biochimie, maîtriser leur vinification. Mais cette vinification se fait dans un milieu (tradition séculaire, angoisses et précipitations du vinificateur) propre à leur faire oublier les grandes quantités de dioxyde de carbone (CO₂) formées par la fermentation alcoolique. Des intoxications souvent mortelles sont ainsi, chaque année, susceptibles de se produire.

De nombreuses études ont été réalisées sur cette exposition au CO₂, et ont permis l'élaboration de stratégies de prévention, notamment dans les grandes caves vinicoles. Mais, à part 1 ou 2 travaux datant de 20 ans, aucun n'avait été engagé sur l'exposition simultanée aux différents gaz issus de la fermentation alcoolique que sont le CO₂, l'éthanol, l'acétaldéhyde..., et à divers produits utilisés pendant la vinification.

Une première étude a été réalisée dans le Bordelais, et a permis de cibler des opérations à risque d'exposition ainsi que des niveaux élevés au CO₂, à l'éthanol, et au dioxyde de soufre utilisé comme antiseptique.

Suite à ce travail, une réflexion a été menée entre les médecins et le technicien de prévention de la Mutualité Sociale Agricole d'une part, et les membres de l'Institut Universitaire de Médecine du Travail et d'Environnement de Grenoble d'autre part, pour évaluer les risques toxiques liés à l'exposition professionnelle à divers polluants dans les caves vinicoles de Savoie.

Notre travail comprend deux parties :

- La première partie constituée d'un rappel des connaissances biochimiques et techniques en œnologie, ainsi que d'une revue de la bibliographie concernant la toxicité des différents produits chimiques ciblés rencontrés lors de la vinification.
- La seconde partie est représentée par une évaluation des niveaux d'exposition à ces molécules dans des caves vinicoles pendant les fermentations des Vins de Savoie. Elle permettra d'identifier les activités vinicoles les plus à risque d'exposition, de proposer s'il y a lieu des mesures de prévention technique et médicale.

PARTIE 1
CARACTERISATION DES RISQUES TOXIQUES
EN CAVE DE VINIFICATION

I - LE VIN

I-1 - DEFINITION

Selon sa définition légale, le vin est "le **produit de fermentation du raisin frais ou du jus de raisin frais**".

Selon la C.E.E. et l'Office International du Vin (O.I.V.), "**le vin est le produit obtenu exclusivement par la fermentation alcoolique, totale ou partielle, de raisins frais, foulés ou non, ou de moûts de raisins frais**". Par cette définition officielle, le vin est préparé exclusivement à base de raisins ; ainsi, les expressions "vin de pêche", "vin de poire", "vin de kiwi" ne sont pas correctes (82).

Plus scientifiquement, il s'agit de la boisson provenant de la **fermentation par les levures** lors de leur croissance, et aussi dans certains cas par les bactéries lactiques, **du jus d'écrasement ou de macération des cellules du raisin** (75).

Le vin est donc un produit biologique, résultat d'une biochimie passant par les étapes de fermentation alcoolique lévurienne puis fermentation malo-lactique bactérienne.

I-2 - LE VIN EN FRANCE (25,81, 82)

La France est de loin, avec l'Italie, le plus important producteur de vin, avec une production annuelle variant entre 57 et 59 millions d'hectolitres. Le vignoble français couvre 896.000 hectares et ce sont près de 300.000 personnes en France qui vivent directement du vin (exploitants, salariés du négoce et des caves) (25).

Le vin peut être rouge, rosé, blanc, gris, jaune, tranquille, mousseux, crémant, perlant, viné ou de liqueur. Il est défini par son mode d'élaboration, ses caractéristiques analytiques ou organoleptiques, ses défauts et ses qualités. De la plantation de la vigne à la vente des bouteilles au détail, le vin est un produit contrôlé, réglementé et taxé.

Selon la nature, l'origine du raisin, les techniques de vinification, les vins différeront :

⇒ **PAR LEUR COULEUR**

- **Vins blancs et vins rouges** se différencient par la couleur et la structure tannique des seconds. Ces caractères sont liés à la nature des cépages, mais aussi à l'intervention de la macération des peaux de raisin dans les jus en fermentation. Les vins rouges sont des

vins de macération et les vins blancs issus de pur jus de raisin ; sans macération, on peut obtenir un vin blanc à partir de raisins noirs à jus blanc (ex. : Pinot de Champagne).

- **Les vins claires, rosés ou gris** ne sont pas l'assemblage (coupage) de vins blancs et rouges, le coupage est d'ailleurs interdit en France. Ils en sont des intermédiaires, plus ou moins colorés ; ils sont obtenus soit par pressurage direct (vendange rouge vinifiée avec les méthodes du blanc), soit par « saignée ».

⇒ PAR LEUR RICHESSE EN SUCRE

Les vins secs et les vins sucrés ou doux (blancs en général) sont caractérisés par des taux de sucre variable (cf. tableau n°1). La fermentation des vins doux demande des raisins riches en sucre, cueillis très murs.

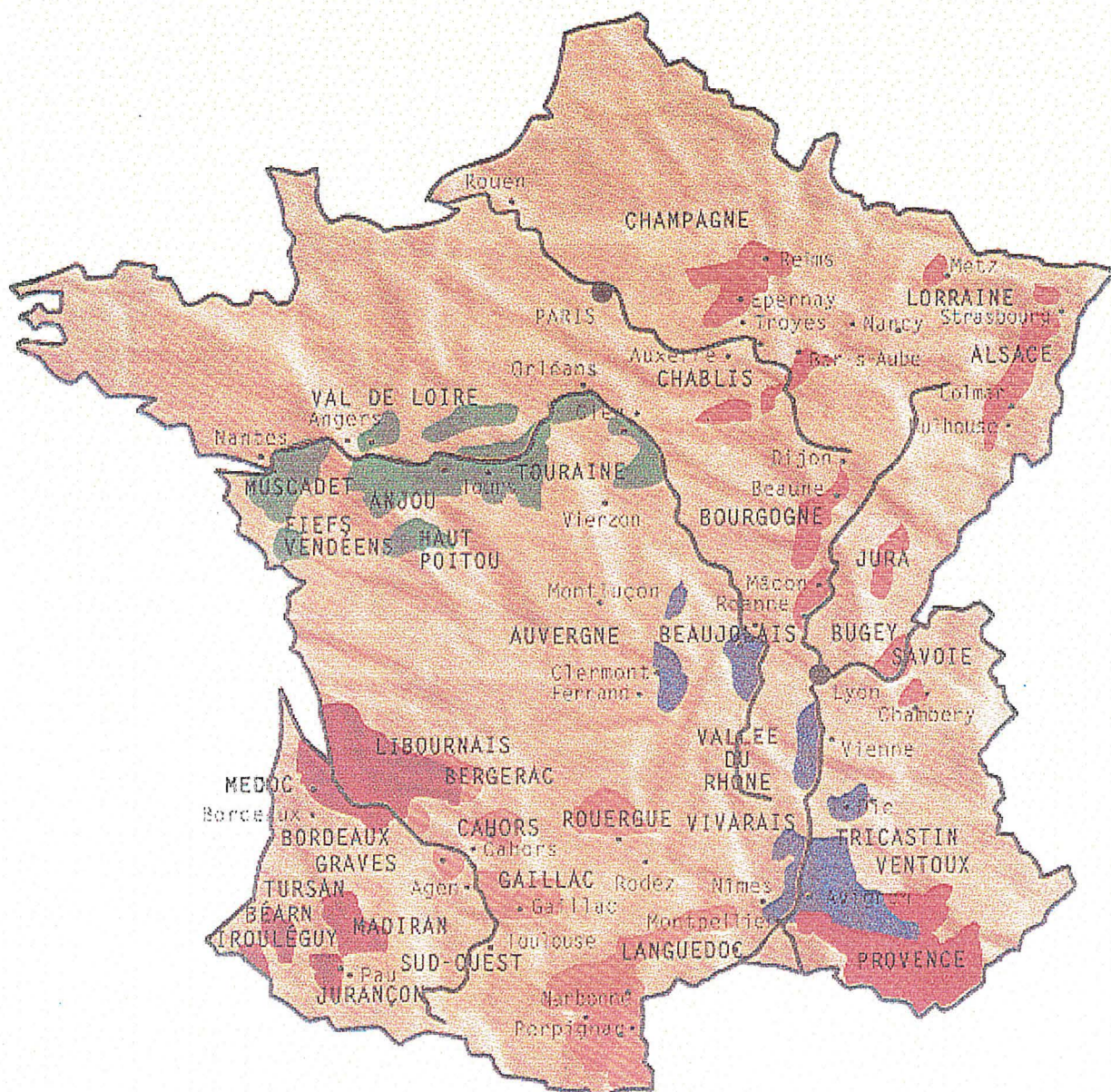
⇒ PAR LEUR RICHESSE EN DIOXYDE DE CARBONE

- **Les vins tranquilles** possèdent un taux de dioxyde de carbone tel que la pression soit inférieure à 0,5 bar à 20 °C. Ils correspondent à tous les vins qui ne sont pas gazeux.
- **Les vins effervescents** sont caractérisés, au débouchage de la bouteille, par un dégagement de dioxyde de carbone provenant exclusivement d'une seconde fermentation. Ils sont en majorité blancs, éventuellement rosés, **mousseux** ou **pétillants** selon la pression de dioxyde de carbone et le taux de sucre.

⇒ PAR LEUR QUALITE

Les trois principales catégories de vins en France sont :

- les **Vins d'Appellation d'Origine Contrôlée (AOC)**, classe reine, celle de tous les grands vins. Ils sont délimités par des normes draconiennes de terroir, de cépage, de culture, de rendement à l'hectare, de vinification, de degré alcoolique, d'analyse et de dégustation. Les aires d'appellation couvrent 432.000 hectares, font vivre 100.000 exploitations agricoles et coopératives viticoles, qui produisent 24 millions d'hectolitres de vin.
- les **Vins Délimités de Qualité Supérieure (VDQS)** sont inférieurs dans l'échelle des appellations, leur qualité est suivie de manière aussi rigoureuse que les AOC mais le passage obligé par les dégustations est moins intransigeant.
- les **Vins de Pays** : ce sont des vins de table issus de régions déterminées et de cépages plus ou moins nobles, le degré minimal qui leur est imposé est de 8,5° à 9° selon la zone viticole, leurs rendements sont donc plus importants.



LA FRANCE DES VIGNOBLES

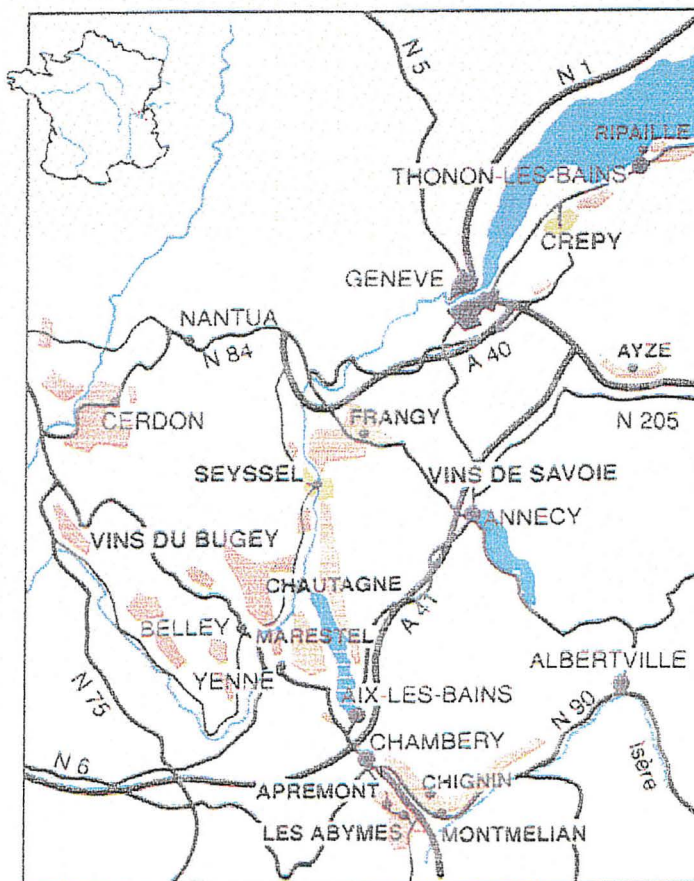
C'est en 1860, date du rattachement de la Savoie à la France, et encore plus le 4 Septembre 1973, date du classement en Appellation d'Origine Contrôlée de l'aire de production savoyarde, que le vignoble français s'est enrichi d'une de ses composantes les plus anciennes (1er siècle de notre ère) et les plus typées : cépages rares caractéristiques de Savoie, terroirs de montagne subissant un climat rigoureux de type continental et une pluviosité abondante (25,38).

I-3 - LES VINS DE SAVOIE

Le vignoble savoyard appartenant aux aires d'Appellation d'Origine Contrôlée (A.O.C.), est réparti sur 4 départements limitrophes : Savoie, Haute-Savoie, Isère et Ain.

Les parcelles, de petite taille, accrochées aux basses vallées et aux abords des lacs, entre 250 et 450 m d'altitude, sont disséminées sur différents terroirs qui correspondent à des microclimats bien déterminés, influencés par la présence de l'eau et nuancés par l'air montagnard (40,65) :

- les contreforts du sud du massif des Bauges (Chignin, Cruet, Arbin, St-Jean de la Porte),
- les éboulis du Mont Granier (Apremont, Abymes)
dont les coteaux dominant la vallée de l'Isère,
- les pourtours du Lac du Bourget (Chautagne, Marestel),
- la région de Seyssel et Frangy au bord du Rhône,
- le terroir d'Ayze le long de l'Arve en Haute-Savoie,
- les berges du Lac Léman (Crépy, Ripaille, Marin, Marignan).



Source SOPEXA avec le concours de l'INAO

LE VIGNOBLE SAVOYARD



Les coteaux savoyards

La Savoie comptait 13.000 hectares de vigne en 1889 (40). Aujourd'hui, les exploitations viticoles en cultivent 1800. La production de 130.000 hectolitres de vin, soit 0,6% de la production nationale, se répartit entre 500 caves particulières, et 4 caves coopératives (qui vinifient la vendange de 700 vigneronns).

80% de la production se consomme sur place en Savoie, profitant principalement du tourisme hivernal, 10% en région Rhône-Alpes, 5% à Paris et 5% à l'exportation.

On distingue en Savoie des vins dits **tranquilles** blancs, rouges et rosés, et des vins **effervescents** blancs (mousseux et pétillants) :

- Les **vins blancs** représentent environ 70% de la production, les cépages dominants sont le Jacquère (45000 hectolitres) et la Roussanne (ou Bergeron).
- La production de **vins rouges**, issus des cépages Mondeuse, Gamay, Pinot, représente à peu près 20%.
- La production des **vins rosés** et **effervescents** est très faible.

Il existe **4 types d'A.O.C.** se référant à la Savoie ou à une commune de Savoie, et **21 crus** :

- **l'A.O.C. Vin de Savoie**, créée en 1973 : les vins sont blancs, rouges, rosés ou gris mousseux. Sur l'étiquette, le nom d'AOC peut être accompagné du nom de 17 crus (*Abymes, Apremont, Arbin, Ayze, Chautagne, Cruet, Chignin-Bergeron ou Bergeron, Jongieux, Marnigan, Marlin, Montmélian, Ripaille, Saint-Jean de la Porte, Saint-Jeoire-Prieuré*). Les cépages sont nombreux : Jacquère, Bergeron, Chasselas, principalement pour les blancs, et Mondeuse, Gamay et Pinot pour les rouges et rosés.
- **l'A.O.C. Roussette de Savoie**, issue du cépage blanc Altesse. Sur l'étiquette, l'AOC peut être accompagnée du nom de 4 crus (*Frangy, Marestel, Monterminod, Monthoux*).
- **l'A.O.C. Crépy** (1948) issue du cépage chasselas, raisin blanc.
- **l'A.O.C. Seyssel** et sa variante effervescente Seyssel mousseux.

Les 2 régions de Savoie dont nous allons étudier l'activité vinicole sont :

- **la Chautagne** : située au nord-est du lac du Bourget, limitée au Nord-Ouest par le fleuve Rhône, elle constitue un microclimat particulier à l'origine du surnom qu'on lui prête souvent : la « Provence de Savoie ». Le cru Chautagne, étiré sur 10 kilomètres, est connu pour ses vins rouges (70% de la production), notamment celui issu du Gamay teinturier (ou Gamay à jus noir).
- **la région de Cruet**, dont les coteaux sont situés sur les contreforts des Bauges et dominant la vallée de l'Isère savoyarde (Combe de Savoie), entre Montmélian et Saint-

Jean de la Porte. Les vignobles sont orientés plein Sud. Les vins les plus fameux sont des vins blancs obtenus à partir du cépage Jacquère.

Les méthodes de vinification diffèrent plus ou moins de celles utilisées dans les autres régions vinicoles, profitant dans la plupart des caves, de matériels modernes et d'œnologues de formation scientifique.

Nous nous intéresserons, dans notre travail, à l'activité de
vinification des vins de Savoie
et surtout à la **période des fermentations**,
qui suit immédiatement la vendange.

L'étape décisive et délicate de la **fermentation alcoolique**
implique des **processus biochimiques importants**.
Il faut les comprendre pour pouvoir appréhender
les spécificités du travail vinicole et ses risques toxiques pour la santé.



Bouillonnement de la fermentation

II - MICROBIOLOGIE ET CHIMIE DU VIN

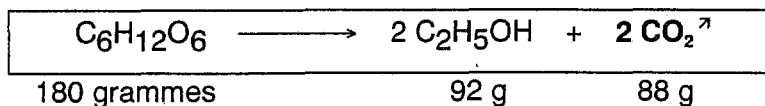
Le vin est une boisson fermentée, les agents responsables de la fermentation sont des levures et des bactéries, et « c'est une règle essentielle de la vinification moderne de considérer que le vin n'est achevé et stable que lorsque ses deux fermentations sont terminées. » (75)

II-1 - LA FERMENTATION ALCOOLIQUE (18,62,65,75,97)

II-1-1 - GENERALITES

La fermentation alcoolique est la fermentation la plus anciennement étudiée. C'est l'**étape décisive** qui transforme le jus de raisin (moût) en vin. Visuellement, elle se traduit par un « bouillonnement » spectaculaire au sommet de la cuve de vinification (le mot « fermentation » vient du latin *fervere* qui signifie « bouillir »). On l'appelle ainsi la fermentation "tumultueuse".

Décrite en 1815 par Gay-Lussac, et expliquée par Pasteur en 1860, elle correspond à la **transformation enzymatique par certaines levures anaérobies¹, des sucres fermentescibles** (isomères glucose et fructose) **en éthanol**, avec libération de CO₂ :



En vinification rouge, il faut 18 grammes de sucre pour obtenir 1 degré d'alcool. 1 litre de moût (contenant 180 g de sucre) donnera donc 1 litre de vin à 10°.

Dans la pratique (97), cette quantité n'est pas tout à fait observée. Ainsi, l'estimation de la puissance alcoolique à la réception de la vendange est faite à raison de 17,5 grammes de sucre pour 1% de volume d'éthanol par litre, quantité qui produira 8,56 grammes de CO₂ ; le demi-gramme restant sert à la production de produits divers (60) tels que **glycérol** (de 3 à 5%, par la voie de la fermentation glycéropyruvique), l'**acide succinique** (0,5%), le **butane-2,3-diol** (0,5%). Par comparaison, en vinification en liquoreux, le moût contient au départ 350 grammes de sucre par litre (vendanges tardives) qui donneront 14,5 degrés d'alcool par litre de vin (surmaturation).

¹ levures indigènes du type *Saccharomyces ellipsoïdeus*, *Kloeckera apiculata*, ou *Hanseniaspora uvarum*, qui proviennent du raisin lui-même

Le tableau suivant permet de se rendre compte des différents composants du vin (65).

COMPARAISON DU MOUT ET DU VIN EN G/L

	MOUT	VINS (principaux composants)
Eau	750 à 850 g/l	≈ Idem
Sucres	130 à 350 g/l et plus surtout <u>glucose</u> et <u>fructose</u>	de 0 à plus de 36 g/l vins secs : 2 g/l demi-secs : 20 g/l moelleux : 36 g/l liqueureux : plus
Alcool	/	éthylrique : 60 à 110 g/l voire 150 g/l méthylique : traces + autres alcools en plus faible quantité
Glycérol	/	5 à 15 g/l
Acides	tartrique : 3 à 7 g/l malique : 5 à 10 g/l acétique : / lactique : / et autres :	tartrique : 1,5 à 4 g/l malique : 0 à 4 g/l acétique : 0,2 à 0,5 g/l (volatile - maxi législation = 1g/l) lactique : 0 à 3,5 g/l et autres :
Matières minérales	sel : quelques grammes	potassium sodium fer et autres quelques grammes
Matières azotées	quelques grammes	quelques grammes
Tanins		anthocyanones : 0 à 0,5 g/l flavones : 0 à 0,05 g/l tanins : 0,1 à 5 g/l

tableau n°1

Selon Peynaud (75), « le mécanisme chimique de la fermentation du sucre est d'une complexité prodigieuse et le schéma des transformations ne comporte pas moins d'une trentaine de réactions successives mettant en jeu un grand nombre d'enzymes ». Ces multiples réactions engendrent de nombreux produits secondaires.

II-1-2 - PRODUITS FORMES LORS DE LA FERMENTATION ALCOOLIQUE

Peynaud (75) les a regroupés dans un tableau synthétique, en précisant leur importance, pour la fermentation de 170 grammes de sucre.

Alcool éthylique	80 g/l
CO₂	76 g/l
Glycérol	6 g/l
Acide succinique	0,8 g/l
Butylène glycol	0,4 g/l
Acide acétique	0,3 g/l
Acide lactique	0,3 g/l
Alcools supérieurs	0,3 g/l
Acide citramalique	0,08 g/l
Acétaldéhyde	0,08 g/l
Acide pyruvique	0,06 g/l
Acide alpha-cétoglutarique	0,04 g/l
Acétate d'éthyle	0,04 g/l
Acétoïne	0,01 g/l

Glycérol, acides, alcools supérieurs (de C₈ à C₁₂) et esters participent à la formation de l'expression aromatique et du goût du vin. De nombreuses autres substances ont pu être détectées (cf. annexe n°1)

Les quantités de gaz produites sont très importantes, notamment le CO₂ : en effet, les 88 grammes de CO₂ formés pour 1 litre de moût représentent un volume de 44,8 litres à 0°C, et 48,1 litres à 20°C

On peut donc conclure que selon la température,
le taux de sucre et la densité de départ,

l'élaboration de 1 litre de vin dégage de 40 à 60 litres de CO₂.

La fermentation alcoolique, dans certaines conditions, ne se déroule pas comme prévu. Des processus microbiologiques et chimiques anormaux peuvent se développer, les produits formés sont différents et les conséquences sur le vin fâcheuses.

II-1-3 - LES FERMENTATIONS ANORMALES (18,62,75,81)

Avec la modernisation des techniques de vinification, la thermorégulation de la fermentation alcoolique, et la maîtrise de son déroulement, ces incidents de fermentation se rencontrent de moins en moins

II-1-3-1 - "Piqûre lactique"

Accident banal de la vinification, elle survient quand la fermentation alcoolique a été interrompue prématurément (par exemple après montée excessive en température). Le vin, ayant gardé des sucres résiduels, est donc attaqué par les bactéries lactiques ; à l'instar des levures, celles-ci consomment pour leur métabolisme l'acide malique et le transforment en acide acétique, acide lactique, **dioxyde de carbone** et parfois mannitol (fermentation mannitique ou maladie de la mannite).

Le vin, ainsi altéré et imbuvable, présente un goût à la fois sucré et acétique (aigre-doux), jusqu'à « l'odeur infecte de choux fermenté » (81). Certains vins de type liquoreux y sont sujets.

Aujourd'hui, la gravité de cet accident est réduite, grâce à l'adjonction rationnelle de dioxyde de soufre à la vendange, qui détruit les bactéries lactiques présentes sur le raisin.

II-1-3-2 - Maladie de la tourne (fermentation lactique)

Lorsque le vin est peu acide, il peut y avoir transformation de l'acide tartrique par des bactéries lactiques (*bacterium tartrophorum*, *Lactobacillus brevis*), en acide lactique, acide acétique et **dioxyde de carbone**. Le vin est inconsommable : son acidité diminue, il devient mou et plat, trouble et gazeux avec une odeur désagréable de piqué, la couleur perd de sa vivacité.

II-1-3-3 - La fleur

Elle est provoquée par une levure de l'espèce *Candida Mycoderma (Candida Vini)*, qui oxyde l'éthanol en éthanal (acétaldéhyde) et des acides organiques. Elle entraîne une diminution du degré alcoolique, de l'acidité ainsi qu'une production de **dioxyde de carbone**, donnant un goût "d'évent" au vin.

II-1-3-4 - Maladie de l'amer ou fermentation du glycérol

On peut la rencontrer dans les mauvaises années où le raisin, bien que manquant de maturité, pourrit et s'altère sur souche. Les bactéries lactiques indigènes du vin

décomposent le glycérol sans attaquer l'acide tartrique, en produisant de l'acide lactique, de l'acide acétique, du **dioxyde de carbone**, et de l'acroléine. Le vin prend de l'amertume.

II-1-3-5 - La graisse

C'est une "altération" du vin ou plutôt une manifestation particulière de la fermentation malo-lactique. Elle intervient par exemple lors d'absence de sulfitage de la vendange. Le vin est lourd, il file et coule sans bruit. Il a un aspect huileux donné par « l'agglutination » entre elles de bactéries (*Leuconostoc*), entourées d'un polysaccharide de type glycane.

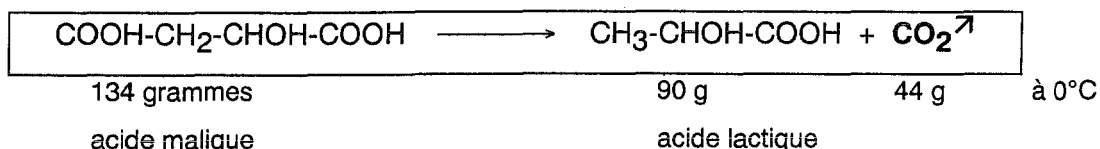
Quelques temps après la fin de la fermentation alcoolique, le vin peut dans certains cas se mettre à refermenter ; les professionnels ont appris à maîtriser cette seconde fermentation pour l'empêcher de se déclencher en bouteille.

II-2 - FERMENTATION MALO-LACTIQUE (53,75,82)

Une fois la fermentation alcoolique terminée, le vin présente un excès d'acidité dû à deux principaux acides venant du raisin : l'acide tartrique biologiquement stable, et l'acide malique, très acidifiant.

Découverte en 1930, la **fermentation malo-lactique** (ou seconde fermentation) est le second phénomène le plus important de la vinification du vin. Elle consiste en la **dégradation de l'acide malique** (diacide) **en acide lactique** (monoacide) **par des bactéries lactiques**.

C'est un processus de désacidification, d'assouplissement du vin, et de modification de sa couleur, que l'on peut traduire chimiquement par la formule suivante :



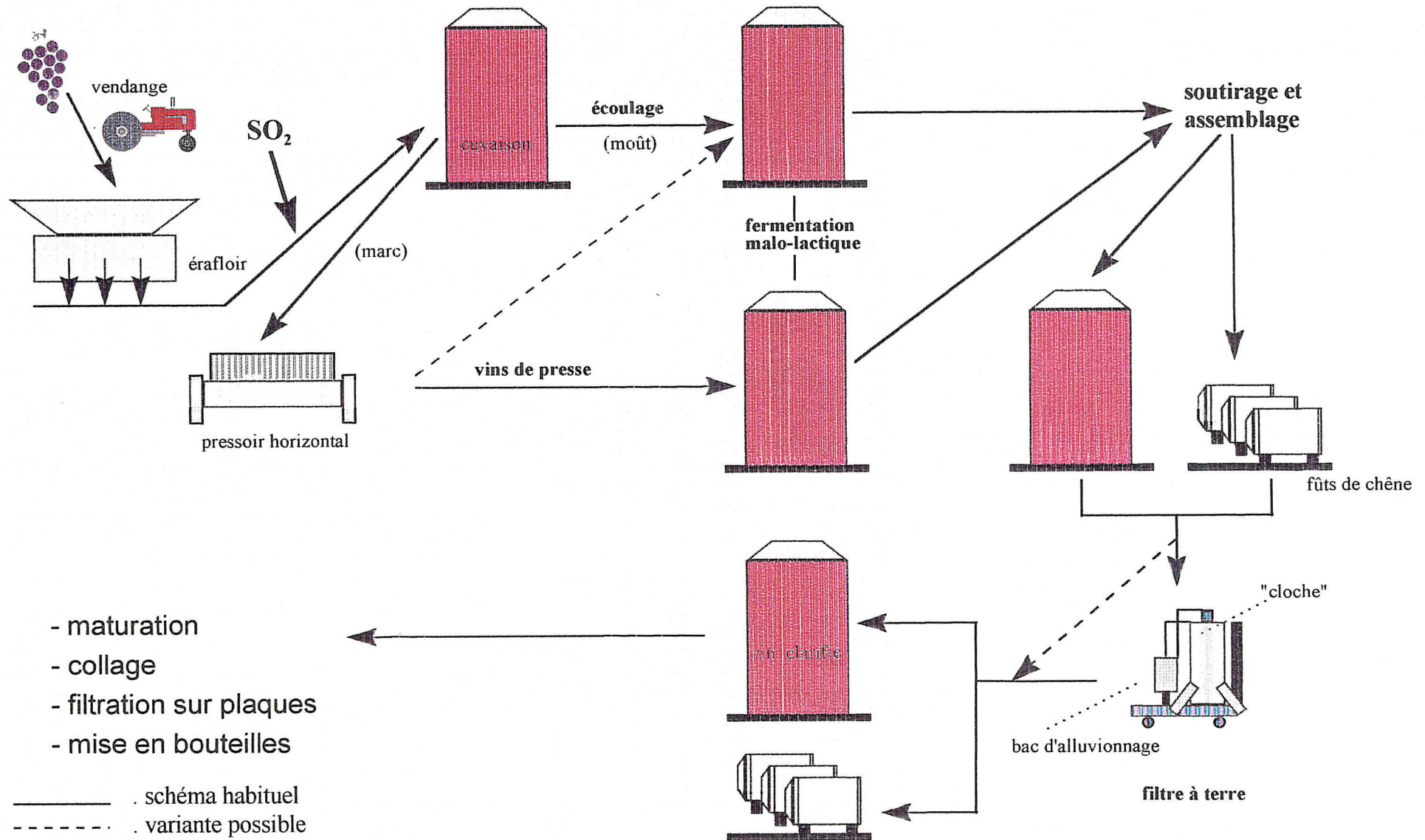
44 grammes de CO₂ représentent 22,4 litres à 0°C, et 24 litres à 20°C

Elle intervient plus ou moins longtemps après la fermentation alcoolique et dure deux à trois semaines. Elle nécessite un contrôle de la température car elle est impossible en dessous de 10°C, et la température idéale est de 20°C. Elle se fait en présence ou absence d'air.

Nous étudierons uniquement la vinification en rouge et la vinification en blanc, car elles sont les plus représentatives de l'activité.

Elles s'effectuent, en Savoie, de la mi-Septembre à la fin Octobre en général, parallèlement aux vendanges, dépendant en grande partie de la météorologie, et de la maturation des raisins.

SCHEMA DE VINIFICATION DES VINS ROUGES



III - LA VINIFICATION EN VIN ROUGE

(51,75, 82)

Le vin rouge est obtenu en faisant fermenter du jus de raisins noirs mûrs et sains avec leurs parties solides (peau, pépins et éventuellement rafle) ; ce sont elles qui apportent la couleur au vin en macérant avec le jus pendant la fermentation.

La vinification passe par plusieurs étapes essentielles bien déterminées.

III-1 - RECEPTION DE LA VENDANGE ROUGE

- Les grappes sont transportées en remorques du lieu de vendange au cuvier.
- Après contrôle visuel de l'état sanitaire, la vendange est versée dans un conquet en acier inoxydable, où elle est pesée.
- Des échantillons sont prélevés pour déterminer la richesse en sucre (mesure de la densité, ou de l'indice de réfraction du jus de raisin par un réfractomètre), l'acidité, et l'activité enzymatique d'oxydation (activité laccase).
- Une vis sans fin, située au fond du conquet, achemine régulièrement la vendange au **fouloir-égrappoir** :
- **l'égrappoir** est un cylindre rotatif muni de perforations dans lequel tourne en sens inverse un arbre fait de batteurs. Il réalise **l'égrappage** ou éraflage : la rafle, ensemble des pédoncules et pédicelles formant le squelette de la grappe de raisin, est enlevée dans un but d'amélioration gustative du futur vin, car ses éléments dissous donnent un goût astringent et herbacé au futur vin. Selon les décisions de l'œnologue, l'égrappage est complet, partiel, ou absent.
- le **fouloir** fait éclater les pellicules des raisins pour libérer la pulpe et le jus (**foulage**)
- Le plus souvent, la même machine réalise les deux opérations, sans intervention de l'homme. Dans certaines caves, le foulage est réalisé par le simple mécanisme de la vis sans fin.

La vendange fraîchement cueillie est soumise directement et rapidement aux effets de l'oxydation et aux invasions microbiennes. Pour la protéger, on procède à un léger sulfitage.

III-2 - SULFITAGE DE LA VENDANGE

La vendange est sélectionnée et transférée automatiquement par un système de conduites métalliques, jusqu'aux cuves de fermentation. Lors de ce transfert ou à l'arrivée dans les cuves, elle est **sulfitée** : il s'agit de l'ajout de **dioxyde de soufre (SO₂)**, liquide ou gazeux. Certaines caves vinicoles sulfitent manuellement, d'autres possèdent des dispositifs automatiques de sulfitage en amont des cuves.

1. **Les propriétés** du dioxyde de soufre mises à profit lors de la vinification sont nombreuses (70,75) :

- **effet antioxydant** : le SO₂ protège la vendange contre les effets de l'oxygène de l'air, par destruction totale ou partielle des oxydases (*laccase* en particulier), catalyseurs enzymatiques de l'oxydation. Il évite ainsi la casse oxydasique, altération profonde de la couleur et des qualités aromatiques ;
- **effet antiseptique** par inhibition et activation des levures : l'action est polyvalente sur les micro-organismes (levures, bactéries acétiques, lactiques). A doses suffisantes, il les inhibe complètement, mais à doses plus faibles, il exerce un effet stimulant sur l'activité des levures et active la transformation du sucre ;
- **effet sélectif** : il est double car le SO₂ gêne le développement des levures indésirables peu alcoologènes. Il provoque aussi une sélection levures/bactéries ;
- **pouvoir dissolvant** : le SO₂ intensifie la macération en facilitant la dissolution de la couleur et de divers polyphénols* pendant la macération.

2. **Des solutions aqueuses de différente nature** sont utilisées : (70)

- le SO₂ gazeux liquéfié : le gaz est utilisé en barbotage dans de l'eau pour préparer des solutions titrées, réparties ensuite dans des bidons. Cette technique, peu onéreuse, est largement utilisée, notamment dans les caves vinicoles de Savoie concernées par notre étude.
- solutions de SO₂ dissous prêtes à l'emploi : acide sulfureux (H₂SO₃), à 6% ou 8%. Elles sont utilisées par les caves vinicoles que nous avons visitées
- le bisulfite de K⁺ (KHSO₃) ou d'ammonium, n'y sont pas utilisés
- le métabisulfite de K⁺ (K₂S₂SO₃), ou de sodium, non plus.

3. **Les doses de SO₂** varient de 3 à 10 grammes par hectolitre pour des vendanges saines, selon le pH et les habitudes vinicoles.

4. **Le sulfitage** se fait :

- soit à la sortie du fouloir-égrappoir, dans le système de pompage de la vendange, par l'intermédiaire d'un doseur automatique (sulfidoseur),
- soit directement dans la cuve, au fur et à mesure de son remplissage ; l'opération est alors suivie d'un remontage de la cuve pour homogénéiser le SO₂ à la vendange avant son départ en fermentation.

Lors du sulfitage manuel, si aucun moyen de prévention n'est pris, les opérateurs peuvent inhaler des vapeurs de SO₂ ou être soumis à des projections.

Les conditions climatiques varient dans des proportions importantes d'une année à l'autre. Certaines pratiques deviennent parfois nécessaires afin d'atténuer les défauts de composition de la vendange.

III-3 - LES CORRECTIONS DE LA VENDANGE (65,75)

Les procédés suivants sont utilisés pour compenser une maturité naturelle insuffisante : ils portent sur le réglage de l'acidité ou l'augmentation de la richesse en sucre. Le départ en fermentation pourra être favorisé par un levurage.

III-3-1 - LA CHAPTALISATION

L'augmentation de la richesse en sucre, préconisée en 1801 par Chaptal, est interdite dans certains vignobles, et réglementée dans d'autres. Ainsi, contrairement aux régions méridionales, la chaptalisation est systématique en Savoie, car le degré initial de sucre des raisins à la cueillette est insuffisant.

- la chaptalisation est, le plus souvent, l'ajout de **sucre** (saccharose d'origine industrielle - sucre de betterave ou de canne) que l'on dissout dans du moût en début de fermentation, dans le but d'élever le degré alcoolique du futur vin. Elle permet d'améliorer l'équilibre gustatif des vins (puissance, corps et rondeur) tout en respectant leur caractère.

- Elle peut être aussi l'addition de moût concentré : les moûts concentrés sont préparés à partir de moûts mutés (conservés par un fort *sulfitage*) en éliminant une grande partie de leur eau par chauffage sous vide léger. Compte tenu de leur technique de préparation, ils ne respectent pas les critères de qualité requis pour les vins fins.

Il faut ajouter 17 grammes de sucre par litre de moût pour augmenter le degré alcoolique de 1 degré. Sauf exception, le degré alcoolique ne doit pas être élevé de plus de 2 degrés.

La chaptalisation se fait :

- en début de fermentation lors du premier remontage
- parfois après l'écoulage en cas de vendanges acides ou cuvaisons courtes

III-3-2 - ACIDIFICATION ET DESACIDIFICATION

L'insuffisance d'acidité peut être corrigée par l'addition d'acide tartrique, acide spécifique du raisin (l'acide citrique est utilisé plus rarement). L'acidification est surtout employée dans des régions chaudes dans le but d'obtenir des vins mieux équilibrés, agréables au goût et de meilleure conservation.

A l'opposé des régions chaudes, les vignobles septentrionaux ou situés dans des zones tempérées ont souvent à faire face à un excès d'acidité, il peut être parfois nécessaire de désacidifier chimiquement avec des produits œnologiques (tartrate neutre de potassium...) empêchant la solubilisation de l'acide tartrique en le faisant précipiter. C'est cette précipitation que l'on retrouve sous forme de dépôt dans les bouteilles.

III-3-3 - L'ENSEMENCEMENT

En vinification en rouge, les premières cuves remplies pendant la période de vinification, surtout par temps froid et humide, fermentent moins vite que les suivantes parce que l'inoculation spontanée n'est pas importante.

Un ensemencement peut ainsi être réalisé, à l'aide de **levures sèches actives**. Du dioxyde de soufre peut exceptionnellement être ajouté à cette étape.

Une fois acquises les conditions idéales de chimie et microbiologie, la cuvaison de la vendange peut commencer : le processus de fermentation alcoolique est enclenché, accompagné de la macération.



Cuves traditionnelles en béton

III-4 - LES DIFFERENTES ETAPES DE LA FERMENTATION ALCOOLIQUE

III-4-1 - LES RECIPIENTS DE LA FERMENTATION

Les cuves de fermentation sont de 2 types :

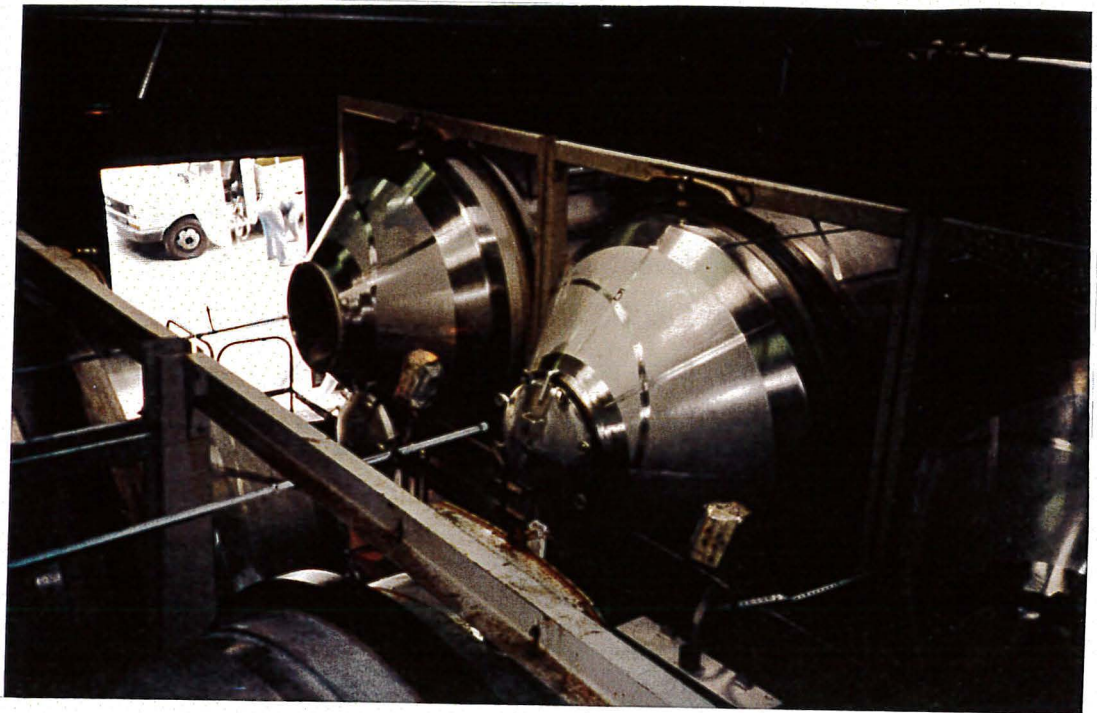
- **Les cuves traditionnelles en béton**, dont la paroi interne est parfois recouverte de résine époxydique pour l'étanchéité. Leur volume, cubique, peut atteindre 450 hectolitres. Elles possèdent deux trappes, une au sommet par laquelle s'échappent les gaz de fermentation et une sur le devant à hauteur d'homme servant au décuvage (trou d'homme). Elles sont remplies aux 2/3 de vendange pour laisser place au bouillonnement de la fermentation alcoolique. Elles sont reliées à un système de circulation d'eau froide pour la maîtrise des températures. Leurs décuvages sont manuels et nécessitent la pénétration d'ouvriers viticoles dans les cuves.
- **Les cuves en acier inoxydable**, cylindriques, horizontales et tournantes, semblables à des bétonnières, ont une capacité de 350 hectolitres. Elles sont montées sur un axe central permettant leur rotation pour le remontage et le décuvage. Elles possèdent 1 trappe sur le flanc pour le remplissage, fermée pendant la fermentation et la rotation, et 1 trappe à l'extrémité antérieure pour le décuvage. Les gaz de fermentation s'évacuent dans l'ambiance générale de la cuverie, par une soupape située sur le flanc supérieur de la cuve. Elles sont autoremontantes, et autovidantes : le décuvage se fait sans pénétration humaine. Nous les appellerons régulièrement par leur marque commerciale **Vinimatic™**.

III-4-2 - CONDUITE DE LA FERMENTATION

Généralement, le départ en fermentation de la vendange rouge est rapide, il peut être aidé d'un levurage (ou d'un chauffage) pour les premières cuves remplies.

Pendant la fermentation, la partie liquide ou **moût** s'individualise de la partie solide (rafles et pellicules de raisin) ou **marc** qui flotte à la surface de la cuve, soulevé par le dioxyde de carbone formé en grande quantité (chapeau de marc).

La fermentation complète du sucre en vinification en rouge dure classiquement 5 à 8 jours. Elle est favorisée par l'aération de la cuve, qui augmente la croissance de la population de levures, et par le contrôle de la température (aux environs de 30°C) pour assurer leur viabilité.



Cuves tournantes de type Vinimatic™

En Savoie, la fermentation alcoolique des vins rouges (Gamay, Pinot, Mondeuse) dure 4 à 7 jours, accompagnée ou non d'une macération complémentaire. Cette dernière est tout de même rare, ce qui réduit la période de cuvaison, comparativement à d'autres régions viticoles (Bordelais).

La **macération**, second processus décisif de la cuvaison, apporte essentiellement au vin rouge sa couleur et sa structure tannique. Dans certaines régions, une période supplémentaire de macération dans la même cuve est observée après l'arrêt de la fermentation alcoolique. Elle est modulée par l'oenologue par divers moyens d'intervention : opérations de remontage, maîtrise des températures, action sur la durée de cuvaison.

II-4-2-1 - Les remontages

Chaque cuve en cours de fermentation est remontée régulièrement 1 à 2 fois par jour.

⇒ Les remontages ont pour buts :

- l'humidification constante du chapeau de marc, par immersion ou arrosage, pour lui permettre de libérer tous ses composants aromatiques,
- l'homogénéisation des températures et de l'activité levurienne,
- l'élimination d'une partie du SO₂,
- de favoriser la multiplication des levures par une aération du moût

⇒ Les techniques de remontage sont variées, dépendant des traditions et de la spécificité des vins à obtenir :

- Une méthode traditionnelle, le **pigeage**, est encore utilisée en Bourgogne : le vigneron ou le salarié viticole s'introduit complètement dans la cuve et s'immerge dans le moût pour piétiner le chapeau de marc, pendant environ 1 heure.
- La méthode du **remontage manuel** est moins risquée : les opérateurs se tiennent sur le dessus de la cuve et immergent le marc à l'aide d'une canne ou d'un long manche (la pige).

Ces deux méthodes (et notamment le pigeage)

exposent de manière importante l'opérateur au CO₂ car sous le chapeau il y a forte accumulation de gaz pendant la fermentation.

Elles ne se pratiquent pas dans les caves viticoles de Savoie.



Remontage par pompage

- La méthode la plus utilisée est le **pompage** : le moût s'écoule par le robinet bas de la cuve, dans un bac où il bénéficie d'une aération. Il est pompé instantanément et reversé par tuyau, au sommet de la cuve pour arroser le chapeau de marc. Cette opération dure 30 minutes à 1 heure selon les capacités de cuve. L'exposition de l'opérateur au CO₂ peut se faire au-dessus du "bac de remontage", et lorsqu'il place le tuyau dans l'ouverture supérieure de la cuve.

Les remontages par pompage dégagent des gaz de fermentation qui participent à l'atmosphère chargée des caves.

De plus, l'ouvrier vinicole posté à proximité du bac pour la surveillance est directement exposé à des concentrations importantes, cette exposition augmente au fur et à mesure de l'évolution de la fermentation alcoolique.

- En Savoie, une technique est souvent associée au pompage : l'**oxygénation** directe du moût en fermentation par une canne introduite au sommet de la cuve. Elle dure 6 minutes.

Cette introduction nécessite l'accroupissement de l'opérateur près de la trappe supérieure de la cuve

⇒ **exposition importante aux gaz de fermentation,**
notamment au CO₂,

d'autant plus élevée que l'intensité de la fermentation augmente.

- les cuves **autoremontantes** de type Vinimatic™ permettent d'éviter les remontages par pompage : le marc est régulièrement immergé grâce à leur système de cycles de rotation. Seulement il n'y a pas d'aération, ce qui rend nécessaire une oxygénation par canne.

III-4-2-2 - La surveillance de l'évolution de la fermentation

La prise de densité des moûts : la densité du moût reflète directement l'avancée de la fermentation et l'œnologue la surveille pour décider de l'arrêt de la cuvaison.

Elle se fait 2 fois par jour et notamment le matin à l'ouverture de la cave ; la personne qui en est chargée procède à la prise de moût de toutes les cuves en fermentation, par le robinet bas de la cuve ; la densité se mesure à l'aide d'un mustimètre plongé dans une éprouvette.

La prise de température des moûts est concomitante : soit lors de la prise de moût, soit plongée d'un thermomètre sous le marc par la trappe supérieure.

Dans certaines caves, les ouvriers réalisent ces prélèvements en position accroupie, et il y a risque d'exposition importante au dioxyde de carbone.

Une fois la fermentation alcoolique et la macération terminées, la cuve devra être vidée du moût fermenté et du marc.

III-4-3 - VIDANGE DES CUVES

L'écoulement ou "écoulage" ou vidange ou égouttage, consiste après l'achèvement de la cuvaison, à faire s'écouler par gravité le moût fermenté (« **vin de goutte** » ou « vin de tire » ou « grand vin » selon les régions), qui représente à peu près 85% du vin final (81).

Cette opération s'effectue par le robinet bas de la cuve. Le vin s'écoule dans un bac pour s'aérer. Il est pompé et transféré dans une cuve de conservation (ou « d'achèvement »).

Un ouvrier vinicole posté à proximité du bac pour la surveillance de la vidange peut être exposé aux gaz de fermentation dégagés.

III-4-4 - DECUVAGE

III-4-4-1 - Cuves traditionnelles en béton

Après la vidange, le **décuvage** ou démarcage consiste à extraire du fond de la cuve les pellicules du raisin, grappes et pépins, constituant ce que l'on appelle le **marc**, produit en général bien fermenté, et plus ou moins sec.

Cette opération s'effectue manuellement dans les cuves traditionnelles en béton, c'est à dire qu'une à trois personnes descendent dans la cuve par l'ouverture supérieure, après une ventilation préalable ; la hauteur de marc peut atteindre 1m50. Soit il est extrait par l'ouverture inférieure à la fourche ou à la pelle, soit le salarié le pousse sur un tapis roulant introduit dans la cuve (ce qui est pratiqué dans les caves de notre étude).

En raison de cuvaisons courtes, le décuvage en Savoie se déroule en général dans une période se situant autour du pic d'intensité de la fermentation, avec un dégagement encore important de gaz de fermentation.

Cette opération constitue une situation à risque maximal :

- **d'exposition aux émanations de CO₂**

Car après écoulage du vin fermenté, le CO₂ reste en nappe au dessus du marc. De plus, malgré la fin de la fermentation, le marc restant contient des poches de CO₂ brutalement libérées et mobilisées par l'opération de décuvage.

- **d'exposition aux autres gaz de fermentation**

notamment **vapeurs d'éthanol**, alcools supérieurs et **aldéhydes**

associée aux **efforts physiques** fournis
en atmosphère **chaude et humide**

III-4-4-2 - Cuves autovidantes de type Vinimatic™

Leur décuvement est automatique : il n'y a pas de pénétration humaine dans les cuves ; l'évacuation du marc est assurée par la rotation des cuves dont les parois internes ont un profil hélicoïdal. La surveillance de cette opération nécessite, pendant 1 heure environ, la présence d'un opérateur, posté à proximité immédiate de la trappe, et parfois même penché sur le marc pour aider du bras son évacuation.

Il existe une exposition aux gaz de fermentation pour l'opérateur affecté au décuvement automatique, mais qui apparaît inférieure à celle du décuvement des cuves en béton

III-4-5 - PRESSURAGE DU MARC DECUVE

Le marc décuvent est pressé dans des pressoirs horizontaux à rebêchage automatique (soit mécaniques à plateaux soit pneumatiques). On obtient le "**vin de presse**", qui représente approximativement 15 à 20% du futur vin. Le marc pressé sec est ensuite évacué de la cave pour partir en distillation.

Le transfert du marc* se fait sur des tapis à bandes installés dans la cave et menant directement aux pressoirs.

L'arrivée du marc* décuvent dans le pressoir est surveillée par un ouvrier vinicole qui peut ainsi intervenir en cas de problème. Il est, dans certaines caves, placé juste en regard de l'orifice du pressoir.

Le flux de marc fraîchement décuvent représente une source de gaz contaminant l'ensemble de la cave lors du transfert sur tapis, et à laquelle est potentiellement exposé l'opérateur au poste de pressurage.

Vin de presse et vin de goutte sont en général assemblés en cuve d'achèvement (ou cuve de conservation) pour y subir leur fermentation malo-lactique. Ils peuvent aussi l'être après fermentation malo-lactique séparée.

III-5 - FERMENTATION MALO-LACTIQUE

La seconde fermentation, ou fermentation malo-lactique, est une véritable désacidification biologique du vin. Elle s'effectue à 18-20°C, et nécessite une bonne maîtrise de cette température. Elle assouplit le goût (diminution de l'acidité), renforce la vinosité, la complexité et la stabilité biologique du vin. Son déroulement est fluctuant et peut passer inaperçu.

III-6 - TRAVAIL DU VIN

Après la fermentation malo-lactique, le vin est plusieurs fois soutiré de sa cuve Il subit alors un sulfitage supplémentaire. Il est ensuite clarifié par **collage**, mis en barriques de chêne ou dans une nouvelle cuve pour sa maturation. Avant mise en bouteille et commercialisation, il passe par une clarification finale par **filtration** sur filtres à terre à diatomées.

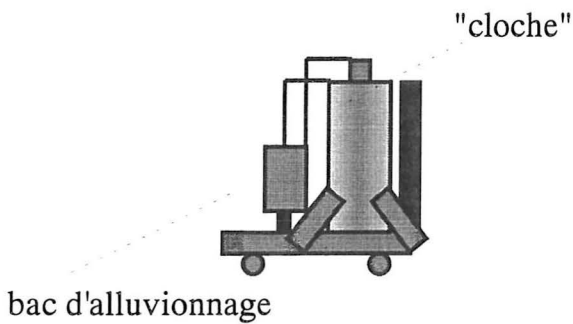
III-7 - FILTRATION

La filtration est une technique de clarification qui consiste à faire passer un liquide trouble à travers une couche filtrante de canaux ou pores très fins.

La filtration du vin s'effectuait, jusqu'en 1978, à l'aide de filtres en amiante de type chrysotile (75). L'emploi de l'amiante a été arrêté dans cette activité pour des raisons d'hygiène alimentaire et après la confirmation de la présence de fibres d'amiante dans le vin (37). Un cas de mésothéliome a été rapporté chez un ouvrier ayant utilisé des plaques en amiante pour la filtration du vin (87).

Parmi les autres agents filtrants connus (perlite, cellulose, charbon), la **diatomite** ou *kieselguhr*, est considérée comme le meilleur. La diatomite est une roche légère de couleur blanche, grise verdâtre ou jaunâtre, à caractère siliceux (silice amorphe) Elle est constituée de carapaces fossiles d'algues microscopiques unicellulaires (*diatomées*) dont la membrane possède la propriété de fixer la silice de l'eau, lui conférant une grande propriété filtrante.

La forme commerciale utilisée est appelée **terre à diatomées**. Elle contient de la silice libre cristalline, conséquence de la calcination de la diatomite à très hautes températures.



filtre à terre

supports de la couche filtrante de diatomée sont des tamis extrêmement fins de fil d'acier inoxydable tissés ; le filtrage commence par l'établissement d'une première couche de cellulose, sur laquelle on dépose la couche primaire de terre à diatomées apportée par du vin limpide ou même par de l'eau.

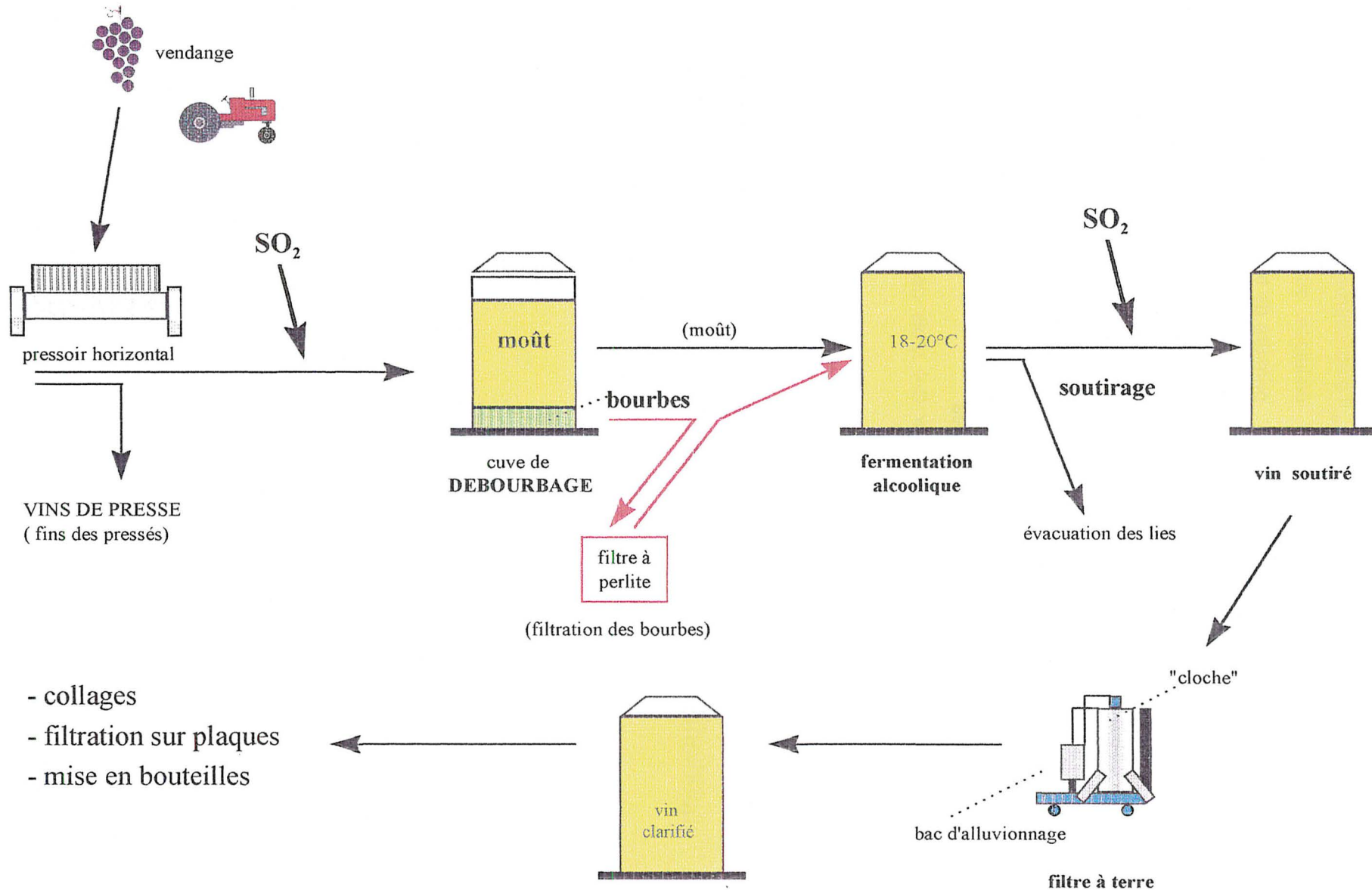
Ces filtres sont précédés ou équipés d'un encolleur automatique ou doseur de terre de diatomées, réalisant ainsi le mélange de l'adjuvant de filtration et du vin à filtrer.

L'utilisation de la terre à diatomées se fait généralement en **alluvionnage continu** : les

La filtration des vins rouges s'effectue sur 3-4 mois de Janvier à Avril, juste avant la commercialisation.

Pendant plus de 3 mois par an, les ouvriers vinicoles sont exposés quotidiennement à des aérosols de poussières de **terre à diatomées**, donc à de la **silice libre cristalline**.

SCHEMA VINIFICATION DES VINS BLANCS SECS



IV - LA VINIFICATION EN VIN BLANC SEC

(25,40,51,65,75,82)

Le vin blanc est élaboré par la fermentation du seul jus de raisin blanc, c'est à dire sans macération des parties solides de la grappe. Le pressurage de la vendange pour extraction du jus précède donc la fermentation.

IV-1 - RECEPTION DE LA VENDANGE

Les vendanges blanches sont sensibles aux effets de l'oxydation : la récolte est faite de raisins entiers, manipulés avec précaution, transportés rapidement à la cave sans écrasement dans de grandes hottes en plastique, pour un pressurage le plus précoce possible. Pour gagner le maximum de temps, certains vigneron (25) procèdent même au pressurage directement dans le vignoble.

Dès l'arrivée au cuvier, la vendange est déversée dans un conquet, pesée, et un échantillon est prélevé pour le contrôle sanitaire (activité laccase) et dosage du taux de sucre. Elle est égrappée et envoyée directement au pressoir.

IV-2 - PRESSURAGE

Il n'y a pas en théorie de véritable foulage en Savoie car il faut éviter au maximum l'aération du jus de raisin blanc ; le pressurage se fait lentement, immédiatement après l'arrivée de la vendange en cave. Les pressoirs sont des pressoirs horizontaux à rebêchage automatique, soit mécaniques à plateaux, soit pneumatiques de type Büscher™. Les $\frac{3}{4}$ du volume s'écoulent naturellement (moût de goutte), le reste (ou moût de presse) est obtenu après un pressurage doux et progressif afin d'éviter l'écrasement des pépins susceptibles d'apporter des goûts amers et astringents (65).

IV-3 - SULFITAGE DE LA VENDANGE

(51,65,75)

Le sulfitage intervient le plus tôt possible, dès que le moût se sépare par égouttage ou pressurage, et avant le débourbage. A ce moment-là le moût est très sensible à l'oxydation : il importe donc d'effectuer toutes les opérations en un minimum de temps et de protéger le jus

par l'apport de SO₂ qui détruit les enzymes responsables de l'âcreté et de la dégradation de la couleur, et facilite le débourage.

L'introduction de dioxyde de soufre (5 à 12 grammes par hectolitre, selon la maturité, la température, et l'état sanitaire des vendanges) se fait directement dans le cuveau où s'écoule le moût de presse au fur et à mesure de son remplissage.

Le moût est ensuite pompé et envoyé en cuve de débourage.

IV-4 - DEBOURBAGE (51,65,75)

C'est l'opération fondamentale de la vinification en blanc sec rationnelle, effectuée pour obtenir une première clarification spontanée ou provoquée, avant le départ en fermentation.

IV-4-1 - LES BOURBES (OU GROSSES LIES)

Formées par des fragments émanant du raisin (rafles, pellicules, pépins), des matières pectiques et mucilagineuses, des protéines et diverses impuretés en suspension, elles peuvent contenir du fer, des oxydases, d'éventuels résidus de produits phytosanitaires, et céder ainsi des goûts indésirables dans les vins blancs.

IV-4-2 - LE DEBOURBAGE

C'est la séparation du moût de presse (« jus clair ») des **bourbes** par une décantation de 12 à 48 heures. Le débourage peut aussi être réalisé mécaniquement par centrifugation ou filtration. Il permet une forte aération du moût pour éliminer le SO₂ qu'il contient.

La période de débourage est mise à profit pour :

- la **chaptalisation**, de technique identique à celle de la vinification en rouge
- un **sulfitage** supplémentaire si nécessaire (exceptionnel),
- l'éventuelle adjonction d'**enzymes pectolytiques**, et l'ensemencement à l'aide d'une souche de **levures** avant fermentation car le débourage, associé à des températures froides, déleuvre les moûts et les appauvrit en éléments nutritifs.
- l'éventuel traitement à la **bentonite** (argile colloïdale) pour éliminer les protéines naturelles.
- une **réfrigération** à des températures basses proches de 0°C, très fréquente en Savoie, qui favorise la sédimentation.



Cuves en résine pour la fermentation des vins blancs

En outre, un bon débouillage permet d'éviter les départs trop rapides en fermentation. 24 à 48 heures de repos du moût sulfité dans une cuve de décantation (sédimentation par repos) avant tout départ de fermentation, suffisent à l'élimination des grosses bourbes.

Le moût débouillé est acheminé en cuve de fermentation alcoolique ; les bourbes, elles, peuvent être filtrées.

IV-5 - FILTRATION DES BOURBES

Elles contiennent encore du jus de raisin. Un filtre spécial est parfois utilisé pour en retirer le maximum. La filtration nécessite un matériau de filtration différent de celui de la filtration classique du vin lui-même : la **perlite**, poudre de roche d'origine volcanique.

Le jus résiduel sera vinifié séparément ou mélangé avec le « jus clair » initial.

Cette technique est systématiquement utilisée par les caves vinicoles concernées par notre étude.

Les doses de perlite utilisées sont importantes, et les manipulations engendrent des aérosols de poussières dans les caves.

Après séparation des bourbes et transfert du moût clair en cuve de fermentation, la **fermentation alcoolique** peut commencer.

IV-6 - FERMENTATION ALCOOLIQUE

Elle s'effectue à une température réglée entre 16 et 20°C car "la finesse de l'arôme d'un vin blanc suppose des températures suffisamment basses" (51).. La thermorégulation s'effectue par des serpentins métalliques remplis d'eau froide (appelés « drapeaux ») plongeant dans les cuves.

Les récipients vinaires sont soit des cuves en béton à paroi interne recouverte de résine époxydique, de 350 à 450 hectolitres de capacité, soit des cuves plus modernes en résine d'une capacité de 550 hectolitres.

La fermentation alcoolique des vins blancs s'étale sur 3 semaines à 1 mois, du fait des températures plus basses qu'en vinification rouge, et la fermentation alcoolique en vin blanc produit les mêmes gaz qu'en vinification rouge. Ceux-ci sont libérés dans l'atmosphère de la cave.

Il n'y a pas de décuvage à proprement parler des cuves de blanc : après vidange du vin et transfert dans une cuve de conservation et achèvement, les lies restantes, simple dépôt fin, sont évacuées au jet d'eau par un ouvrier dans le cas d'une cuve en béton, simplement par gravité dans le cas des cuves modernes en résine.

La quantité de gaz formés par litre de moût est identique à celle de la vinification en rouges,

seulement elle est étalée sur 3 semaines à 1 mois.

La conduite de la fermentation des vins blancs et le décuvage, hormis la présence de gaz de fermentation dans l'ambiance générale de la cave, n'entraînent aucune exposition **spécifique** importante des ouvriers aux gaz de fermentation.

IV-7 - TRAVAIL DU VIN

3 semaines à 1 mois après, voire plus tard, le vin est soutiré (le jus clair est pompé, séparé ainsi des fines lies qui se sont déposées tout au long de la fermentation) ; il est mis en cuves de conservation pendant les mois de Décembre et Janvier, en atmosphère froide, pour se « dépouiller » naturellement par précipitation de ses sels de tartre ; puis il est **filtré** (sur terre à diatomées le plus souvent) et mis en bouteilles. Toutes ces opérations sur le vin blanc sont en principe précédées d'une légère addition protectrice de dioxyde de soufre (1 à 2 grammes par hectolitre).

De même que pour le vin rouge, pendant plus de 3 mois par an, les ouvriers vinicoles sont exposés quotidiennement à des aérosols de poussières de **terre à diatomées**, donc à de la **silice libre cristalline**.

L'analyse des différentes étapes de la vinification en rouge et en blanc, permet de cerner différents risques chimiques et situations présumées à risques pour :

DES PRODUITS ISSUS DE LA FERMENTATION ALCOOLIQUE :

- ⇒ L'exposition au **CO₂** paraît omniprésente, tant les quantités formées sont importantes
- ⇒ l'exposition aux vapeurs d'**éthanol**, inhérente à l'activité, semble importante
- ⇒ L'exposition aux autres gaz, et notamment l'**acétaldéhyde**, nous paraissent aussi intéressantes à relever

DES PRODUITS UTILISES DANS LES TECHNIQUES DE VINIFICATION :

Dioxyde de soufre
Terre à diatomées, perlite, bentonite
enzymes pectolytiques
levures

V - LES RISQUES TOXIQUES DE LA VINIFICATION

Les différents risques professionnels engendrés par l'activité professionnelle en milieu vitivinicole sont bien répertoriés par les techniciens de prévention et les médecins du Travail, tant lors des travaux de la vigne, qu'en cave vinicole pour les fermentations, l'élevage du vin et sa mise en bouteilles.

V-1 - PRESENTATION DES DIFFERENTS RISQUES

Pendant la vinification, des risques professionnels de différents types existent :

V-1-1 - LES RISQUES D'EXPOSITION AUX PRODUITS CHIMIQUES

Ils dominent pendant la vinification. Ils sont autant dus aux produits issus de la fermentation alcoolique (dioxyde de carbone, éthanol, autres alcools, aldéhydes,...) et accessoirement les autres fermentations, qu'aux produits utilisés lors des différentes étapes de la vinification (dioxyde de soufre, enzymes pectolytiques, azote,...), et pendant le nettoyage des récipients vinaires (carbonates et phosphates alcalins, soude, chlorure de calcium, formol, hypochlorites alcalins, ammoniums quaternaires) très peu utilisés en période de vinification.

Seuls les **risques d'exposition au dioxyde de carbone (CO₂)** ont été bien étudiés en France, car la vinification produit un volume important de CO₂, et le risque d'asphyxie est significatif pour les exploitants et les salariés vinicoles.

V-1-2 - EXPOSITION AUX PRODUITS EN PHASE PARTICULAIRE

Les utilisations et donc l'exposition à la terre à diatomées, la bentonite, la perlite, n'ont jamais été évaluées en France. Ces produits sont manipulés, selon les choix œnologiques, en grande quantité dans certaines phases de la vinification.

V-1-3 - RISQUE MICROBIOLOGIQUE

Plusieurs aspects caractéristiques de la vinification amènent à légitimement se poser la question d'une éventuelle exposition à des agents microbiologiques :

- Présence dans l'atmosphère de la cave vinicole des levures de fermentation d'origine naturelle (levures dites « indigènes » présentes sur la peau du raisin).
- L'utilisation de levures sèches actives vendues dans le commerce, pour le départ en fermentation de la vendange, n'a fait l'objet d'aucune étude d'évaluation.

V-1-4 - TRAVAIL EN AMBIANCE CHAUDE ET HUMIDE

La fermentation alcoolique, du moins pour le vin rouge, produit de la chaleur, et les températures approchent voire dépassent les 30°C. Plus la cuvaison est courte, plus les décuvages sont proches du pic de fermentation, et plus les températures sont hautes. Les décuvages traditionnels, en Savoie et ailleurs, se réalisent ainsi en ambiance chaude et humide, ce qui accentue le risque chimique inhérent.

V-1-5 - AUTRES RISQUES

- les risques de chutes sur sols glissants, encombrés de tuyaux, sont facilités par le contexte de précipitation, d'urgence, et de déplacements fréquents dans les caves.
- les chutes de passerelles élevées, les chutes dans des cuves,
- le risque électrique,
- les risques liés aux équipements de travail (pressoirs, conquets de réception, filtres...)
- les risques de la manutention bidons, tuyaux de transfert de vin, pompes, ventilateurs.

Notre travail est centré sur les
risques professionnels d'origine chimique
encourus par les ouvriers viticoles **pendant les fermentations.**

Notre intérêt se porte principalement sur les
gaz de fermentation et les produit de sulfitage, en phase gazeuse,
et les produits de filtration, en phase particulaire, bien qu'ils soient
utilisés plus tard dans la saison viticole.

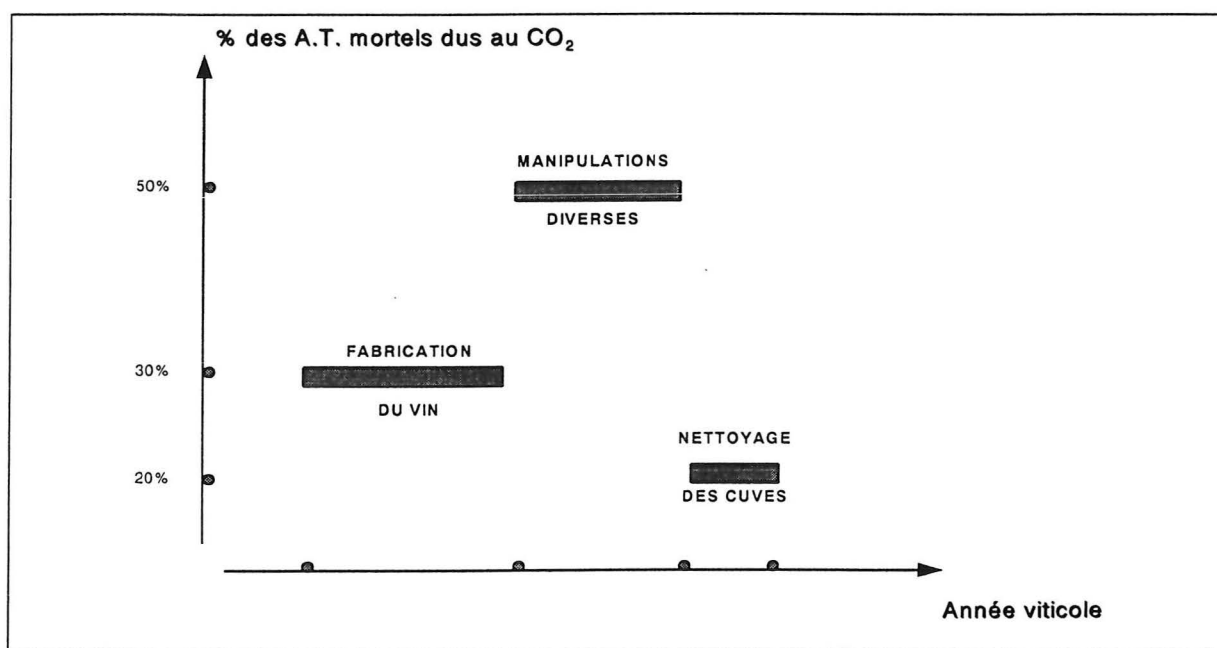
V-2 - EFFETS TOXIQUES DUS A L'EXPOSITION AU CO₂ EN CAVE DE VINIFICATION

Malgré l'existence de stratégies de prévention, des accidents mortels par intoxication et asphyxie oxygénoprive surviennent tous les ans, surtout dans de petites caves familiales : ainsi, une étude rétrospective récente, non exhaustive (53), portant sur la période 1984-1994, a recensé 26 accidents faisant 42 victimes, et le nombre d'accidents mortels survenus en France pendant les vendanges, depuis 20 ans, approche la centaine (73).

Les conditions d'accident par intoxication en cave vinicole sont stéréotypées (53) :

1. introduction de la victime dans l'atmosphère riche en CO₂ et pauvre en oxygène d'une cuve (ou d'un recoin mal ventilé de la cave)
2. perte de connaissance rapide et décès
3. fréquemment, intoxication voire décès de la personne se précipitant à son secours.

Toutefois, la moitié des accidents que le CO₂ provoque dans les caves vinicoles a lieu après les fermentations :



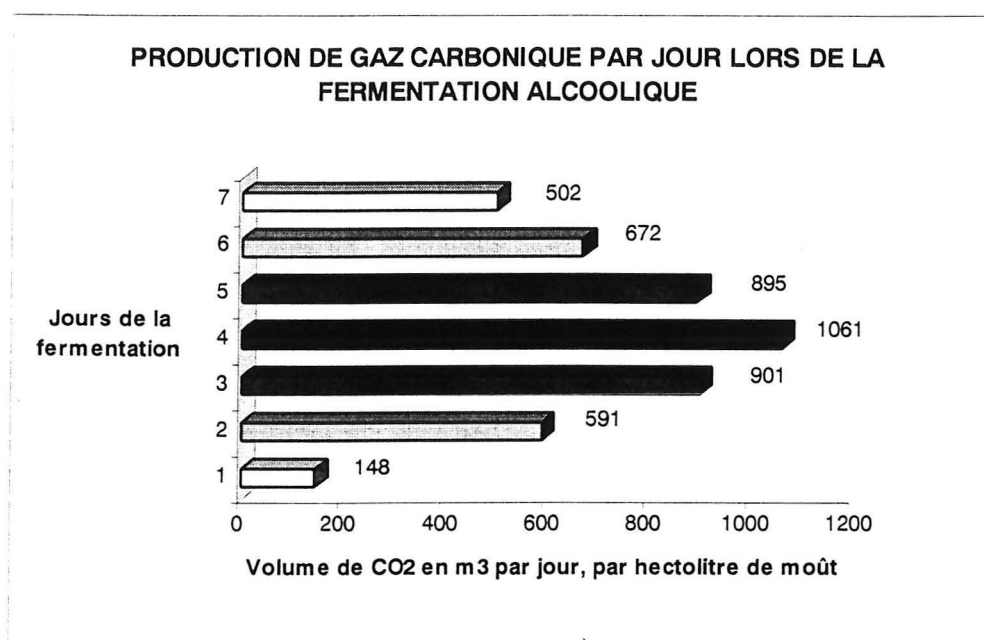
source MSA (18)

Dans les caves en période de vinification, le CO₂ est un gaz « familier », que chaque professionnel dit savoir apprivoiser, mais son comportement dans les caves échappe le plus souvent à leur analyse, leur connaissance de ses propriétés physico-chimiques est souvent erronée, la détection du gaz et les méthodes de prévention de l'intoxication restent archaïques (29).

V-2-1-1 - Production pendant les fermentations

V-2-1-1-1 - Pendant la fermentation alcoolique

Nous avons vu que les volumes de CO₂ produits en cave sont très importants : l'élaboration de 1 litre de vin dégage de 40 à 60 litres de CO₂. Pour 1 hectolitre de moût rouge avec une concentration initiale de sucre de 198 g/l, la production de CO₂ quotidienne se fera selon le graphique suivant :



Source MSA (18)

Dans ce cas, la production de CO₂ s'étalera sur 150 heures soit environ 6 jours. Sous l'influence d'une température plus faible (vinification en blanc), la quantité totale émise sera identique, mais la production s'étalera sur une période de temps plus longue.

Une cave vinicole de 10 000 hectolitres de production, ne rejette pas moins de 40 à 60 000 m³ de CO₂ pendant la fermentation alcoolique.

L'activité vinicole dans la cave pendant les fermentations comporte donc, en l'absence de mesures de prévention, un risque d'exposition générale ou spécifique au CO₂.

L'exposition varie selon le type d'activité effectuée, l'endroit de la cuverie, l'information de la personne amenée à pénétrer dans une cave, les dispositifs de ventilation employés ainsi que les traditions vinicoles régionales, la période des vendanges ; on peut déjà recenser plusieurs situations à risque d'exposition :

- Le travail quotidien dans l'ambiance générale des caves engendre une exposition chronique au CO₂.
- Les travaux dans certains points bas ou mal ventilés de la cuverie en période de pleine fermentation : cuvons, fosses de réception, couloirs ou chais souterrains, niveaux inférieurs d'une cuverie, escaliers y menant. Le dioxyde de carbone, plus lourd que l'air, s'y accumule en l'absence de ventilation adaptée.
- Dans certaines caves sous-équipées : à l'ouverture de la cave en début de matinée, en pleine période de fermentation, après fermeture nocturne avec accumulation très importante de CO₂ dans l'atmosphère. Ou, malgré la présence de dispositifs de ventilation, un salarié non expérimenté et non formé pénètre dans la cave le matin avant toute ventilation préalable.
- **Pendant les remontages**, l'exposition est présente au sommet de la cuve pour l'opérateur qui introduit le tuyau de remontage par la trappe supérieure ; elle se fait aussi à proximité du bac d'aération du moût car le jet provoque des remous atmosphériques.
- **Pendant la vidange des cuves**, il existe une exposition potentielle au CO₂, surtout en cuverie automatique où l'ouvrier vinicole est posté, pendant près d'une heure, à proximité immédiate du flux de vin pour surveiller son débit. Cette exposition est d'autant plus importante qu'elle s'effectue souvent dans une fosse située sous les Vinimatic™, point bas où s'accumule le CO₂.
- **Pendant le décuvage**, qui constitue une activité à haut risque d'exposition au CO₂.
- **Nettoyage des cuves de fermentation (49,53) après le décuvage traditionnel**, qui nécessite l'introduction ou le maintien dans la cuve de 1 ou 2 personnes ; à ce moment-là, la cuve peut contenir des vapeurs de CO₂ restées en nappe après le démarcage et majorées par la respiration des micro-organismes se développant sur les lies. Pour les cuves autovidantes de type Vinimatic™, en Savoie, ce nettoyage post-décuvage se fait le lendemain en général (ces cuves en acier inoxydable sont facilement lavables) après ventilation naturelle de 24 heures.

V-2-1-1-2 - Pendant la fermentation malo-lactique

Elle conduit à un dégagement de 0,36 litre de CO₂ pour 1 litre de vin, sur deux ou trois semaines. Un seul accident, exceptionnel, est à signaler, provoqué par l'accumulation de dioxyde de carbone émanant de cette seconde fermentation (la cuve avait été fermée trop longtemps) (97).

V-2-1-1-2 - Pendant les fermentations anormales

- "Piqûre lactique"

Ici, 1 molécule de glucose (180 g) se décompose en 1 molécule d'acide lactique, 1 molécule d'éthanol et 1 molécule de CO₂. Par litre de vin "piqué", il y a émission de 0,12 litre de CO₂.

Mais l'adjonction d'anhydride sulfureux à la vendange réduit le risque de survenue de cet incident.

- Maladie de la tourne

Il y a un fort dégagement de CO₂ pouvant faire éclater certains fûts en bois. 1 gramme d'acide tartrique donne 0,20 litre de CO₂.

- La fleur

Dans une cuve fermée de 100 hectolitres contenant 20 litres de vin résiduel atteint par la "fleur", sur 1° d'alcool, il y a libération de $3 * 20 = 60$ litres de CO₂ pouvant "contaminer" $60 * 1/0,03 = 2000$ litres = 20 hl. Il y a un réel risque d'exposition en partie basse de la cuve.

- **Maladie de l'amer** : du CO₂ est formé à partir du glycérol.

- **La graisse** : la présence de CO₂ produit une légère effervescence.

V-2-1-1-3 - Départ en fermentation sur lies

Des levures risquent de respirer là où il y a un peu de sucre, dans une cuve au fond de laquelle des lies auront stagné (après décuvage et avant nettoyage). Selon la MSA (27), 180 grammes de levure sous l'effet de l'oxygène donnent 180 grammes d'eau et 134,4 litres de CO₂. Ce qui équivaut à la formation de 0,716 litre de CO₂ pour 1 seul gramme de glucose.

V-2-1-1-4 - Développement de micro-organismes

(27,34,62)

Champignons, bactéries et même levures se développent dans les cuves en consommant l'oxygène présent et dégagent du CO₂ de par leur métabolisme. Approximativement, pour environ 10% d'oxygène consommé, les micro-organismes peuvent produire 10% de CO₂.

L'accrochage de ces micro-organismes aux parois est favorisé lorsque les cuves sont en ciment brut ; de plus, un lavage même efficace de la cuve n'élimine pas entièrement tout ; des composés organiques peuvent subsister (tartre) et servir de substrats aux micro-organismes.

Enfin, la présence d'humidité et une température tempérée (cas des cuves enterrées) favorisent leur développement.

V-2-1-1-2 - Rinçage des cuves avant vendanges

L'ouverture de cuves en béton enterrées, vidées et nettoyées depuis longtemps, pour un rinçage préparatif, a été à l'origine d'accidents mortels par asphyxie (53). Ces cuves contenaient du CO₂ issu de la respiration de micro-organismes fixés sur les parois en béton et se servant du tartre comme substrat (49).

V-2-1-2 - Utilisations

(27,53,75)

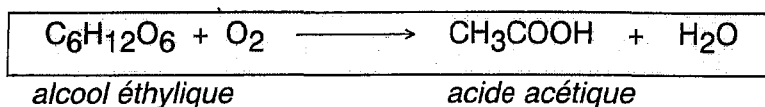
V-2-1-2-1 - Sous forme gazeuse

Le CO₂ est chimiquement inerte ; cette propriété est utilisée dans les atmosphères contrôlées, notamment en vinification :

1. La technique de **macération carbonique** (75) est un procédé de vinification sans foulage des raisins , utilisé exclusivement dans les caves de Beaujolais (Gamay) ; il s'agit d'une auto-fermentation ou fermentation intracellulaire. La vendange est versée entière dans une cuve fermée hermétiquement, dans une atmosphère saturée en gaz carbonique : l'espace libre de la cuve est rempli de CO₂ sous forme gazeuse. Cette méthode n'est pas utilisée en Savoie.

2. Conservation du vin

Sous l'action de levures aérobies, une réaction normale est l'oxydation de l'alcool en acide :



Un des moyens de se protéger de cette réaction indésirable est de supprimer l'oxygène dans la cuve, et pour cela on le remplace par un gaz neutre (azote avec ou sans addition de CO₂, atal, alligal, ou CO₂ seul, ...) : c'est **la technique d'inertage** ; elle est utilisée pour la distribution du vin (tirage pour la vente en vrac, pour la mise en bouteilles).

La cuve est ainsi maintenue en légère surpression, de telle sorte qu'au fur et à mesure que le vin est tiré, son volume est remplacé par le gaz d'inertage.

En fin de tirage, la cuve est pleine du gaz neutre et le risque d'asphyxie est immense en cas de pénétration pour nettoyage, puisqu'il n'y a plus d'oxygène.

V-2-1-2-2 - Sous forme liquide

En Savoie, l'adjonction de CO₂ est très rarement) pour compléter une macération appelée *macération pelliculaire préfermentaire* (pour certains cépages blancs comme le chasselas, après éraflage et avant pressurage).

V-2-1-2-3 - Sous forme solide

La glace carbonique a de nombreuses utilisations dont la conservation de la vendange pendant son transport jusqu'à la cave de vinification, dans certaines vignobles.

V-2-2 - DISPERSION ATMOSPHERIQUE DU CO₂

V-2-2-1 - Dans la cave de vinification (9,11)

Les cuves traditionnelles, dont les trappes supérieures sont largement ouvertes, autorisent une pénétration d'air pour un bon déroulement de la fermentation. Mais en période de fermentation, le CO₂ sort par la trappe supérieure des cuves et se trouve en très forte concentration à ce niveau : ainsi, en situation expérimentale de fermentation (11), on a pu mesurer sur le toit des cuves des nappes contenant 30 % de CO₂ sur 10 cm d'épaisseur. Puis le CO₂, plus lourd que l'air, s'écoule le long des parois extérieures des cuves et se dilue

progressivement (cas les plus fréquents) dans l'atmosphère de la cave. Enfin il s'accumule dans les points bas (cuvons, fosses de réception, couloirs ou chais souterrains) et les recoins non ou mal ventilés.

Un temps "lourd et orageux" avec un ciel "bas", l'absence totale de vent favorisent l'accumulation du gaz. L'orientation de la cave en fonction du vent dominant permet une meilleure élimination du CO₂. En règle général, sauf dans le cas où la température extérieure est trop basse pour le départ des fermentations, les activités de vinification se déroulent avec les portes de la cave grandes ouvertes.

Les énormes quantités de CO₂ dégagées vont entraîner une diminution de la concentration atmosphérique d'O₂ par deux mécanismes :

- *substitution de l'air par le CO₂* : **1% de CO₂ remplace 1% d'air, soit 0,2% d'O₂**. C'est ce qui se passe lors de l'introduction de CO₂ dans une atmosphère normale ; le risque ici est que la VLE du CO₂ soit atteinte avant que le taux d'O₂ descende en dessous de 17%.
- *substitution de l'O₂ par le CO₂* : l'O₂ de l'air est consommé (respiration de micro-organismes, oxydation) ; l'excès de CO₂ engendre un déficit en O₂ ; **1% de CO₂ remplace 1% d'O₂**

Les cuves automatiques de type Vinimatic™, dont nous reparlerons, présentes dans les deux caves de l'étude, sont horizontales, rotatives, et leur trappe n'est donc pas ouverte pendant la majeure partie de la fermentation. Dans ces périodes, les gaz s'échappent par une soupape, descendent par gravité, et viennent s'accumuler sous la cuve, polluant ainsi certaines parties des locaux dès les tout premiers jours des vendanges.

V-2-2-2 - Dans la cuve

- pendant la fermentation : le CO₂ (et tous les autres gaz de fermentation) occupe tout le volume compris entre la surface du marc et la trappe supérieure de la cuve.
- après l'écoulement du vin fermenté, le CO₂ reste en nappe au-dessus du marc mais est aussi piégé dans le marc dans des poches formées par les pellicules de raisin. Ces poches seront mobilisées par l'opération de décuvage, engendrant un risque réel d'exposition pour les décuveurs qui sont à l'intérieur de la cuve.
- après le décuvage : le CO₂ reste en nappe tapissant le fond de la cuve ; il y a risque d'exposition pour la personne restant dans la cuve pour la laver, d'autant plus grand que la personne peut chuter et être exposée au ras du sol.

Donc d'après les données énoncées,
des situations à risque potentiel important d'exposition sont
individualisées :

1. le **décuvage traditionnel** avec
pénétration d'ouvriers dans une atmosphère confinée
2. la **vidange** des cuves à la fin de la fermentation alcoolique
3. le **décuvage automatique** d'un certain type de cuves, peu connu,
dont l'exposition de l'opérateur au CO₂ mérite d'être évaluée
4. **l'ambiance générale** dans les caves pendant les fermentations et
surtout pendant les remontages, vidanges, décuvages, transports de
marc et pressurages.

V-2-3 - PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES DU CO₂ (18,27,72,93)

Le **gaz carbonique** ou **dioxyde de carbone** ou **anhydride carbonique**, de formule chimique **CO₂**, est, dans les conditions normales de température et de pression atmosphérique, un gaz plus lourd que l'air. Il est de densité égale à 1,529, est incolore et inodore à saveur aigrelette piquante.

Il se liquéfie facilement par compression, son point critique est de 31°C.

Il est peu réactif et ininflammable. Il réagit avec les poussières de métaux variés tels que magnésium, zirconium, titane, aluminium, chrome et manganèse, qui deviennent inflammables et explosives.

Il est inerte en l'absence d'eau et à la température ordinaire. Sa solubilité est variable en fonction de la température et de la pression atmosphérique : un peu soluble dans l'eau (1 litre par litre à la pression ordinaire), il l'est davantage sous pression (eaux minérales). Dans l'eau, il réagit en formant de l'acide carbonique, à propriétés acides faibles.

V-2-4 - TOXICOCINETIQUE ET METABOLISME

V-2-4-1 - Absorption

Après inhalation, la rétention par diffusion du CO₂ alvéolaire jusqu'au capillaire sanguin, ne se fera que s'il y a augmentation de la fraction de CO₂ dans l'air inspiré et donc de la différence de pression en CO₂ entre celui-ci et le capillaire sanguin ($P_{iCO_2} > P_{aCO_2}$). L'absorption sera facilitée par la grande solubilité du CO₂, 20 fois supérieure à celle de l'oxygène (53).

Des expérimentations animales et humaines semblent montrer l'existence d'une pénétration transcutanée du CO₂. Mais elle est faible et dépourvue de conséquences systémiques (52).

V-2-4-2 - Distribution - Métabolisme

Le transport du CO₂ dans l'organisme utilise trois procédés :

- la **dissolution** plasmatique, pour 1% du CO₂.
- l'hydratation du CO₂ en **bicarbonate**, réaction très lente dans le plasma, mais accélérée par l'anhydrase carbonique des globules rouges.
- la combinaison avec les radicaux amine de la globine dans l'hémoglobine (**carbaminohémoglobine**).

On dispose de peu de données sur le métabolisme du CO₂ dans le corps humain.

V-2-4-3 - Excrétion

Le CO₂ est excrété par les poumons par diffusion alvéolaire, et éliminé par l'expiration. Il est éliminé également sous forme de bicarbonates au niveau rénal, intestinal et cutané (21).

V-2-5 - TOXICITE

Le CO₂, au même titre que le monoxyde de carbone, est un gaz asphyxiant qui altère les capacités mentales, motrices et sensorielles de l'animal, voire les possibilités de fuite (incapacitation). La mort de l'animal est obtenue à fortes concentrations atmosphériques. Chez l'homme, la perte de connaissance survient très rapidement après une forte exposition, par 2 phénomènes (53) :

- **effet toxique** direct de type narcotique du dioxyde de carbone
- **asphyxie oxygénoprive** due au confinement hypoxique

V-2-5-1 - Toxicité propre du CO₂

V-2-5-1-1 - Toxicité aiguë

V-2-5-1-1-1 - Chez l'animal

Dans une revue de la littérature, Jobez (53) rappelle que les **effets narcotiques et de dépression centrale** sont démontrés depuis plus d'un siècle et demi :

- la narcose débute dès 10%-15% de CO₂,
- chez les lapins, chats et chiens, l'inconscience apparaît rapidement dès 30%, avec dilatation pupillaire et abolition du réflexe cornéen, puis décès rapide,
- l'inhalation de mélanges purs ou contenant 80% de CO₂ entraîne le coma en 30 secondes à 1 minute chez des chiens (46).

Chez l'animal :

**le CO₂ présente donc un puissant effet narcotique,
même lorsque de fortes proportions d'O₂
sont associées au mélange gazeux inhalé.**

Un **effet dépresseur respiratoire** est aussi mis en évidence : on observe une hyperpnée chez des chiens soumis à un atmosphère riche en CO₂ (entre 15 et 30%), puis dès 30%,

une dépression respiratoire s'installe évoluant vers l'arrêt respiratoire. Dans une autre expérience, 2 minutes après l'inhalation d'un mélange contenant 40% de CO₂, la ventilation-minute est diminuée et à 80 et 100% de CO₂, les mouvements respiratoires cessent en 1 minute (46).

Chez le hamster, l'inhalation d'une atmosphère contenant 68% de CO₂ pendant 5 minutes entraîne la mort immédiate par asphyxie (21).

Effets cardio-vasculaires : la tension artérielle s'élève après exposition à un mélange de 15 à 20% de CO₂ et 21% d'O₂ et chute dès 25% de CO₂. Les animaux exposés à 70% de CO₂ et 22% d'O₂ meurent en 10 minutes d'arythmie cardiaque.

Les expériences d'lkeda et al (46), faites à différentes concentrations, démontrent la toxicité du CO₂ :

- à 100% de CO₂ : arrêt cardio-circulatoire en 1 minute,
- à 80% de CO₂ et 20% d'O₂ : arrêt cardio-circulatoire 8 minutes après l'arrêt des mouvements respiratoires,
- à 50% de CO₂ : on peut maintenir l'activité cardiaque 2 à 3 minutes après l'arrêt respiratoire,
- des anomalies ECG sont retrouvées : inversion de l'onde T, sous-décalage du segment ST, onde U.

Jobez (53) cite les travaux de Lagneaux et Remacle dont les rats exposés présentent une bradycardie dès 3%, non influencée par la vagotomie ; dès 15%, il existe une hypotension artérielle globale, persistante pendant toute l'hypercapnie ; à 30%, l'hypotension est immédiate mais disparaît après 5 minutes d'hypercapnie.

IV-2-5-1-1-2 - Chez l'homme (4)

FORTES EXPOSITIONS

- Propriétés narcotiques

L'inhalation d'un mélange de 10% de CO₂ entraîne un état stuporeux que n'empêche pas l'addition d'O₂.

L'étude des propriétés anesthésiques est approfondie dans les années 1920 : des expériences sont réalisées chez l'homme (15) et à partir de 25 à 30% on observe une anesthésie, suivie d'un coma et du décès. Le coma est précédé parfois d'agitation voire d'hallucinations (52). Des essais d'anesthésie sont effectués avec un mélange à 30%, puis des mélanges plus complexes amènent à déterminer des périodes maximale (22 minutes avec 6% de CO₂ et 21% d'O₂) et minimale (30 secondes avec 10,4% de CO₂) d'exposition.

Ces effets ont été expérimentés à titre thérapeutique en psychiatrie (« *Carbon Dioxide Therapy* » en 1929).

L'intoxication au CO₂ est le syndrome connu chez les insuffisants respiratoires chroniques comme étant le *coma hypercapnique* avec une Pa_{CO2} comprise entre 150 et 200 mmHg, précédé de céphalées, de somnolence et de confusion mentale.

Ces effets narcotiques « jouent un rôle déterminant dans les accidents survenant lors d'une exposition de courte durée dans une atmosphère fortement enrichie en CO₂ », notamment dans les caves de vinification.

- Le CO₂ exerce aussi un effet dépresseur respiratoire (52,53)

Il a un effet stimulant sur la commande respiratoire centrale de la respiration à basses concentrations mais cet effet s'inverse à hautes concentrations. Des apnées sont notées par les auteurs qui ont expérimenté la *Carbon Dioxide Therapy* après inhalation de mélanges gazeux avec 75% de CO₂.

- Les effets cardio-vasculaires

La stimulation sympathique est prépondérante et masque l'effet dépresseur : d'où une hypertension et une tachycardie sous hypercapnie.

EXPOSITIONS PLUS FAIBLES (< 8%)

Les observations humaines décrites notamment dans le domaine vinicole comportent :

- des symptômes subjectifs dont l'existence a été objectivée par Radziszewski (80) dans une expérience sur des adultes volontaires :
 1. des céphalées par vasodilatation (action directe du CO₂ sur les muscles lisses), apparaissent dès 2% de CO₂, avec sueurs abondantes et durables
 2. suivies d'une sensation de soif impérieuse,
 3. des gastralgies inconstantes

4. une irritation pharyngée et des picotements oculaires ou nasaux
5. des bouffées de chaleur, une « soif d'air » avec gêne respiratoire croissante et une sensation d'oppression
6. des sensations vertigineuses ou pseudo-ébrieuses avec des nausées, avec impression de jambes « paralysées » ou « en coton », dès 4%
7. au-delà de 4,5%, il y a diminution des capacités de réaction, « incapacitation ».

- des signes cliniques :

- *modifications de la ventilation* : une hyperventilation apparaît dès 1%, portant sur le volume courant surtout et sur la fréquence respiratoire ; le VEMS double dès 6%.

- *signes cardio-vasculaires* : tachycardie et hypertension ont été observées (10), sans surprise, dans la circonstance particulière du décuvage traditionnel (efforts physiques...).

IV-2-5-1-2 - toxicité chronique

IV-2-5-1-2-1 - Chez l'animal

Aucune étude ne semble avoir été effectuée sur l'intoxication à long terme.

IV-2-5-1-2-2 - Chez l'homme

Des sensations de malaise sur fond d'asthénie ont été rapportées dans des atmosphères contenant 1% de CO₂, notamment lors de séjours longs en sous-marins (52), survenant en début et en fin de séjour. Mais ce taux était globalement tolérable grâce à des mécanismes d'adaptation de l'organisme.

Dans des atmosphères plus riches (2 à 3%), on observe une première phase d'euphorie et d'excitation, pendant quelques jours, suivie d'une phase dépressive.

A partir de niveaux plus élevés (6%), il y a élévation des pressions partielles de CO₂ dans le sang et au niveau des tissus avec tachycardie et vasodilatation périphérique.

Les expériences réalisées chez les animaux et celles faites chez des volontaires sains sont en faveur d'une **toxicité propre du CO₂** qui, en milieu confiné, se surajoute aux effets oxygénoprives.

En moyenne, d'après les observations :

- entre 3 et 5% de CO₂, des **céphalées** apparaissent, associées à une **tachycardie**, une **hypertension artérielle** et de possibles **troubles du rythme**.
- entre 5 et 8%, la **respiration devient difficile**, des **troubles digestifs** se manifestent et une **perte de connaissance** peut survenir.
- entre 8 et 15%, un **coma** s'installe et le **décès** survient rapidement s'il n'y a pas éviction de l'atmosphère viciée.

Cette toxicité propre est essentielle à prendre en compte quand on sait que certains décuvements s'accompagnent de taux très importants de CO₂ (jusqu'à 5-6%) sans que les teneurs en O₂ diminuent dangereusement.

IV-2-5-2 - Toxicité par effet oxygénoprive

L'atmosphère normale contient 21% d'Oxygène.

Chez les animaux, des expériences ont été menées, quant à leur réponse à des atmosphères pauvres en O₂ (4) :

- une hypoxie aiguë (O₂ < 6%) entraîne une dyspnée progressive, puis une respiration spasmodique avec pauses respiratoires accompagnée d'hypertension artérielle initiale, chutant rapidement pour mener au collapsus cardio-vasculaire.

Chez l'homme

Miller et Mazur (33) ont résumé les troubles dus à l'exposition à une atmosphère oxygénoprive :

Volume d'O ₂ (%)	Effets
17%	Réduction de l'acuité visuelle nocturne Augmentation du volume courant Accélération du rythme cardiaque
16%	Vertiges
15%	Diminution de l'attention Altération du jugement Incoordination motrice Apnées Asthénie très rapide Perte du contrôle des muscles
12%	Jugement très altéré Coordination musculaire très pauvre Perte de conscience Altérations cérébrales irréversibles
10%	Incapacité motrice Nausées, vomissements
6%	Respiration spasmodique Mouvements convulsifs mort en 5 à 8 minutes

Si l'exposition à des atmosphères pauvres en O₂ est stoppée assez tôt, les effets sont généralement réversibles. Sinon, il peut résulter des altérations irréversibles du système nerveux central, voire le décès.

V-2-6 - SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION PROFESSIONNELLE

V-2-6-1 - *Métrologie dans l'atmosphère* (27)

Deux méthodes permettent de détecter et mesurer le CO₂ dans l'atmosphère :

- les tubes réactifs colorimétriques Dräger : la concentration atmosphérique de CO₂ est déterminée par l'importance de la coloration. Leur domaine de détection est de 0,01 à 60%.
- l'analyseur en continu par absorption dans l'infrarouge : appareil de détection portable Multiwarn de Dräger.

V-2-6-2 - *Valeurs Limites d'Exposition Professionnelle (VLEP)*

Il n'existe pas à ce jour de valeur limite d'exposition en France pour le CO₂. Il faut donc se référer aux valeurs limites (*Threshold Limit Values* ou TLV) recommandées aux Etats-Unis par l'ACGIH (*American Conference of Governmental Industrial Hygienists*) :

la TWA, (*Time Weighted-Average*) qui s'apparente à la VME², est de **5000 ppm (0,5 %)**

la STEL (*Short Term Exposure Limit*) qui s'apparente à la VLE³, est de **30.000 ppm (3 %)**.

V-2-6-3 - *Indices biologiques d'exposition*

Il n'existe aucun indicateur biologique d'exposition actuellement.

² VME : Valeur Moyenne d'Exposition

³ VLE : Valeur Limit d'Exposition

V-3 - EXPOSITION AU DIOXYDE DE SOUFRE

Le **dioxyde de soufre**, de formule chimique SO_2 , de référence C.A.S. 7446-09-5, est aussi appelé **anhydride sulfureux** ou **gaz sulfureux**.

Les risques d'exposition au SO_2 en caves vinicoles sont banalisés et sous-estimés par la profession vinicole, peu d'études ont été effectuées au niveau national, et les démarches préventives sont rares (70,73).

V-3-1 - UTILISATIONS ET RISQUES D'EXPOSITION EN CAVE VINICOLE

V-3-1-1 - Les différents modes d'utilisation (70)

***La combustion** de mèches ou de pastilles (pour la conservation) : elle se pratique en général dans des cuves en bois (foudres) ; les caves vinicoles de Savoie étudiées ne l'utilisent pas.

***Les solutions aqueuses :**

- solutions de SO_2 dissous prêtes à l'emploi: acide sulfureux (H_2SO_3), à 6% ou 8%. Elles sont utilisées par les caves vinicoles que nous avons visitées.
- le bisulfite de K^+ (KHSO_3) ou d'ammonium, n'y sont pas utilisés.
- le métabisulfite de K^+ ($\text{K}_2\text{S}_2\text{SO}_3$), ou de sodium, non plus.

***Gaz liquéfié** : le gaz est utilisé en barbotage dans de l'eau pour préparer des solutions titrées, réparties ensuite dans des bidons. Cette technique, moins onéreuse, est utilisée par les caves visitées pendant notre étude.

Les doses de SO_2 varient de 3 à 10 grammes par hectolitre pour des vendanges saines, selon le pH et les habitudes vinicoles.

L'introduction se fait :

- soit dans le conquet de réception sur la vendange non foulée
- soit à la sortie du fouloir-égrappoir, dans le système de pompage de la vendange, par l'intermédiaire d'un doseur automatique (sulfidoseur),
- soit directement dans la cuve, au fur et à mesure de son remplissage ; l'opération est alors suivie d'un remontage de la cuve pour homogénéiser le SO_2 à la vendange avant son départ en fermentation.

V-3-1-2 - Risques particuliers suivant le procédé d'utilisation (70)

V-3-1-2-1 - Forme gazeuse liquéfiée

Le SO₂ gazeux pur (contenu dans des bouteilles "obus") n'est pas introduit directement dans la vendange ; il intervient dans la préparation de solutions à 8% ou 10 % de SO₂ gazeux liquéfié, par barbotage dans de l'eau.

Cette solution est préparée 2 à 3 fois pendant les vendanges. Elle est contenue dans une citerne de plus de 10 hectolitres remplie d'eau à moitié.

La préparation de la solution se fait en général en plein air :

- les bouteilles de gaz sont branchées à une citerne par un système de tuyauterie plus ou moins adapté
- le gaz barbote dans 500 litres d'eau jusqu'à obtention d'une solution sulfureuse à 8 %
- dans certaines caves, cette opération se déroule sans matériel de protection individuelle : ni masque à cartouche, ni gants.
- des fuites ne sont pas rares, "l'opérateur tourne la tête" pour se protéger
- cette solution est réalisée une fois avant les vendanges ; l'ouvrier profite du peu d'activité du début des vendanges pour ensuite répartir ces 500 litres dans des bidons de 20 litres.

Incidents susceptibles de se produire :

- une bouteille peut tomber lors d'une manipulation et se fêler, voire casser
- les fuites sont très fréquentes car le SO₂ est très corrosif pour les tuyaux et raccords. Elles sont possibles à tous les niveaux. Elles sont rapidement décelées (bruit, odeur) :
 - ↳ le robinet des bouteilles de solution sulfureuse est parfois difficile à fermer d'où fuites, nécessité d'une vérification de la part des fournisseurs avant livraison.
 - ↳ il y a rarement fuite au niveau de la bouteille de solution avant le robinet d'ouverture, avec présence de mousse au niveau de la fuite.
 - ↳ lorsqu'on réalise une solution en faisant barboter du gaz, il y a probablement dégagement de SO₂ si il n'y a pas fermeture étanche de la citerne

V-3-1-2-2 - Forme liquide

Des solutions de SO₂ prêtes à l'emploi sont vendues dans le commerce, titrées à 8 ou 10%. Elles sont utilisées pour les adjonctions « d'appoint » au moût en fermentation ou plus tard lors des soutirages.

Que ce soient des solutions préparées d'acide sulfureux ou des solutions commerciales de SO₂, les risques potentiels de projection et d'inhalation se rencontrent :

◆ Pour les vins rouges :

Lors du sulfitage de la vendange

Lors de l'emploi de solution sulfureuse titrée en bidons (préparée par barbotage de SO₂ gazeux), l'exposition se fait :

- pendant le transport souvent précipité, de bidons ouverts jusqu'à la cuve concernée : si l'ouvrier chute, il y a risque d'aspersion et contact important.
- lorsque l'opérateur verse le bidon par la trappe supérieure d'une cuve en remplissage, le risque d'inhalation est possible.

Pour la conservation du vin

Le SO₂ est ajouté au vin après sa seconde fermentation, pendant le soutirage. La forme employée est en général une **solution acqueuse titrée prête à l'emploi**.

◆ Pour les vins blancs

Pendant le sulfitage de la vendange

Le sulfitage manuel se fait aussi à l'aide de bidons, contenant une solution sulfureuse titrée, lors du débordage du jus de pressurage de la vendange.

Pour la conservation du vin blanc

Comme pour la vinification en rouge, l'adjonction de SO₂ pour ses propriétés conservatrices se fait après soutirage du vin fermenté, à l'aide de solutions titrées prêtes à l'emploi.

Pour le sulfitage de la vendange dès sa réception, certaines caves ont résolu le problème du sulfitage manuel, en s'équipant de moyens techniques tels que des sulfidoseurs placés à chaque cuve instillant des doses de dioxyde de soufre déterminées dès le départ, ou placés dès le conquet de réception, au niveau des conduites.

Dans le cas d'un sulfitage manuel par bidon ou seau, l'exposition à des vapeurs de SO₂ ou acide sulfureux semble importante.

Dans le cas d'un sulfitage automatique, le risque d'exposition n'est pas supprimé ; il est présent lors de la préparation de la solution
(barbotage gaz dans eau)

V-3-2 - PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES

(29,45,83)

Il s'agit d'un gaz, ou d'une solution liquide incolore, d'odeur piquante très irritante (détectable à 3 ppm - où 1 ppm = 1 ml/m³), plus lourd que l'air. Sa liquéfaction à la pression atmosphérique intervient à -10°C, et sa solidification à -75°C.

Il est ininflammable et inexplusif. Il est stable au moins jusqu'à 2000°C.

Le SO₂ se forme chaque fois que du soufre est brûlé en présence d'oxygène. Il se comporte comme oxydant et sulfurant. En présence d'excès d'eau, il se forme des hydrosulfites. Au contact de l'air, le dioxyde de soufre se transforme de manière réversible en anhydride sulfurique (SO₃). A température ordinaire et sans humidité, il est très stable et peu réactif.

Il est soluble dans l'eau et dans un grand nombre de composés (méthanol, éthanol, acide acétique, acide sulfurique, trichlorométhane...). Les solutions obtenues sont connues sous le nom d'acide sulfureux et sont corrosives.

V-3-3 - TOXICOCINETIQUE - METABOLISME

V-3-3-1 - Absorption

Grâce à son pouvoir hygroscopique très important, le dioxyde de soufre est hydraté et dissocié en sulfite et bisulfite (29,45). Il est ainsi très facilement et rapidement absorbé par la muqueuse naso-pharyngienne (63). 85 à 90 % du SO₂ inhalé sont absorbés dans les voies nasales et les voies aériennes supérieures lorsque la concentration est comprise entre 4 et 9 mg/m³ (1,4 à 3,1 ppm). En présence d'aérosols de vapeur d'eau, les vapeurs de SO₂ pénètrent jusqu'aux alvéoles. Mais cette pénétration par les voies pulmonaires basses reste faible, seulement augmentée par l'inspiration profonde par voie buccale et quand la fréquence respiratoire augmente, par exemple lors d'un exercice physique (45,83).

En raison de sa grande liposolubilité, le SO₂ pénètre par la cornée, et dans la peau pour y jouer son action corrosive loco-régionale.

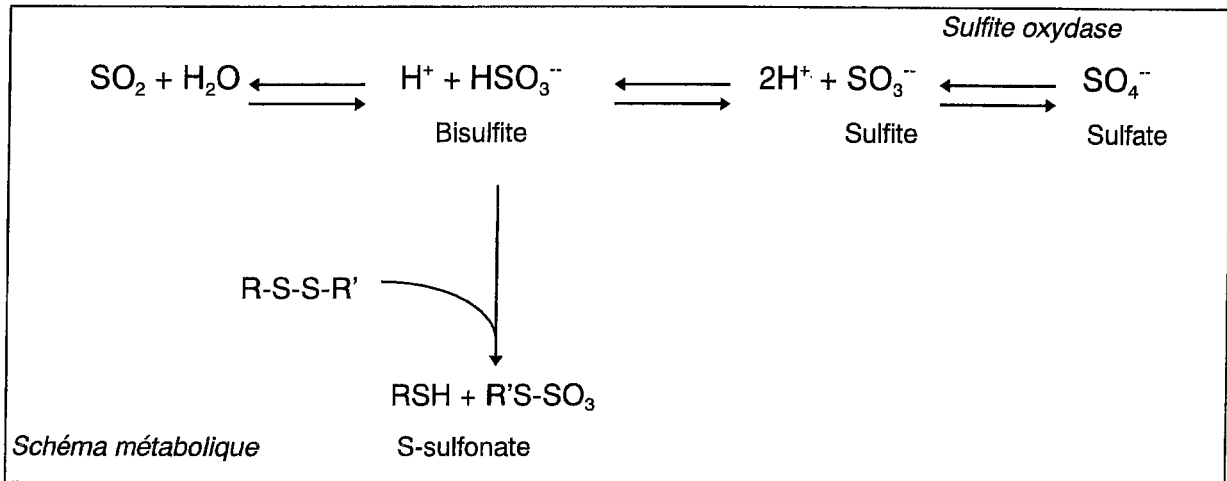
V-3-3-2 - Distribution

La distribution du dioxyde de soufre, sous forme de sulfites, est rapide et large dans l'organisme, grâce à sa grande solubilité (28,63). Ses interactions avec les molécules biologiques en milieux aqueux sont probablement celles des ions sulfite et bisulfite formés par son hydratation.

V-3-3-3 - Biotransformation

Ces ions sont presque totalement oxydés en ion sulfate par la sulfite oxydase, surtout au niveau du foie (45,63,85).

Ils réagissent aussi avec des ponts disulfures pour donner des S-sulfonates.



V-3-3-4 - Excrétion

L'élimination des ions sulfate se fait presque entièrement par voie urinaire ; une élimination moins importante se fait par voie sudorale et fécale sous cette même forme (29).

V-3-4 - TOXICITE

V-3-4-1 - Toxicité aiguë et subaiguë

V-3-4-1-1 - Expérimentale chez l'animal

- Par inhalation

Le dioxyde de soufre est un gaz toxique par inhalation.

Les symptômes observés sont surtout la traduction d'une action du SO_2 sur les voies respiratoires. A faible concentration, il est irritant pour le nez (lésions de la cavité nasale chez les souris à 10 ppm/72h) et les voies aériennes supérieures. Une hyperréactivité bronchique à l'acétylcholine est observée chez les chiens après une exposition au SO_2 à 1 ppm (45). L'exposition de cobayes à des aérosols de concentration variant de 0,16 à 835 ppm de SO_2 pendant 1 heure entraîne l'augmentation des résistances pulmonaires, jusqu'à la bronchoconstriction. L'activité ciliaire trachéale est arrêtée à 200 ppm chez les lapins (45). Une exposition à 400 ppm chez 6 hamsters (5) entraîne leur décès dans les heures qui suivent. A des concentrations plus élevées (rat, 800 ppm pendant 8h) (29), on a une réponse plus sévère au niveau de la trachée avec une nécrose cellulaire et une

augmentation de l'activité mitotique. A très fortes concentrations, la capacité d'absorption peut être dépassée, ce qui conduit à un oedème laryngotrachéal ou pulmonaire puis au décès.

La CL50 est de 2520 ppm/1h chez le rat et de 3000 ppm/30 mn chez la souris (29).

Dans une expérience sur des poulets soumis à des concentrations croissantes atmosphériques de SO₂, de 0 à 5000 ppm (79), les résistances pulmonaires et les sécrétions trachéales de mucus augmentent à partir de 500 ppm et surtout 1000 ppm, et la mort de l'ensemble des animaux survient pour des concentrations supérieures à 5000 ppm.

Chez l'animal, la concentration, le diamètre des particules de l'aérosol et la nature chimique de celui-ci jouent un rôle important : la toxicité pulmonaire est potentialisée par l'inhalation d'aérosols liquides ou solides d'ozone ou d'oxyde d'azote, de chlorure de sodium, de chlorure de potassium (29,63,79).

Des effets hématologiques (baisse de la viscosité sanguine, hausse de l'hématocrite, et de la sulfhémoglobine...) sont aussi notés en cas d'intoxication aiguë par inhalation (29).

- *Le SO₂ est corrosif pour la peau et les muqueuses :*

En raison de sa grande liposolubilité, il pénètre facilement par la cornée dans l'humeur aqueuse où il s'hydrolyse. Ainsi, une kératite profonde et une inflammation de l'iris ont été rapportées (29). Le contact avec la peau entraîne des irritations et des brûlures caustiques. Ces effets semblent dus à la formation d'acide sulfureux au contact des surfaces humides (29).

V-3-4-1-2 - Chez l'homme

Expérimentalement

A des concentrations inférieures à 1 ppm, chez des sujets adultes sains, on n'observe généralement aucune augmentation de la résistance des voies aériennes (45). Les sujets souffrant d'affections respiratoires, asthme notamment, présentent une plus grande sensibilité aux expositions même modérées. Chez l'asthmatique, l'effet bronchoconstricteur du SO₂ est augmenté de manière significative par l'effort physique modéré pour des concentrations faibles de 0,1 ppm, ne semblant pas être relié à un état atopique (54). Cependant, Stacy *et al.* ont démontré la plus grande sensibilité de sujets atopiques après une exposition à 0,75 ppm et un effort physique (91).

Chez des sujets normaux, une exposition de courte durée au SO₂ à 5-10 ppm peut produire une bronchoconstriction probablement réflexe (63). Selon certaines études (63), une exposition à 3 ppm peut déjà provoquer une augmentation transitoire des résistances des voies aériennes à condition que le sujet respire profondément pour éviter l'absorption

complète du SO₂ par les voies respiratoires supérieures. De plus, les résistances pulmonaires sont plus augmentées chez les sujets sains et les asthmatiques quand l'inhalation se fait par la bouche (63,79).

L'examen du liquide de lavage bronchoalvéolaire de 12 adultes sains non fumeurs, 24 heures après l'exposition à des concentrations entre 4 et 8 ppm pendant 20 minutes, montre une augmentation de l'activité lysosomale des macrophages alvéolaires traduisant une augmentation des réactions inflammatoires (84).

Observations

L'intoxication aiguë induit rhinite, conjonctivite, laryngite et bronchite. Une concentration supérieure à 50 ppm cause une irritation intolérable plus de quelques minutes (63) avec éternuements en série, toux quinteuse et dyspnée croissante à type de polypnée paroxystique s'accompagnant d'une oppression thoracique et de douleurs rétrosternales, d'irritation pharyngée importante avec enrouement, d'une atteinte oculaire avec conjonctivite et kératite aiguë, de signes généraux dominés par un malaise lipothymique (63). La guérison est en règle générale rapide mais il faut redouter un collapsus cardio-vasculaire ou un œdème aigu du poumon retardé (70,79) .

Des **syndromes de Brooks** ou RADS (Reactive Airways Dysfunction Syndrom) *ou asthmes induits par les irritants* (14) ont été également décrits. Ils se développent en dehors de tout terrain allergique ou asthmatique et sont définis par l'apparition d'une symptomatologie d'asthme avec syndrome obstructif se développant dans les 24 heures après exposition aiguë à de hautes concentrations de gaz irritants. Une hyperréactivité bronchique non spécifique (HBRNS) liée à l'inflammation peut persister plusieurs années après cette épisode. Les sujets gardent au bout de quelques années une pathologie respiratoire à type de broncho-pneumopathie chronique avec plus ou moins des épisodes de surinfection, d'emphysème, de fibrose.

Des expositions massives lors d'accidents industriels ont causé des bronchiolites oblitérantes ou des œdèmes hémorragiques rapidement mortels (63).

Les autres effets sont liés à la transformation du SO₂ en acide au contact de l'eau. On peut observer une forte irritation cutanée et, en cas de contact oculaire, les vapeurs peuvent causer une conjonctivite et le liquide des brûlures cornéennes avec perte de l'acuité visuelle par opacification cornéenne. Le contact avec les muqueuses digestives peut occasionner des brûlures de la bouche, de l'oesophage et de l'estomac (29).

V-3-4-2 - Toxicité chronique

V-3-4-2-1 - Expérimentale chez l'animal (29)

Les symptômes observés après exposition chronique par inhalation ressemblent à ceux de la bronchite chronique : l'examen anatomo-pathologique des animaux révèle des modifications de la couche muqueuse de la trachée (hypertrophie des cellules caliciformes) et des glandes muqueuses ; l'hypersécrétion de mucus et sa clairance réduite provoque son accumulation le long du tractus respiratoire et une obstruction des voies aériennes.

L'exposition prolongée de rats à des concentrations de 10 ppm réduit la vitesse de progression du mucus dans les voies respiratoires.

V-3-4-2-2 - Chez l'homme

L'exposition à de faibles concentrations de SO₂ a été largement étudiée à cause de la prédominance de cette molécule dans la pollution environnementale.

L'intoxication chronique se traduit par des manifestations irritatives respiratoires et oculaires, des troubles sensoriels (de l'odorat, du goût, du tact de la pulpe des doigts), des troubles digestifs (hypersalivation, dyspepsie) des lésions de l'émail dentaire, un brunissement de la peau (12,29). L'incidence de nasopharyngite et de bronchite chronique est augmentée après exposition prolongée.

On peut observer une augmentation de l'HBRNS et un syndrome obstructif, et un asthme préexistant peut ainsi être aggravé. Ainsi dans des fonderies de cuivre, l'exposition à une concentration moyenne de SO₂ entre 1 et 2,5 ppm a entraîné en 1 à 2 ans une réduction significative du VEMS (63).

Des études réalisées chez des travailleurs exposés de manière chronique à du SO₂ montrent, s'il y en a, de très petites altérations de la fonction pulmonaire, peut-être parce que ceux qui restent à des postes de travail à de telles expositions s'adaptent (54).

De nombreuses études épidémiologiques ont démontré que la concentration de SO₂ normalement présente dans l'industrie (74) ou l'atmosphère des agglomérations à des doses faibles, peut, associée ou non à d'autres facteurs, engendrer ou exacerber des affections respiratoires (toux chronique, dyspnée) et entraîner une augmentation du taux de mortalité par maladie respiratoire ou cardio-vasculaire (ischémies) (63). Par contre, des études de mortalité chez des travailleurs de papeteries (54), ou d'usines de synthèse d'acide sulfurique (32) exposés au SO₂, n'ont pas montré d'excès de décès par maladie respiratoire.

Dans le milieu vinicole, aucune étude épidémiologique de morbi-mortalité n'a été effectuée.

V-3-4-3 - Mutagénicité

In vitro, le SO₂ est mutagène pour les phages, certaines souches d'E. Coli et de S. typhimurium, les levures et les plantes.

Chez l'homme, une seule étude suggère que le SO₂ peut être génotoxique : elle fait état de l'augmentation du taux d'aberrations chromosomiques et d'échanges entre chromatides sœurs dans les lymphocytes humains en culture, chez des salariés d'une usine de pâte à bois (45).

V-3-4-4 - Cancérogénicité

L'effet cancérogène du SO₂ par inhalation, testé chez la souris femelle est une augmentation significative de l'incidence des tumeurs pulmonaires (1310 mg/m³ de pureté non spécifiée, 5 mn/j, 5 jours/sem, pendant toute la durée de vie) (29). Mais cela était, selon les auteurs, insuffisant pour le classer cancérogène. Il y a possibilité d'un effet cocancérogène avec le benzo(a)pyrène chez le rat et le hamster (85).

Chez l'homme, aucune donnée épidémiologique ne permet de le considérer comme directement cancérogène. Cependant, on a suggéré qu'il pouvait jouer un rôle cocancérogène dans le développement du cancer broncho-pulmonaire (63). Mais une étude suédoise (32) réalisée dans une usine d'acide sulfurique ne montre pas d'augmentation globale de la morbidité par cancer.

Le CIRC (45) estime que les données existantes ne permettent pas de classer le dioxyde de soufre du point de vue de sa cancérogénicité pour l'homme (groupe 3).

V-3-4-5 - Tératogénicité - Effets sur la reproduction

Une exposition à une atmosphère riche en SO₂ chez la rate (4,97 mg/m³, 12 h/jour, pendant 3 mois) induit un allongement de la durée des cycles, revenant à la normale plusieurs mois après l'exposition (45). L'inhalation de concentrations atmosphériques allant de 32 à 250 ppm, n'entraîne chez la souris aucune toxicité maternelle, ni modification du nombre moyen de nouveau-nés, mais il existe un effet sur leur développement : baisse du poids de naissance pour une exposition à 65 ppm, et augmentation du délai d'apparition des différents réflexes. Les fœtus de lapines exposées à 70 ppm du 6^e au 18^e jour de la gestation présentent quelques variations mineures de l'ossification (45).

Aucune donnée épidémiologique humaine n'est disponible en ce qui concerne les effets sur la reproduction.

Une exposition brutale aux vapeurs de SO₂ telle qu'elle est possible lors des sulfitages manuels et de la préparation de solutions sulfureuses, est à l'origine de **phénomènes irritatifs** importants, et déclencher des crises d'asthme chez les sujets asthmatiques.

Tardivement peuvent apparaître un **Syndrome de Brooks** ou plus gravement un **œdème aigu du poumon**.

Les sujets exposés de manière chronique peuvent aggraver un **asthme** sous-jacent, et présenter plus fréquemment une **pathologie broncho-pulmonaire infectieuse**.

V-3-5 - SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION PROFESSIONNELLE

V-3-5-1 - Métrologie atmosphérique (29)

Plusieurs méthodes sont utilisées :

- tubes réactifs colorimétriques Draeger,
- détection par cellule électrochimique
- dosage par chromatographie ionique après absorption sur filtre.

V-3-5-2 - Valeurs Moyenne et Limite d'Exposition (50)

En France, le Ministère du Travail a fixé pour le SO₂ une VME et une VLE dans l'air des locaux de travail :

- VLE : 5 ppm soit 10 mg/m³
- VME : 2 ppm soit 5 mg/m³

V-3-5-3 - Indices Biologiques d'Exposition (I.B.E.)

Il n'existe aucun indicateur biologique d'exposition actuellement.

V-4 - EXPOSITION AUX VAPEURS D'ALCOOL ETHYLIQUE

L'**éthanol** ou **alcool éthylique**, de formule chimique $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$, de numéro C.A.S.* 64-17-5, est un mono-alcool, hydrocarbure oxygéné comportant 1 fonction hydroxyle (-OH). Il est le produit principal de la fermentation alcoolique : pour 1 litre de vin produit, 80 grammes d'éthanol sont produits.(33,92)

V-4-1 - ORIGINES

La fermentation alcoolique : l'éthanol est le produit direct de la transformation des sucres fermentescibles, c'est à dire le glucose, son isomère le fructose, mais aussi l'amidon et d'autres hydrates de carbone.

Le processus de fermentation alcoolique se produit :

- dans les caves vinicoles lors de la fabrication du vin
- dans les brasseries lors de la fabrication de la bière
- lors de la fabrication du cidre
- pendant les fermentations de la betterave, de la pomme de terre, ou de céréales.

L'alcool pur est obtenu (93) :

- par distillation de tout produit issu de fermentation.
- en chimie de synthèse à partir de l'acétylène et l'éthylène, à partir de gaz de synthèse (CO + H), par hydrolyse de l'éthylsulfate ou par oxydation du méthane.

V-4-2 - ACTIVITES ET SITUATIONS A RISQUES EN VINIFICATION

La fermentation alcoolique, processus essentiel de la vinification, dégage outre le CO_2 , des alcools, aldéhydes et esters.

L'exposition aux vapeurs d'alcools (**éthanol** principalement) est donc inhérente à la profession ; on peut recenser diverses situations à risque d'exposition à l'éthanol :

- **travaux dans l'atmosphère générale de la cave**, dans la période des fermentations alcooliques.

- **exposition à proximité des points de déversement du vin :**

- remontages avec aération du moût : pompage du moût par un robinet bas de la cuve avec reversement par la trappe supérieure, arrosant le marc. Cette opération dure 30 minutes à 1 heure selon les capacités de cuve. L'exposition de l'opérateur à l'éthanol se fait au dessus du "bac de remontage" utilisé pour l'aération du moût.

- vidanges de cuves avant décuvage : un opérateur est posté devant le bac de vidange pour surveiller le débit et est à priori fortement exposé aux vapeurs d'éthanol.

- cuveau d'écoulage du vin fermenté.

- aire des pressoirs lors du pressurage du marc rouge fermenté.

- **exposition lors du décuvage** : le décuvage est une période au cours de laquelle les concentrations en éthanol augmentent très rapidement (76).

- décuvage traditionnel de cuves en béton, avec introduction dans la cuve de 1 à 3 personnes pendant 30 à 60 minutes selon la capacité de la cuve

- décuvage automatique des cuves Vinimatic, nécessitant la présence d'un opérateur près de la trappe pour aider à l'extériorisation du marc, pendant une durée de 30 à 45 minutes ; l'exposition semble plus importante puisqu'il n'y a pas eu ventilation spécifique de la cuve.

Au moment des décuvages, les fermentations alcooliques sont quasiment terminées, au summum de leur intensité, ou viennent de se terminer. Les quantités de gaz dégagé à ce moment-là sont très importantes, et, selon l'intensité de fermentation d'une cuve lors de son décuvage, l'exposition aux vapeurs d'éthanol sera plus ou moins importante.

V-4-3 - PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES (33,92)

L'éthanol est un liquide mobile, incolore, volatil et hygroscopique. C'est un solvant d'odeur agréable quand il est pur, son seuil de détection olfactive se situe entre 10 et 350 ppm. Il est miscible à l'eau, avec dégagement de chaleur. Il est également miscible aux alcools, à l'oxyde de diéthyle et à la plupart des solvants organiques. Son point d'ébullition est de 78,5°C à la pression atmosphérique.

L'éthanol est chimiquement stable dans les conditions normales d'utilisation ; il possède les propriétés générales des alcools primaires (réactions d'oxydation, d'edéshydrogénation, de déshydratation, et d'estérification). Il est transformé en CO₂ et eau par oxydation brutale (combustion par exemple) ; une oxydation ménagée mène à l'aldéhyde acétique et à l'acide acétique, et parfois à l'aldéhyde formique, au glyoxal et à des acétates.

L'éthanol peut réagir vivement :

- avec les oxydants puissants tels que les mélanges nitrochromiques, sulfochromiques, l'acide nitrique, les perchlorates, les peroxydes...),
- avec les métaux alcalins : production d'un éthylate avec dégagement d'hydrogène ;
- les autres métaux (sauf aluminium et magnésium) y sont insensibles.

V-4-4 - TOXICOCINETIQUE - METABOLISME

V-4-4-1 - Absorption

V-4-4-1-2 - Absorption pulmonaire

L'éthanol est absorbé au niveau alvéolaire pour environ 30 à 62% dans une atmosphère en contenant 10 à 19 mg/l (5200 à 10 000 ppm) (33,59,78). La vitesse d'absorption pulmonaire chez des sujets réalisant un effort physique modéré pendant 80 minutes dans une atmosphère contenant 15 mg/l d'éthanol est de 10-11 g/h (59). Cette vitesse est indépendante de la concentration atmosphérique d'alcool éthylique et de la vitesse de ventilation (59).

V-4-4-1-3 - Absorption percutanée

Elle est très faible (33), avec une vitesse de pénétration de 19700 ng/mn/cm² in vitro, ce qui rend négligeable la toxicité systémique (98)

Elle a été néanmoins la cause d'intoxications chez de très jeunes enfants frictionnés avec des alcools à titres élevés (30).

On peut supposer qu'elle augmente avec la hausse de température, la hausse du degré d'hygrométrie et la vasodilatation périphérique.

V-4-4-1-3 - Absorption digestive

Elle est rapide et complète, dans l'estomac (20%) puis dans l'intestin grêle (duodénum et jéjunum). Elle se fait par simple diffusion.

La vitesse d'absorption est variable selon l'état de vacuité de l'estomac (accélère l'absorption), la concentration de l'alcool, sa nature et le sujet. Elle est retardée par les amphétamines, les anticholinergiques (30).

Le pic sérique est atteint en 30 à 45 minutes à jeun, et en 2 heures autrement.

V-4-4-2 - Distribution

Le volume de distribution de l'éthanol est de 0,53 à 0,6 l/kg, équivalent à celui de l'eau (30,90) puisqu'il est peu soluble dans les lipides. La liaison aux protéines plasmatiques n'a semble-t-il pas été explorée (44).

Du fait de sa petite taille et de sa faible charge ionique, la diffusion de la molécule d'éthanol est rapide en raison de la grande solubilité dans l'eau. Elle se fait aux organes très vascularisés (cerveau, poumons et foie), où les concentrations s'équilibrent rapidement avec celle dans le sang, voire la dépassent ($\times 1,3$ dans le LCR). L'éthanol franchit la barrière placentaire et les concentrations amniotiques et fœtales sont proches de celle dans le sang maternel (90).

V-4-4-3 - Biotransformation (30,41,78,90)

L'élimination de l'éthanol se fait à 90-98% sous forme métabolisée, grâce à son oxydation hépatique. Celle-ci se déroule essentiellement au niveau du foie, dans les hépatocytes, mais d'autres tissus peuvent participer au métabolisme : le rein, l'intestin et l'estomac.

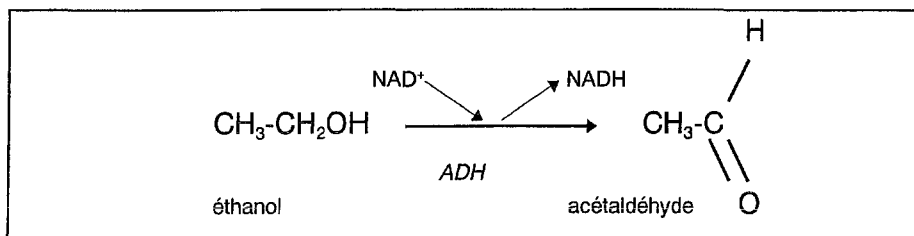
L'hépatocyte est le siège de 3 voies métaboliques pour l'éthanol :

- la voie de l'alcool-déshydrogénase (ADH) dans le cytosol, la plus importante quantitativement
- le système microsomial oxydant l'éthanol (MEOS) dans le réticulum endoplasmique,
- la catalase dans les peroxysomes

La première étape du métabolisme de l'éthanol est l'oxydation en acétaldéhyde, la seconde étape est l'oxydation en acétate, H_2O et CO_2 .

OXYDATION DE L'ETHANOL EN ACETALDEHYDE

- L'**alcool-déshydrogénase (ADH)** est l'enzyme principale qui catalyse cette première réaction, le nicotinamide adénine nucléotide (NAD^+) est le coenzyme avec production de $NADH$.



L'ADH est une enzyme essentiellement hépatique, mais elle existe au niveau gastrique où elle peut déjà métaboliser l'éthanol dans le cas d'une ingestion (30), effet « premier passage » controversé par ailleurs (90).

Elle se répartit en au moins 4 isoenzymes différentes expliquant les variations interindividuelles des vitesses d'élimination de l'éthanol. L'activité ADH est de moindre importance chez la femme (30).

Les facteurs modifiant son action sont :

- la consommation d'alcool, qui diminue cette activité : ainsi après ingestion aboutissant à des alcoolémies de 200-300 mg %, il y a augmentation de la part de l'éthanol éliminée par voie urinaire et respiratoire, plus importante qu'après ingestion de doses modérées, pouvant atteindre 15% de la quantité d'alcool ingérée (41).
- le 4-méthyl-pyrazole, qui inhibe l'enzyme,
- une carence protéique sévère, qui réduit sa bioynthèse (41)

- **le système MEOS ou système microsomal d'oxydation de l'éthanol**, situé au niveau hépatique en zone périveineuse : il fait intervenir une forme spécifique du cytochrome P450, le MEOS ou « microsomal ethanol oxidizing system », inductible par l'éthanol (41) et à l'origine des nombreuses interactions médicamenteuses car il métabolise aussi le tétrachlorure de carbone, d'autres alcools et le paracétamol. Le système MEOS est accru chez l'éthylique chronique.

- La voie de la **catalase** (hémoprotéine localisée essentiellement dans les peroxysomes, est moindre, et semble dépendre essentiellement de la disponibilité en H_2O_2 . (41,90).

METABOLISME DE L'ACETALDEHYDE

Cette phase du métabolisme de l'éthanol sera décrite précisément dans la partie consacrée à l'acétaldéhyde. Celui-ci est oxydé à 90% dans le foie en acétate, par l'aldéhyde déshydrogénase.

METABOLISME DE L'ACETATE

l'acétate est transformé en dioxyde de carbone et en eau dans l'hépatocyte.

V-4-4-4 - Excrétion

Seuls 2 à 10% de l'éthanol absorbé sont éliminés sous forme inchangée (90) par voies urinaire, sudorale ou pulmonaire (41), dont l'importance est variable suivant les concentrations plasmatiques.

Dans l'air expiré, le rapport de concentration sang/air alvéolaire est de 2100, à la base des dosages dans l'air expiré. La clairance pulmonaire est de 0,16 litre/heure/70 kg. en supposant une ventilation de 360 l/h/70kg (44).

Dans les urines, le rapport alcoolurie/alcoolémie est de 1,3 en moyenne (30). La clairance rénale est estimée à 0,06 litre/heure/70 kg (44).

La clairance cutanée, elle, est estimée à 0,02 litre/heure/70 kg (44).

L'élimination de l'éthanol est « à capacité limitée » (90) avec une vitesse maximale (V_{max}) estimée à 8,5g/h/kg chez des non éthyliques ayant absorbé de l'éthanol à jeun. Le taux de décroissance plasmatique moyen est de 150 à 230 mg/l/h (78,90), voire 400 (30). La vitesse d'élimination augmente chez les fumeurs et les consommateurs chroniques d'alcool.

V-4-5 - TOXICITE

Nous étudierons uniquement la toxicité après inhalation et contact cutané, puisque ce sont les modes d'exposition dans les caves vinicoles, et que la toxicité après ingestion d'éthanol est largement connue.

V-4-5-1 - Toxicité aiguë et subaiguë

V-4-5-1-1 - Expérimentale chez l'animal (33)

Les CL 50 par inhalation sont voisines de 20 000 à 30 000 ppm pour des expositions de 4 à 8 heures. Par voie percutanée, la dose létale minimale chez le lapin est de 20 g/kg. Quelles que soient les voies d'administration, les symptômes sont essentiellement ceux d'une excitation puis d'une dépression du système nerveux central : ataxie, prostration, somnolence, paralysie et dyspnée. La mort survient par défaillance respiratoire ou circulatoire après baisse progressive de la tension artérielle. L'inhalation est volontiers suivie de signes d'irritation des muqueuses respiratoires.

Localement, l'éthanol n'a pas d'effet irritant appréciable sur la peau du lapin, sauf pour un contact prolongé de 24 heures sous pansement occlusif. Le contact oculaire prolongé avec de l'éthanol pur est suivi d'une irritation sévère chez le lapin.

Que ce soit après inhalation ou après ingestion, l'examen anatomo-pathologique révèle des lésions hépatiques : oedème des cellules périphériques des lobules, accumulation de lipides et notamment de triglycérides.

V-4-5-1-2 - Chez l'homme

Moins fréquente, l'intoxication par inhalation est rencontrée dans le milieu professionnel, notamment dans l'industrie chimique.

- après inhalation aiguë de fortes concentrations : céphalées, euphorie, engourdissement, irritation des yeux et des voies respiratoires, fatigue et somnolence.

Des essais réalisés sur des volontaires sains, exposés à différents taux atmosphériques ont permis de préciser les niveaux d'action suivants :

- **dès 1380 ppm** : après 30 minutes d'exposition, des céphalées sont notées, suivies d'un léger engourdissement ;
- **dès 5000 ppm** : une irritation immédiate des yeux et des voies aériennes supérieures (toux), qui disparaît en 5 à 10 minutes ; l'odeur est initialement presque intolérable mais il y a adaptation rapide. Très vite, on observe des céphalées, une hypertension intra-oculaire et une sensation de chaleur ; après 1 heure, l'engourdissement est marqué.
- **dès 9000 ppm** : les mêmes symptômes apparaissent plus rapidement, suivis dans les 30 minutes d'une fatigue et d'une somnolence.
- **dès 20 000 ppm** : on observe un larmoiement permanent, une toux irrépressible, une suffocation ; cette concentration n'est tolérable que pour de très courtes périodes.

Tous ces effets sont transitoires et disparaissent après la fin de l'exposition. Il existe un degré de tolérance en cas d'expositions répétées : pour une même concentration atmosphérique, les symptômes sont moins sévères et le temps nécessaire pour les faire apparaître est plus long.

En milieu viti-vinicole, ces symptômes sont très rarement signalés car l'ambiance riche en alcools fait partie intégrante du métier dans un contexte de traditions viti-vinicoles et une ambiance d'urgence, précipitation et excitation. Toutefois, on peut remarquer une certaine euphorie chez les salariés vinicoles après le décuvage traditionnel (73), des « états d'ébriété responsables même de chutes au sortir des cuves » (95). Des céphalées peuvent apparaître, accompagnées d'irritation des muqueuses (76). Une certaine "imprégnation alcoolique" (?) serait connue dans les distilleries notamment dans le Cognac (13). Il faut

signaler que les périodes de repos entre chaque décuverge sont souvent l'occasion de « casse-croûte » accompagnés de vin, et que, dans certaines régions viticoles, les ouvriers sont souvent payés en vin.

V-4-5-2 - Toxicité chronique

V-4-5-2-1 - Expérimentale chez l'animal (33)

Chez les rats, lapins, cobayes, chiens et singes exposés en continu à 46 ppm d'éthanol pendant 90 jours, comme chez les cobayes exposés 4 heures/jour, 6 jours/semaine pendant 10 semaines à 3000 ppm, on n'observe aucune atteinte particulière clinique, biologique ou histologique. Par contre, de très fortes concentrations ont pu engendrer des atteintes hépatiques sévères allant jusqu'à la cirrhose (anciennes expérimentations).

Les effets sur le comportement disparaissent chez le rat après 8 jours d'exposition, 4 heures/jour à 24 000 ppm

L'application quotidienne sur la peau du rat de 10 gouttes d'une solution d'éthanol à 50% dans l'eau, pendant 187 jours, n'entraîne qu'une irritation temporaire.

V-4-5-2-2 - Chez l'homme

Dans le cas d'inhalation répétées de vapeurs d'éthanol, des irritations des yeux et des voies aériennes supérieures, des céphalées, une asthénie, une diminution des capacités de concentration et de vigilance ont été rapportées.

Localement, on note des irritations cutanées, après des contacts répétés. Irritations dues à l'effet de dissolution du film lipidique de surface et des substances de la couche cornée qui retiennent l'eau avec des modifications physico-chimiques des membranes cellulaires (61).

Une relation statistique significative entre mortalité par cardiopathie ischémique et exposition à l'éthanol a été décrite dans une population de 1282 travailleurs de l'industrie du caoutchouc et des pneumatiques (101).

Nous rappelons pour mémoire les effets de l'éthylisme chronique par ingestion, avec des conséquences neuro-psychiques, digestives, cardio-vasculaires, et hématologiques.

V-4-5-3 - Mutagénicité et cancérogénicité (33)

Mutagénicité

Sans activité chez *Salmonella typhimurium*, l'éthanol produit, sans activation métabolique, des mutations sur *Escherichia Coli*, sur *Saccharomyces cerevisiae* et sur *Aspergillus nidulans* (recombinaisons mitotiques sur ce dernier).

In vitro, il entraîne une augmentation de la fréquence des aberrations chromosomiques et des échanges de chromatides soeurs dans les cultures de cellules ovariennes de hamster.

In vivo, chez la souris, il détermine des mutations létales dominantes (chez les mâles) et la formation de micronoyaux dans les érythrocytes de la moelle osseuse.

Chez l'homme, il entraîne in vitro une augmentation de la fréquence des aberrations chromosomiques et des échanges de chromatides soeurs dans les cultures de lymphocytes et de fibroblastes humains.

Cancérogénicité

Il n'existe pas de donnée suggérant un rôle possible de l'inhalation de vapeurs dans le domaine de la cancérogénèse.

Chez l'homme, de nombreuses études prospectives, rétrospectives ou de corrélation indiquent que l'ingestion prolongée de quantités importantes d'éthanol accroît, conjointement avec le tabagisme, la fréquence des cancers du pharynx, du larynx et de l'oesophage ; ce facteur de risque est retrouvé également dans les cancers du foie et du pancréas.

V-4-5-4 - Tératogénicité (33)

Chez l'animal : de très nombreuses expérimentations ont été consacrées à l'étude des effets de l'éthanol sur la reproduction. Beaucoup d'espèces ont été étudiées, et toutes les voies d'administration utilisées. Il en résulte que l'éthanol peut avoir des effets sur la fertilité des mâles par action sur la spermatogénèse, et des femelles avec perturbation du cycle menstruel et mortalité post-implantation des embryons, sur le développement embryonnaire et sur les nouveau-nés (défaut de viabilité, retard de croissance, anomalies du développement). Tous ces effets ne sont toutefois mis en évidence qu'à très hautes doses, par exemple une inhalation de 20 000 ppm quotidienne de 7 heures chez le rat.

Chez l'homme : aucune donnée n'est connue en ce qui concerne l'inhalation de vapeurs d'éthanol. On a observé des anomalies du score d'Apgar et d'autres paramètres néonataux (alcoolo-dépendance) chez des nouveau-nés de femmes ayant reçu de l'éthanol au cours de leur grossesse par ingestion ou par injection intraveineuse.

Une exposition importante à des vapeurs d'éthanol peut, dans certaines circonstances, être à l'origine de phénomènes irritatifs aggravés par d'autres gaz, associés à des **céphalées** et surtout à une **baisse de la vigilance** voire une **somnolence...**

L'exposition chronique induit une **asthénie**, des irritations cutanéomuqueuses, et pourrait accroître le **risque de mort-subite chez les sujets atteints de cardiopathie ischémique.**

V-4-6 - SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION PROFESSIONNELLE

V-4-6-1 - Méthodes de détection dans l'atmosphère

- tubes réactifs colorimétriques Draeger.
- Prélèvement sur tubes de silicagel, et analyse en laboratoire par chromatographie en phase gazeuse (adaptation de la norme AFNOR X 43-258).

V-4-6-2 - Valeurs moyenne et limite d'exposition

En France, les valeurs fixées par le Ministère du Travail (50,69) sont indicatives :

- **VME = 1900 mg/m³** soient 1000 ppm
- **VLE = 9500 mg/m³** soient 5000 ppm

V-4-6-3 - Indices biologiques d'exposition

Aucun IBE n'est retenu pour l'exposition professionnelle aux vapeurs d'éthanol.

V-5 RISQUES LIES AU DEGAGEMENT D'ACETALDEHYDE

L'aldéhyde acétique ou acétaldéhyde ou éthanal (numéro C.A.S. : 75-07-0) est un des produits chimiques de la fermentation alcoolique : selon Peynaud (75), les quantités produites sont de l'ordre de 0,08 gramme par litre de vin.

V-5-1 - LES RISQUES D'EXPOSITION EN CAVE VINICOLE

L'acétaldéhyde est un gaz de fermentation, il est donc présent partout où l'éthanol est dégagé.

L'exposition des ouvriers vinicoles se fait :

- dans l'atmosphère générale des caves en période de pleine fermentation.
- dans les aires et aux postes de déversement du vin en vinification : bacs de remontage, vidange des cuves
- dans les cuves lors de leur décuvage.
- dans les salles de pressoirs lors du pressurage du marc rouge.

V-5-2 - PROPRIETES PHYSICO-CHIMIQUES (1,3,4,36,43,72)

De formule chimique CH_3CHO , il s'agit d'un liquide (ou gaz au dessus de 21 °C) incolore, mobile, très volatil, de seuil olfactif compris entre 0,05 et 3 ppm (1 ppm = 1,83 mg/m³), d'odeur fruitée agréable à de faibles teneurs devenant piquante et suffocante à hautes concentrations.,

Il est plus léger que l'eau (densité = 0,778) et ses vapeurs plus lourdes que l'air.

Il est extrêmement inflammable (T°C d'inflammation = 140 °C), les vapeurs forment à toute température des mélanges explosifs avec l'air.

Très réactif, il peut être oxydé ou réduit facilement. En présence d'air, il s'oxyde rapidement avec formation d'acide acétique ; il se polymérise en particulier et violemment en présence d'acides ou bases avec formation de peroxydes instables.

Il se décompose à des températures supérieures à 400 °C, avec formation de méthane et d'oxyde de carbone.

Il est miscible à l'eau en toutes proportions et à la plupart des solvants organiques, avec dégagement de chaleur.

V-5-3 - TOXICOCINETIQUE ET METABOLISME

V-5-3-1 - Absorption

Chez l'homme, la rétention pulmonaire varie de 40 à 70% pour des taux atmosphériques de compris entre 0,1 et 0,8 mg/m³ (il n'y a pas de quantification précise de l'absorption pulmonaire). L'acétaldéhyde est probablement absorbé par le tractus gastro-intestinal et la peau mais aucune étude ne l'a clairement quantifié (100).

V-5-3-2 - Distribution

Elle est mal connue : il semble exister une liaison avec les hématies dans le sang (75), un passage de la barrière hématoencéphalique et la barrière foetoplacentaire (chez la souris), et la molécule se retrouve dans les reins, la rate, le coeur et les autres muscles après inhalation (chez le rat) (100).

V-5-3-3 - Biotransformation (1,36,41,90)

Il n'y a pas accumulation dans l'organisme et la molécule est rapidement métabolisée au niveau hépatique :

- dans les hépatocytes, l'acétaldéhyde est oxydé en **acétate** par les aldéhyde-hydrogénases (**ALDH**), NAD-dépendantes. Ce sont 4 isoenzymes mitochondriales (ALDH2) et cytosoliques (ALDH1, 3, 4), dont l'activité dépend de facteurs génétiques (inactivation de l'ALDH2 chez les orientaux), physiologiques (diminution de l'activité de l'ALDH2 pendant la grossesse), diététiques (diminution de l'activité enzymatique cytosolique lors de régimes pauvres en graisse), et chimiques (disulfirame - qui inhibe le plus l'ALDH1, cyanamide calcique, aminocyclopropanol, métronidazole, diéthylthiocarbamates, sulfure de carbone, céphalosporines, hypoglycémiant oraux notamment, inhibent fortement l'enzyme).
- l'acétate est lui-même transformé dans le cytosol des hépatocytes par une thiokinase, en **acétylcoenzyme A** entrant dans le cycle de Krebs et participant à la synthèse d'acides gras, du cholestérol, avec formation de dioxyde de carbone et d'eau dans l'hépatocyte.

Ce métabolisme est diminué en cas d'alcoolisme chronique car la voie de l'alcool-déshydrogénase (par conséquent le métabolisme de l'acétaldéhyde), est vite saturée, relayée par le système microsomial d'oxydation de l'éthanol (M.E.O.S.), situé dans le réticulum endoplasmique.

De plus, l'acétaldéhyde peut se lier spontanément avec de nombreuses substances endogènes pourvues de sites nucléophiles : hémoglobine, enzymes et autres protéines, nucléotides, glutathion, catécholamines. De même, il peut être neutralisé par divers dérivés soufrés (N-acétylcystéine, thiamine) et la vitamine C.

V-5-3-4 - Excrétion

Après administration orale, l'acétaldéhyde est excrétée sous forme inchangée dans les urines.

V-5-4 - TOXICITE

V-5-4-1 - Toxicité aiguë et subaiguë

V-5-4-1-1 - Expérimentale chez l'animal (1,36)

La dose létale 50 par voie orale est de 1930 mg/kg chez le rat. La CL 50 pour une exposition de 4 heures est de 17 000 ppm chez le hamster, de 13 300 ppm chez le rat, et de 1500 ppm chez la souris.

L'acétaldéhyde est fortement irritant pour la peau et les muqueuses. Le taux atmosphérique réduisant le rythme respiratoire de moitié chez la souris est de 2900 ppm (moins pour le formaldéhyde). Une trachéo-bronchite hémorragique et un oedème alvéolaire sont observés chez des animaux autopsiés après exposition massive à des vapeurs ou des aérosols du produit.

Les signes d'intoxication systémique sont principalement des troubles hémodynamiques et une dépression du S.N.C. De faibles doses d'acétaldéhyde entraînent un hyperadrénergisme par libération de catécholamines avec effets inotrope, chronotrope et bathmotrope myocardiques positifs : tachycardie suivie rapidement d'une poussée hypertensive et bradycardie réflexe avec possibilité de troubles du rythme cardiaque.

Des atteintes polyviscérales apparaissent à fortes doses, notamment un effet musculaire direct (paroi des vaisseaux et myocarde) : action inotrope négative avec collapsus cardiovasculaire.

Chez la souris, l'acétaldéhyde introduit par voie intrapéritonéale induit une ataxie et diminution de la motricité, puis un coma.

Son action est potentialisée par la caféine, la nicotine et la dopamine dans certaines études animales (1).

V-5-4-1-2 - Chez l'homme (1,12,36,41)

Par inhalation

Le pouvoir irritant de l'acétaldéhyde est moins marqué que pour le formaldéhyde.

- Il existe une simple irritation oculaire modérée après exposition à 50 ppm pendant 15 minutes ;
- signes d'irritation des voies aériennes supérieures après 30 mn d'exposition à 134 ppm ;
- conjonctivite transitoire pour 200 ppm ;
- lésions cornéennes au-delà.

A fortes concentrations : stupeur, vertiges, perte de conscience voire décès par défaillance pulmonaire.

Après projection oculaire d'acétaldéhyde liquide : sensation de brûlure, larmoiement, et trouble visuel.

Après ingestion d'acétaldéhyde liquide : nausées, vomissements, douleurs abdominales, diarrhées, dépression du S.N.C. conduisant à la stupeur, la somnolence et la dépression respiratoire. L'ingestion de doses très importantes conduit à une atteinte polyviscérale rapidement mortelle.

Interactions : l'acétaldéhyde peut potentialiser la toxicité de l'éthanol

V-5-4-2 - Toxicité chronique

V-5-4-2-1 - Expérimentale chez l'animal (4,36)

Chez le hamster, on n'observe aucun effet après exposition à 390 ppm 6h/jour, 5j/semaine pendant 3 mois.

Chez le rat il y a irritation des muqueuses nasales dès 400 ppm 6h/jour, 5j/semaine pendant 1 mois.

Les lésions des voies aériennes supérieures apparaissent dès 1000 ppm (rat).

Dès 1340 ppm, altérations discrètes de l'épithélium respiratoire nasal (hyperplasie et métaplasie) (hamster).

Au-delà, on observe des effets plus nets (surtout pour les voies aériennes supérieures) : inflammation, foyers de nécrose, hyperplasie et métaplasie épithéliales nasales, trachéales et laryngées.

Chez la souris : après exposition à des concentrations croissantes (750 à 4000 µg/l) pendant 10 jours, il y a eu diminution de l'activité motrice, ataxie, hypothermie et perte de poids ; syndrome de sevrage à l'arrêt du traitement.

L'administration répétée d'acétaldéhyde produit une stéatose et diverses anomalies fonctionnelles hépatiques, et pancréatiques.

V-5-4-2-2 - Chez l'homme (4,36)

La toxicité chronique chez l'homme n'a fait l'objet d'aucune publication, cas clinique ou étude épidémiologique. Toutefois, sont signalées, sans précision, une irritation des muqueuses oculaires, des dermatoses irritatives et allergiques, des broncho-pneumopathies chroniques chez des salariés exposés.

Pour certains auteurs, les signes de l'intoxication chronique sont semblables à ceux de l'éthylisme chronique : tremblement, anémie, polynévrites.

V-5-4-3 - Mutagénicité et cancérogénicité (4,36,63)

Des altérations de l'ADN chez *Escherichia Coli* ont été rapportées. Il n'y a aucun effet mutagène chez *Salmonella Typhimurium* mais il existe pour *Saccharomyces cerevisiae*.

La molécule induit des aberrations chromosomiques et des échanges de chromatides soeurs dans divers végétaux supérieurs.

Il existe une augmentation des aberrations chromosomiques, des micronoyaux et des échanges de chromatides soeurs dans divers systèmes de cellules mammifères en culture. In vivo, augmentation de la fréquence des échanges de chromatides soeurs au niveau des cellules médullaires chez la souris et le hamster.

Aucune donnée n'est disponible sur l'éventuelle mutagénicité dans des populations humaines exposées.

La cancérogénicité a été étudiée chez le rat par inhalation : des adénocarcinomes des fosses nasales après inhalation de plus de 750 ppm 6h/jour, 5j/semaine pendant 28 mois, et des épithéliomas spinocellulaires après une exposition à plus de 1500 ppm) ont été rapportés.

On note une augmentation de la fréquence des cancers laryngés d'une part, et des tumeurs trachéo-bronchiques induites par le benzo(a)pyrène d'autre part, chez le hamster.

Chez l'homme, une étude rapporte 9 cas de cancers dans une usine de dimérisation d'acétaldéhyde en Allemagne : 5 cancers bronchiques, 2 cancers de la bouche. Mais

l'évaluation de la responsabilité de la molécule est impossible car il y avait polyexposition et car le tabagisme n'avait pas été pris en compte.

Le CIRC classe l'acétaldéhyde comme cancérogène possible chez l'homme : groupe 2B.

V-5-4-4 - Tératogénicité (1,4)

L'acétaldéhyde inhibe in-vitro le synthèse de la testostérone dans les préparations de testicule de chiens, de rats, de souris ; les effets in vivo n'ont pas été étudiés.

L'administration d'acétaldéhyde à des rates et souris gestantes a entraîné des effets foetotoxiques et tératogènes : malformations du crâne (hypoplasie mandibulaire, microcéphalie, exencéphalie) et des membres.

Aucune donnée humaine n'a été publiée. Mais certains auteurs imputent partiellement le syndrome d'alcoolisme foetal à l'acétaldéhyde, premier métabolite de l'éthanol.

V-5-5 - SURVEILLANCE DE L'EXPOSITION PROFESSIONNELLE

V-5-5-1 - Méthodes de détection dans l'atmosphère (4)

- chromatographie liquide haute performance ou chromatographie en phase gazeuse après piégeage sur un adsorbant solide (gel de silice) imprégné de 2-4- dinitrophénylhydrazine (adaptation de la norme AFNOR X 43-264).

V-5-5-2 - Valeurs moyenne et limite d'exposition (50,86)

En France, la Valeur Moyenne d'Exposition (VME) de l'acétaldéhyde est de 100 ppm (180 dans l'air des locaux de travail. Elle est calquée sur la *Threshold Limit Value-Time Weighted Average* ou TLV-TWA américaine de l'ACGIH. L'ACGIH recommande une valeur plafond de 25 ppm (45 mg/m³) pour 15 minutes de prélèvement.

V-5-5-3 - Indices biologiques d'exposition (IBE)

Il n'y a pas actuellement d'IBE préconisé pour la surveillance de l'exposition à l'acétaldéhyde.

V-6 RISQUES LIES A L'UTILISATION D'AUTRES PRODUITS

V-6-1 - TERRE A DIATOMEES (75,48)

V-6-1-1 - Origines

La **diatomite** (synonymes : *kieselguhr*, *farine fossile*, *randanite*, "terre d'infusoires") est une roche légère de couleur blanche, grise verdâtre ou jaunâtre, à caractère siliceux (silice amorphe) constituée par l'accumulation de carapaces fossiles d'algues microscopiques unicellulaires (*les diatomées*). Leur membrane possède la propriété de fixer la silice de l'eau.

On l'utilise pour la fabrication de **poudres** d'une grande porosité dont les poids au litre varient de 100 à 250 grammes environ. 80 % de la masse totale sont occupés par des canaux conférant au matériau une grande propriété filtrante.

La terre à diatomées commercialisée, produit de très fine granularité, est obtenue par la succession de différentes opérations (concassage, séchage à 600°C, broyage, calcination simple ou avec flux, à 1000°C) ; la **calcination** à hautes températures du produit brut **transforme la silice amorphe en silice cristalline** (cristobalite, tridymite, quartz). Le produit final contient jusqu'à 60% voire 73% de cristobalite (23,71) après calcination avec flux (activation) alors que la forme initiale en contient moins de 1%.

Il existe donc deux sortes de terre à diatomées commercialisées (58) :

1. **calcinée** contenant moins de 23% de silice cristalline (moins de 20% de cristobalite et moins de 3% de quartz)
2. **calcinée activée** contenant moins de 73% de silice cristalline (moins de 72% de cristobalite et moins de 1% de quartz)

V-6-1-2 - Utilisation et exposition en cave vinicole

Les principales caractéristiques physico-chimiques de la diatomite sont exploitées dans l'application de **filtration** : la légèreté, la porosité, l'inertie chimique, l'insolubilité. Variétés de liquides sont filtrées sur diatomite : jus d'extraction en sucrerie, bière, vin, jus sucrés, eau (épuration des eaux usées, filtration de l'eau pur l'alimentation), solvants, huiles, glycérine, résines synthétiques, vernis, antibiotiques.

La clarification du vin provient donc de cette propriété de filtration et aussi de leur pouvoir adsorbant. Il existe différents débits de filtration selon **différentes porosités**. On emploie de 40 à 120 grammes de diatomées par hectolitre de vin, suivant l'intensité du trouble et le pouvoir de colmatage.

Les poudres de diatomite se présentent en sacs de 22 kg. La manipulation de cette poudre se fait manuellement, avec une petite pelle, pour la placer dans le bac d'alluvionnage ; cette opération se fait généralement avec un masque à poussière. Pour une cuve de 450 hectolitres de vin, il faut compter **3 heures** de filtrage sur 2 filtres. Sur ces 3 heures, l'opérateur manipule la diatomite **3 à 4 fois 5 minutes** à peu près.

Les manipulations des sacs de terre à diatomées engendrent un aérosol de poussières, de même que l'ouverture de sacs neufs. La filtration d'une cuve de 450 hectolitres demande 6 heures sur un seul filtre, avec remplissage des filtres toutes les heures avec 5 pelletées de terre : ces opérations engendrent encore plus d'aérosols dans l'atmosphère. L'exposition se fait pendant 3 à 4 mois, plus ou moins quotidiennement selon la demande (filtration juste avant commercialisation).

V-6-1-3 - Toxicité

La toxicité se résume, pour la terre à diatomée commerciale, à celle de la silice libre cristalline.

V-6-1-3-1 - Toxicité chez l'animal

Chez l'animal, l'instillation intra-trachéale de terre à diatomées entraîne une fibrose nodulaire progressive (57).

L'exposition par inhalation de chiens, hamsters, et rats à des doses de diatomite calcinée (contenant 61% de cristobalite) proches des valeurs limites, a entraîné un changement pathologique relativement modéré au niveau pulmonaire (57).

V-6-1-3-2 - Toxicité humaine

La terre à diatomées calcinée est connue pour son effet fibrogène pulmonaire (71).

La pneumoconiose décrite après exposition à de la terre à diatomées, est une pneumoconiose peu commune (71) dont la sévérité apparaît corrélée au contenu en cristobalite des poussières de terre à diatomées (et donc fonction de la méthode de

calcination du produit naturel), et à la durée de l'exposition. Ces silicozes ont tendance à se compliquer plus souvent par un pneumothorax spontané. Mais le contenu en silice cristalline ne semble pas être le seul facteur de fibrogenèse (22). Elle ont été décrites dans les années 50 par W.C. Cooper chez les ouvriers de mines de terre à diatomées et de sites de transformation et calcination du produit. (71). En France, la presque totalité des ouvriers d'une usine de traitement de la diatomite, exposés au risque de 1951 à 1953, a présenté une silicose (89).

Un cas de silicose est rapporté dans une teinturerie, relié à l'utilisation sans précaution de terre à diatomées pour la régénération de solvants, notamment le perchloréthylène (16).

Deux cas de silicose sont rapportés chez des salariés d'une brasserie industrielle dans laquelle il ont manipulé de la terre à diatomées pendant 17 et 20 ans lors d'opérations de filtration de la bière (99).

Aucune silicose n'a été rapportée en ce qui concerne l'opération de filtration du vin.

Il y avait une augmentation significative de la mortalité chez des travailleurs dans l'industrie de la diatomite avant la réduction des niveaux d'exposition, due à l'augmentation des cancers du poumon, et autres pathologies pulmonaires (infections aiguës des voies aériennes, asthme, pneumoconiose, emphysème) (57).

La silice libre cristalline vient d'être classée cancérigène chez l'homme (groupe 1) par le CIRC.

L'exposition aux poussières de terre à diatomées peut entraîner l'apparition de **silicozes**, et accroît le risque de développement de **cancers pulmonaires**.

V-6-2 - PERLITE

Pour la filtration des bourbes des jus blancs pressurés, les caves de Savoie utilisent de la **perlite** (poudre contenant de la silice amorphe) en pré-colmatage dans des filtres. Ce sont des filtres à tambour rotatifs circulaires travaillant par aspiration sous vide et fonctionnant en continu ; la surface filtrante constituée de perlite est, au fur et à mesure de son colmatage, éliminée par un râteau racleur (75).

V-6-2-1 - Propriétés de la perlite

C'est une roche volcanique aussi appelée *silice volcanique* qui, sous l'action de la chaleur, se dilate pour former une substance de faible densité, utile notamment pour l'isolation thermique.

La perlite est composée principalement de silicates (silicate d'aluminium) et contient moins de 1 à 3% de quartz libre (26,63).

Sa concentration permissible dans l'atmosphère de travail (poussières totales) est de 10 mg/m³ (50).

V-6-2-2 - L'exposition aux poussières de perlite en vinification

Elle se fait lors de la préparation par l'opérateur de la solution de perlite avant l'envoi des bourbes dans le filtre. Cette préparation est destinée à recouvrir la surface filtrante. Des sacs de 25 kg de poudre sont versés dans un grand container attendant au filtre. Les aérosols formés à ce moment-là sont importants.

V-6-2-3 - Toxicité de la perlite

L'expérience animale et les observations humaines (enquête sur 240 travailleurs de la perlite) indiquent que la perlite n'est pas fibrogénique, et est à classer parmi les poussières inertes (63).

V-6-3 - BENTONITE

V-6-3-1 -Propriétés de la bentonite (75,82,86,93)

La bentonite est une argile colloïdale fine, argile smectique de la famille des montmorillonites, provenant généralement de l'altération de cendres volcaniques. Elle est douée d'un pouvoir d'absorption élevé exploité dans la clarification des vins : elle gonfle au contact de l'eau. Elle contient du silicium et de l'aluminium (silicate d'aluminium hydraté) en quantités variables, de la montmorillonite minérale en taux importants (85 %), du magnésium, du fer, et du carbonate de calcium. Elle est insoluble dans l'eau et les solvants organiques communs.

Elle est utilisée comme émulsifiant pour les huiles, base pour les plâtres, agent de suspension (cosmétiques, aliments pour chiens), agent de liaison (sables, céramiques), et boue pour les forages (BTP, pétrole).

Elle se présente dans le domaine vinicole sous la forme d'une poudre, ou encore sous la forme de granulés. Son rôle est de provoquer une élimination naturelle des protéines du moût, susceptibles de donner des troubles dans le vin en bouteilles. Elle est rarement utilisée pour la clarification du vin rouge avant sa mise en bouteilles. On s'en sert plus souvent dans la clarification du moût blanc débourbé. Lors du tirage du moût, on le fait couler par gravité dans un bassin d'où il est repris à la pompe et envoyé dans la cuve de fermentation. Pendant cette circulation, la bentonite est saupoudrée sur le bassin et mélangée par une agitation énergique.

Le bentonitage est pratiqué en Savoie, dont les caves vinicoles que nous avons étudiées.

V-6-3-2 - L'exposition au poste de travail.

Un gonflement préalable à l'utilisation oenologique est nécessaire : les sacs de bentonite sont progressivement dans des récipients remplis de vin, mélangés par malaxeur pour obtenir un « lait » de bentonite ; les doses à utiliser varient avec les types de vins (40 à 100 grammes par hectolitre). L'exposition du salarié vinicole se situe lors de cette phase de préparation : des aérosols de poussières sont notés, plus fortement avec la forme en poudre. La commercialisation en granulés devrait réduire cette exposition potentielle, en réduisant les aérosols.

V-6-3-3 - Toxicité (66,86)

Chez l'animal : la bentonite elle-même n'est pas fibrogène pour les poumons, mais elle engendre l'accumulation de grosses cellules à cytoplasme spongieux (mousseux), avec coloration au periodic acid Schiff fortement positive, et prolifération modérée de réticuline.

Chez l'homme

Une étude soviétique de 1981, réalisée dans une usine de poudre de bentonite, rend compte de la prévalence accrue de rhino-pharyngites, dermatites, et eczémas (6).

Un article rapporte le cas d'une inflammation intra-oculaire chez un assistant dentaire exposé à de la bentonite lors de la fabrication des pâtes (7).

Les pneumoconioses rapportées chez les ouvriers d'exploitation de bentonite se sont développées rapidement et de manière constante (?). Ce sont des silicoses avec des séquelles importantes et ayant entraîné parfois la mort. Cela est très certainement dû à la teneur en silice cristalline (principalement de la cristobalite) de l'argile (54).

Cancérogénicité

Les données animales permettent de conclure à un effet cancérogène possible : agent tumorigène équivoque selon les critères du RTECS (tumeurs du foie chez le rongeur) (96)

V-6-4 - LEVURES SECHES ACTIVES

Ce sont des levures industrielles du genre *saccharomyces cerevisiae*, utilisées pour accélérer la marche de la fermentation et diminuer ses risques d'arrêt.

En vinification en blanc, après un débourage trop poussé, le moût peut être insuffisamment riche en levures et donc mal partir en fermentation (51). De plus, les conditions sanitaires actuelles dans les chais ne permettent pas d'avoir un ensemencement spontané suffisant.

En vinification en rouge, les premières cuves remplies, surtout par temps froid, fermentent moins vite que les suivantes parce que l'inoculation spontanée est moins importante.

Sous un faible volume, 2 kg pour 100 hl selon (51), 5 à 10 g par hl selon Renvoisé (81), elles permettent d'atteindre le taux d'inoculation nécessaire. Leur emploi est aisé : levures déshydratées à l'air chaud, sous vide, en présence d'un support protecteur, elles se présentent sous forme de poudre sèche. Elles sont réactivées avant emploi, par réhydratation dans de l'eau tiède pendant 20 à 30 minutes (82).

Saccharomyces cerevisiae est considérée comme non pathogène pour l'homme (96).

Toutes ces considérations font que l'on arrive à penser que dans l'atmosphère d'une cave, entre les produits naturels d'une part, et les produits induits d'autre part, sont disséminées des levures en aérosol. En effet, une fois que les premières cuves ont démarré leur vinification, les cuves « s'inoculent » et déclenchent entre elles leur fermentation.

V-6-5 - ENZYMES PECTOLYTIQUES

Deux types d'enzymes sont autorisées, les enzymes pectolytiques, et les bêtaglucanases. Les enzymes pectolytiques, aussi appelées pectinases sont les plus utilisées ; elles interviennent pour parfaire la limpidité du moût obtenu après débouillage par sédimentation, en détruisant les matières pectiques qui participent à la structure colloïdale des moûts. Elles sont utilisées sous forme de poudre, à la dose de 1 à 2 grammes par hectolitre de moût. (75) Les enzymes pectolytiques du commerce (Ultrazyme 100, Lafase HE, ...) sont en réalité constituées d'un mélange d'enzymes, extraits des cultures d'*Aspergillus* qui présentent un spectre assez large d'activités enzymatiques (96).

L'utilisation d'enzymes en général est bien connue : l'industrie des lessives, de la boulangerie, des jus de fruits,... les utilisent couramment.

Il existe un tableau des maladies professionnelles pour les affections provoquées par les enzymes (tableau n° 63 du régime général) :

- dermatites eczématiformes
- ulcérations cutanées
- conjonctivite aiguë bilatérale
- rhinite, asthme ou dyspnée asthmatiforme

Dans ce tableau entre en compte cette utilisation oenologique des enzymes pectolytiques puisqu'y figure: « (...) emploi des enzymes et des produits en renfermant, notamment : (...) des enzymes d'origine (...) fongique préparées à partir de (...) *aspergillus* (...). ».

LA CAVE VINICOLE EST UNE VERITABLE USINE DE PRODUITS CHIMIQUES

1. Les fermentations produisent un grand nombre de composés :
éthanol, CO₂, acétaldéhyde, alcools supérieurs, esters...

La plupart se retrouvent en phase gazeuse dans l'atmosphère d'une cave vinicole pendant une période de presque 1 mois souvent, à des concentrations importantes.

2. Les différentes activités de la vinification nécessitent de plus l'utilisation de nombreux produits que nous avons pu cibler : **SO₂, terre à diatomées**, perlite, bentonite...

Les professionnels, soumis **pendant les fermentations** à des contraintes de temps, à l'excitation, la précipitation, dépendants de la vinification, « cohabitent » dans ces atmosphères chargées.

Il est apparu intéressant d'étudier et de quantifier ces expositions.

**Les principaux polluants semblent être le CO₂, l'éthanol et l'acétaldéhyde pendant les remontages, les décuvages et les pressurages,
et le SO₂ pendant les sulfitages.**

PARTIE 2
EVALUATION DES NIVEAUX D'EXPOSITION

VI - MATERIEL ET METHODES

Après l'évaluation initiale des risques toxiques potentiels de la vinification (étude de postes de travail, toxicologie des produits identifiés), leur quantification passe par une **métrologie atmosphérique des toxiques** par capteurs individuels portés par les salariés pendant les différentes activités viticoles, et par des prélèvements d'ambiance dans les caves viticoles.

Disposant de peu de données concernant les niveaux d'exposition professionnelle (à part les niveaux de CO₂) pendant la vinification, seule la métrologie atmosphérique a été mise en place dans cette première étude. En fonction des concentrations trouvées, une mesure d'Indices Biologiques d'Exposition (IBE) pourra alors être proposée.

VI-1 - CONTEXTE ET NAISSANCE DE L'ETUDE

VI-1-1 - RESULTATS D'UNE ETUDE RECENTE DANS LE BORDELAIS

L'étude de B. OLIVIER-ROUSSEL (73) avait pour but d'évaluer, par une analyse des postes et des métrologies atmosphériques, les risques professionnels d'origine toxique et les niveaux d'exposition au CO₂, à l'éthanol et au dioxyde de soufre, des salariés viticoles lors de la vinification des vins de Bordeaux. Elle comparait la situation d'un « château » et celle d'une cave coopérative.

Ce travail a mis en évidence des expositions chimiques importantes retrouvées dans certaines circonstances de la vinification, liées à :

- des dégagements très importants de CO₂ avec risque majeur d'asphyxie à l'ouverture des caves le matin, avant toute ventilation.
- des dégagements importants d'éthanol lors d'activités particulières telles que les décuvages traditionnels, et les opérations de remontage.
- des émanations de SO₂ lors du sulfitage des vendanges et pendant la maturation du vin.

Les niveaux d'exposition en cave coopérative étaient plus élevés qu'en « château » particulier.

VI-1-2 - OPPORTUNITE GEOGRAPHIQUE

La volonté des médecins du travail de la Mutualité Sociale Agricole et du laboratoire de Toxicologie de l'Institut Universitaire de Médecine du Travail et d'Environnement (IUMTE) de Grenoble, de poursuivre et de compléter ces résultats, ainsi que la localisation d'un vignoble AOC à moins de 50 kilomètres de l'université Joseph Fourier, ont permis la mise en place d'une étude métrologique en Savoie.

VI-2 - LES OBJECTIFS

Les objectifs de cette étude sont :

- De déterminer les niveaux d'exposition pendant les activités à risques toxiques élevés lors de la vinification des Vins de Savoie, activité savoyarde relativement peu connue en France, et ainsi de compléter les données de la métrologie atmosphérique réalisée dans le Bordelais.
- De proposer, en fonction des concentrations trouvées, des stratégies de prévention technique et médicale des risques professionnels, afin d'améliorer les conditions de travail et le suivi médical des salariés dans le secteur vinicole de Savoie.

VI-3 - MISE EN PLACE DU PROJET

- Les différents aspects du projet ont été élaborés par les médecins du travail et le technicien de prévention de la MSA en collaboration avec le laboratoire de Médecine du Travail et de Toxicologie de l'IUMTE, puis présentés aux membres du Syndicat Interprofessionnel des Vins de Savoie.
- Ceux-ci, intéressés par la démarche, nous ont présenté leur vignoble et ses spécificités, et nous ont guidé dans le choix des caves vinicoles. Celles-ci devaient être de taille importante avec une production suffisante, pour pouvoir nous laisser le choix dans les dates d'intervention. L'étude sur plusieurs sites permet de valider nos résultats par une multiplication des expositions, et de comparer différentes méthodes de vinification. Sur ces critères, deux caves sont choisies (cave A et cave B).
- Le projet a ensuite été présenté aux directeurs des caves, qui l'ont soumis aux présidents des coopérateurs.
- Enfin la méthodologie a été expliquée à l'ensemble des salariés des caves étudiées.

VI-4 - ACTIVITES ETUDIEES

En fonction des données de la littérature et des résultats de l'étude de B. OLIVIER-ROUSSEL dans le Bordelais, ainsi qu'après analyse des spécificités de la vinification savoyarde, nous retrouvons certaines phases d'activité pouvant entraîner des niveaux d'exposition élevés :

- le **sulfitage manuel** de la vendange,
- le poste de **remontage par oxygénation**,
- la **vidange des cuves automatiques**,
- poste de **décuvage traditionnel**,
- le **décuvage des cuves automatiques**,
- le poste de **pressurage** des marcs rouges.

L'ensemble de ces activités sera étudié.

VI-5 - CALENDRIER D'INTERVENTION

Les dates d'intervention doivent correspondre le plus possible aux dates représentatives de la vinification :

- les jours du plus grand nombre d'arrivées de vendanges pour pouvoir étudier plusieurs opérations manuelles de sulfitages,
- les jours du plus grand nombre de cuves en fermentation pour évaluer les niveaux d'ambiance
- les jours du plus grand nombre de vidanges et décuvages pour évaluer les phases les plus à risques.

Mais elle doivent aussi nous permettre de suivre l'évolution de la pollution des caves sur la durée des vendanges.

VI-6 - METROLOGIE ATMOSPHERIQUE

VI-6-1 - POLLUANTS ANALYSES ET METHODES UTILISEES

VI-6-1-1 - Polluants étudiés

Les polluants étudiés sont des polluants de la phase gazeuse :

- éthanol
- acétaldéhyde
- CO₂ et O₂ en parallèle
- SO₂

VI-6-1-2 - Méthodes utilisées

Les mesures ont été effectuées par 3 types de méthode :

VI-6-1-2-1 - Ethanol et Acétaldéhyde

PRELEVEMENTS actifs par pompage d'air et ANALYSE DIFFEREE en laboratoire

Des pompes portatives autonomes aspirent de l'air et sont reliées à des supports dont la nature est fonction du produit à analyser. L'air est prélevé à débit constant, leur perte de charge est compensée automatiquement. Leur débit est étalonné en début et en fin de prélèvement, et il dépend du support, de la norme qui s'y rapporte et de la stratégie de prélèvement définie. Nous utilisons un débitmètre automatique à bulle de type Gillibrator (GILIAN) avec le support de prélèvement en place (pour prendre en compte la perte de charge qu'il induit) en début et en fin de prélèvement. Le prélèvement est considéré comme valable quand la variation du débit de la pompe entre le début et la fin, est inférieure à 5%.

Polluant dosé norme AFNOR	Technique de prélèvement	Technique d'analyse	Sensibilité de l'analyse
ETHANOL X43-258 (105)	- tube de silicagel - débit d'aspiration de la pompe : 140 puis 50 ml/min	Analyse par CPG ⁴ avec détection par ionisation de flamme, après désorption dans l'eau	
ACETALDEHYDE X43-264	- cartouche de silicagel imprégné de DNPH ⁵ - débit d'aspiration de la pompe : 0,2 à 1l/min	Analyse par HPLC ⁶ avec détection UV après désorption de la cartouche dans de l'acétonitrile	0,15 µg/m ³

⁴ CPG : chromatographie en phase gazeuse

⁵ DNPH : 2,4-dinitrophénylhydrazine

⁶ HPLC : chromatographie liquide haute performance



VI-6-1-2-2 - CO₂ et O₂

ENREGISTREMENT EN CONTINU par des appareils portables de détection.

Les appareils, prêtés par la société DRÄGER et le Bureau d'Hygiène de la Ville de Grenoble, ne sont pas munis d'enregistrement automatique des données : ils sont donc maintenus à hauteur des voies respiratoires et les différents niveaux affichés sont recueillis manuellement.

Polluant détecté	Appareil utilisé	Capteur	Sensibilité
CO ₂	Multiwarn I de Dräger avec : - support de capteur pour l'entrée du gaz par diffusion - possibilité de pompe interne avec sonde, tuyau et filtre externe	capteur infrarouge IR- CO ₂ pour 0-25 Vol. % sans interférence	0,1 ppm
O ₂	Multigas MX 21 de Oldham	cellule électrochimique gamme : 0-30% pas d'interférence	0,1%

VI-6-1-2-3 - SO₂

TUBES COLORIMETRIQUES

Polluant détecté	Tube utilisé	Pompe manuelle	Résolution
SO ₂	tube réactif 0,5/a Dräger gamme : 1 à 25 ppm	10 coups de pompe	1 ppm

Parallèlement à la métrologie, les activités de travail ainsi que les paramètres de l'environnement du poste (ventilation, nombre de cuves en fermentation...) sont recueillis. Les incidents techniques pendant les prélèvements sont également notés.

Les conditions météorologiques de base des jours d'intervention (vitesse du vent, température extérieure et intérieure, ciel) sont recueillies. L'idéal étant de pouvoir les mesurer précisément avec les valeurs de précipitation, de direction du vent, de température de l'air sous abri, d'humidité, de pression atmosphérique, dans les deux régions étudiées, mais aussi à l'intérieur des cuiviers.

VI-6-2 - TYPES DE PRELEVEMENTS

VI-6-2-1 - Prélèvements d'ambiance de longue durée

Les supports de prélèvement reliés aux pompes portatives d'aspiration d'air et les appareils d'analyse en continu, sont placés dans les locaux à 1m 50 du sol environ. Les temps de prélèvement sont de 4 heures.

Ambiance générale des caves

CAVE A

- cuverie béton rez-de-chaussée
- salle des cuves Vinimatic™
- salle des pressoirs

CAVE B

- salle des cuves Vinimatic™
- salle des vins blancs
- salle des pressoirs

A proximité des sources de gaz de fermentation

- à la sortie de la bouche d'évacuation des gaz d'une cuve de vin blanc de la cave B, pendant toute la période de sa fermentation
- à proximité de la vanne d'évacuation d'une cuve Vinimatic™ de la cave B, pendant toute la période de sa fermentation

VI-6-3-2 - Prélèvements individuels au cours d'activités à risques

Les pompes de prélèvement sont portées par les salariés à la ceinture, et sont reliées par un tuyau flexible aux supports fixés à hauteur de leurs voies respiratoires, c'est à dire à l'intérieur d'un hémisphère de 30 cm de rayon s'étendant devant la face et centré sur le nez. Le prélèvement dure le temps que dure la phase d'activité étudiée. Les opérations ainsi évaluées sont :

- le sulfitage de la vendange rouge
- le remontage par oxygénation des cuves Vinimatic™
- la vidange des cuves Vinimatic™
- le décuvage des Vinimatic™
- le décuvage traditionnel
- le pressurage

RESULTATS

VII - RESULTATS

VII-1 - DESCRIPTION DES CAVES ET DES POSTES ETUDIÉS

Les deux sites choisis pour notre étude sont les seules caves coopératives vinicoles de Savoie. Elles **vinifient** les vendanges des vigneron coopérateurs. Ceux-ci sont en général de petits producteurs siégeant en assemblée démocratique, disposant chacun d'une voix et contrôlant la gestion de la cave (25). Elles **commercialisent** ensuite le vin, soit directement dans un caveau attenant, soit par l'intermédiaire d'un négociant.

Plusieurs caractéristiques techniques différencient les deux caves :

- le volume de production
- la séparation ou non des deux types de vinification dans des locaux spécifiques
- la présence ou non de méthode traditionnelle de décuvage
- la présence ou non de sulfitage automatique

Les salariés vinicoles, qui sont pour la plupart des **saisonniers** pendant les périodes de vendange, travaillent à la journée, parfois jusqu'à 14 heures quotidiennement quand les arrivées de raisins sont importantes.

Aucun poste n'est véritablement attribué spécifiquement à un salarié dans des petites caves comme celles-ci. Chaque ouvrier vinicole réalise plusieurs types d'activités dans la même journée. Il est polyvalent et ses expositions sont multiples et variées.

VII-1-1 - CAVE A

Fondée en 1952, elle produit des vins d'AOC Savoie, blancs, rouges, rosés et effervescents. Vinifiant la récolte de 150 hectares de vignes, sa capacité totale est de 16.500 hectolitres dont 3.500 en stock, et sa production effective annuelle de 10.000 hectolitres. Elle est située à flanc de coteau et orientée est-ouest.

L'intervention dans cette cave a été facilitée par le souhait des dirigeants, d'intégrer la prévention dans un projet de construction d'un nouveau cuvier. Ce souhait s'est concrétisé par une demande d'aide technique auprès du service Prévention des Risques Professionnels de la Caisse de Mutualité Sociale Agricole.

- Les vendanges sont amenées au cuvier en remorque, et sont versées dans deux conquets (1 pour les raisins rouges, 1 pour les raisins blancs) au fond desquels une vis sans fin évacue les raisins.
- Les grappes sont envoyées directement au fouloir-égrappoir.

- Après l'égrappoir, les raisins rouges sont acheminés par un système de conduites dans les cuves correspondantes en fonction de la sélection des cépages. Les raisins blancs, eux, sont envoyés au pressoir.
- Le sulfitage de la vendange s'effectue exclusivement manuellement dans cette cave, car les systèmes automatiques de type sulfidoseur branché aux conduites, ont été abandonnés pour raison technique.
- La vinification en rouge se déroule dans les cuves traditionnelles en béton et dans des cuves automatiques appelées Vinimatic™. La vinification en blanc s'effectue, elle, seulement dans des cuves traditionnelles. Les secondes fermentations et le stockage se déroulent dans les cuves traditionnelles.

VII-1-1-1 - Les locaux

Il existe 2 cuiviers distincts appartenant à 2 bâtiments différents : la cuverie béton et la cuverie automatique (salle des Vinimatic™).

■ **la cuverie béton** comprend 30 cuves en béton disposées sur 2 niveaux et d'une capacité de 320 à 430 hectolitres. Elles sont dévolues à la fermentation des rouges (premier niveau), blancs et rosés, ainsi qu'au stockage. Leur paroi interne est recouverte de résine époxydique, permettant une meilleure hygiène et un nettoyage facile.

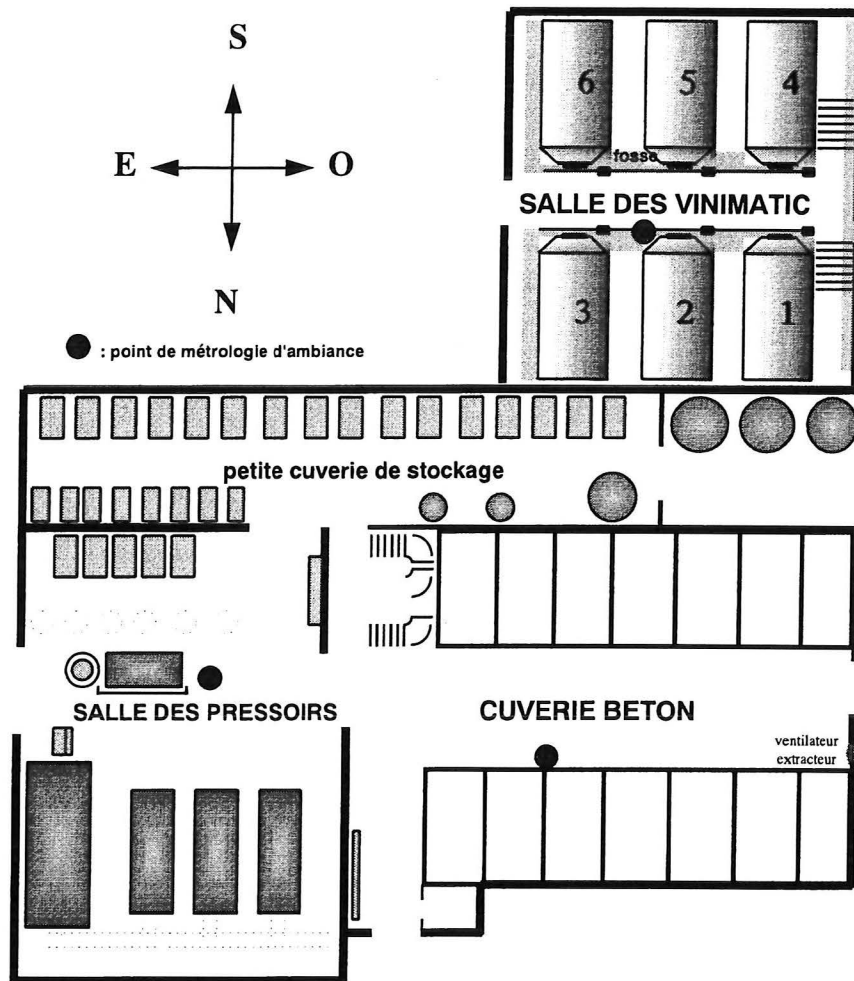
Le cuvier est organisé sur 3 niveaux :

- le niveau supérieur correspond aux toits des cuves supérieures, les gaz de fermentation s'échappent par leurs trappes supérieures.

- le second niveau est limité aux passages étroits longeant les cuves supérieures et reliés par une passerelle. A ce niveau débouchent les trappes supérieures des cuves inférieures par lesquelles s'échappent les gaz de fermentation.

- le rez-de-chaussée est l'aire principale de circulation des flux de vin fermenté (remontages, stockage) et des transferts sur tapis des marcs fermentés vers les pressoirs.

La ventilation mécanique est assurée par un ventilateur d'extraction encastré dans le mur ouest du premier niveau ; la ventilation naturelle est assurée par 24 petites fenêtres au deuxième étage, et des portes sud au rez-de-chaussée et nord au premier étage.



PLAN GENERAL DES LOCAUX DE LA CAVE A

- La **salle des pressoirs** prolonge vers l'est la cuverie béton : elle contient 3 pressoirs horizontaux mécaniques à plateaux, 1 pressoir pneumatique de type Buscher™, 1 filtre rotatif à bourbes, 5 cuves en inox de stockage de 50 hectolitres. Sous les pressoirs sont creusées des rigoles permettant l'écoulement du vin de pressurage dans 6 cuvons de stockage transitoire situés sous la pièce.

La ventilation s'effectue par des fenêtres situées sur le mur nord au-dessus des pressoirs.

- De l'autre côté, communiquant à l'ouest avec le cuvier traditionnel, l'ancien local d'embouteillage et de stockage, vide et promis à une destruction imminente à l'automne 1996.

- Au sud, communiquant avec le cuvier traditionnel et la salle des pressoirs, un **petit cuvier** permet le stockage du vin avant l'embouteillage ; il contient 24 cuves de 50 hectolitres chacune. Il ne possède pas de ventilation spécifique, ni d'accès sur l'extérieur.

- **La salle des Vinimatic™** occupe un second bâtiment accolé au précédent : elle contient 6 cuves en acier inoxydable dites autoremontantes et autovidantes, de type Vinimatic™, d'une capacité de 410 hectolitres chacune, disposées horizontalement en 2 rangées opposées de 3 cuves. Elles reposent sur des structures métalliques, une passerelle sépare les 2 rangées, à hauteur des trappes, individualisant ainsi une fosse sous chaque rangée. L'étage supérieur communique par une porte avec le troisième niveau de la cuverie traditionnelle. **La ventilation naturelle** est assurée par les portes du hangar et des bouches d'aération situées dans les murs sud et ouest.

VII-1-1-2 - Les salariés concernés

Chaque jour, 8 personnes travaillent dans la cave :

- 4 salariés permanents dont le directeur œnologue, chargés des travaux importants de la vinification : réception, pesée, échantillonnage de la vendange, sulfitages, remontages, départs en fermentation...
- 3 saisonniers lors des vendanges, affectés aux travaux de décuvage, d'embouteillage et de manutention,
- 1 coopérateur différent chaque jour qui assiste la réception de la vendange (aide au déversement de la vendange, surveillance visuelle du type de raisin et de son état sanitaire).

VII-1-1-3 - Analyse descriptive des postes étudiés

VII-1-1-3-1 - Sulfitage manuel de la vendange rouge

Le poste étudié est celui de **sulfitage manuel de la vendange arrivant en cuve automatique de fermentation.**

Le SO₂ est sous forme de solutions de **gaz liquéfié** préparées par barbotage de gaz dans l'eau.

- La préparation de cette solution et sa répartition dans des bidons plastiques sont deux opérations à risque qui n'ont pas pu être étudiées.
- Le sulfitage manuel de la vendange :

- la solution de SO₂ est contenue dans des bidons plastiques de 20 litres. Elle est titrée à 8% en général. Elle n'est pas très stable et peut facilement se transformer en acide sulfurique.

- Technique :

L'opérateur chargé du sulfitage manuel est l'ouvrier vinicole qui reçoit la vendange :

1/ Il transporte manuellement les bidons ("bouchon fermé, mais pas tout le temps") jusqu'à la cuve déterminée pour recevoir la vendange, au fur et à mesure de son remplissage et en fonction du tonnage arrivé. Il y a risque d'exposition au SO₂ liquide lors d'éventuelles chutes (aires encombrées, escaliers ...) en cas de précipitation.

2/ Il se rend sur la passerelle supérieure au-dessus des Vinimatic™, pour accéder à la trappe supérieure de la (des) cuve(s) concernée(s).

3/ Il verse le bidon au-dessus de la trappe, le volume versé est fonction du tonnage de vendange nouvellement arrivée, du titrage de la solution et du taux de sulfitage déterminé au départ par l'œnologue. Chaque opération dure 10 à 15 secondes, et l'opérateur est « en apnée ».

4/ Le SO₂ est ensuite homogénéisé dans la vendange par remontage traditionnel, par le salarié placé devant la cuve. Il existe probablement des émanations sulfureuses mais le salarié y est peu exposé. Il retourne ensuite au poste de réception.

- Périodicité : l'opération peut se répéter plus d'une dizaine de fois dans la même journée en cas d'arrivées massives de vendanges

- Prévention :

Protection respiratoire : le sulfiteur ne porte pas de masque à cartouche et il n'y a pas de ventilation spécifique à ce moment-là.

Protection cutanéomuqueuse : il ne porte pas de gant, ni de vêtement de protection, ni de lunette de protection.

- Métrologie : l'évaluation des niveaux d'exposition au SO₂ a eu lieu à trois reprises dans la salle des Vinimatic™.

VII-1-1-3-2 - Remontage par oxygénation des cuves automatiques

Il s'agit d'un type particulier de remontage (cf. page), qui consiste en une oxygénation du moût et du marc rouges.



Vidange d'une cuve automatique en cave A

- **Technique** : l'opérateur utilise une canne d'oxygénation, longue perche en acier inoxydable reliée à un circuit d'air comprimé. Il se met à genoux sur la passerelle supérieure des Vinimatic™, se penche pour ouvrir leur trappe supérieure puis se remet debout pour enfoncer la canne à travers le marc. Toujours debout, il ouvre ensuite le robinet d'air situé à l'extrémité proximale de la canne, repose la canne à terre puis s'éloigne. L'oxygénation dure 6 minutes. Une fois le temps écoulé, l'ouvrier réalise l'opération inverse.

- **Périodicité** : une cuve Vinimatic™ en fermentation est oxygénée deux fois par jour, en plus des remontages automatiques par rotation. Si les 6 cuves Vinimatic™ sont toutes en fermentation, l'opérateur se trouve donc 24 fois en position agenouillée, penchée sur la trappe supérieure.

- **Prévention** : l'opérateur ne porte pas de masque, il n'y a pas de ventilation spécifique pour cette activité. Il est « en apnée ».

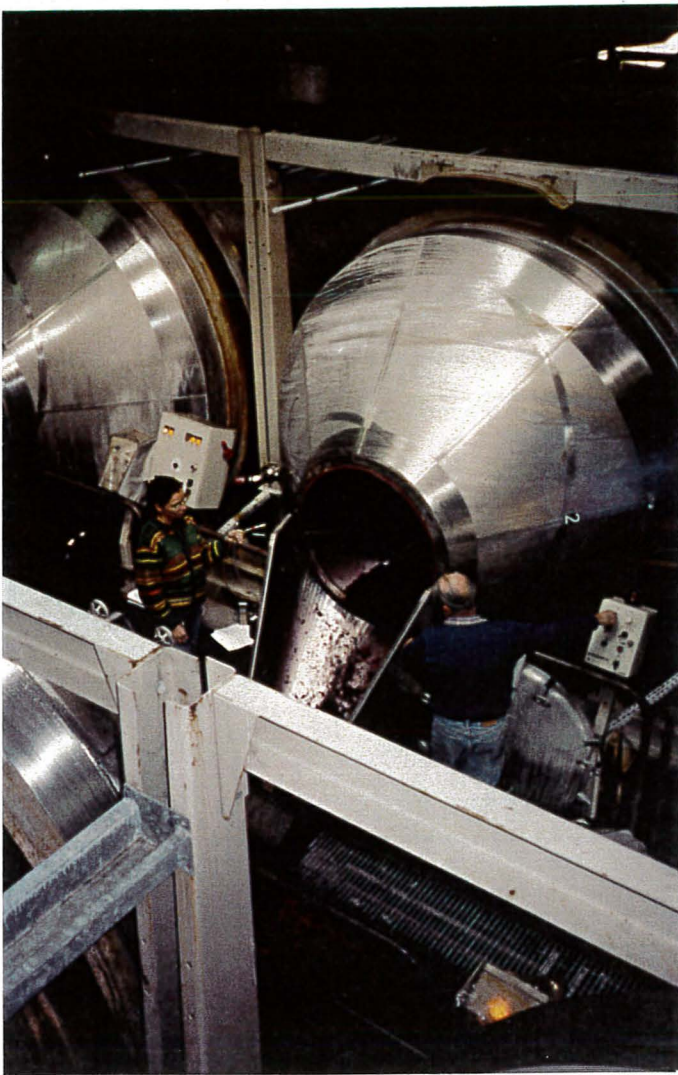
- **Métrologie** : 2 analyses de CO₂ ont été effectuées lors de cette activité.

VII-1-1-3-3 - Vidange des cuves automatiques

Seule la **vidange des cuves automatiques** a été étudiée. La différence notable par rapport à la vidange des cuves en béton est que l'aération du vin se fait dans des récipients plus volumineux, et que le débit des robinets est plus grand.

- **Technique** : la vidange du moût fermenté précède le décuvage des parties solides. Le vin s'écoule par un robinet de gros calibre situé en partie basse de la cuve, dans un grand bac situé dans la fosse. Le jet de moût est dirigé par un cylindre en PVC coupé en deux dans le sens de la longueur. Le moût est immédiatement pompé dans le bac et transféré en cuve de conservation dans le cuvier traditionnel. La vidange dure 1h30 à 2h, il peut y en avoir 3 dans la même journée.

Elle nécessite en permanence la présence d'un ouvrier viticole pour surveiller le flux de vin, et intervenir en cas de besoin. Il est posté dans la fosse à proximité du bac. En cas de mauvais débit de vidange, il remonte sur la passerelle pour mettre la cuve en rotation à l'aide de son boîtier de commande. Puis il redescend dans la fosse pour continuer la surveillance.



Décuvage automatique en cave A



- Prévention :

L'ouvrier vinicole ne porte aucun moyen de protection. Selon le salarié, il va soit rester sur la passerelle, soit rester dans la fosse pour surveiller la vidange. Il n'y a pas de ventilation spécifique pour cette opération. Seules les portes du hangar sont en général grandes ouvertes. Une bouche d'aération naturelle est prévue en prolongement de la fosse des cuves 1, 2, et 3.

- Métrologie : 3 opérations de vidange ont été évaluées.

VII-1-1-3-4 - Décuvage des cuves automatiques

L'opérateur qui le réalise a en général vidangé la cuve auparavant.

- Technique : après leur vidange totale, la trappe des cuves automatiques est ouverte, l'opérateur laisse "s'échapper les gaz" pendant 5 minutes, puis il enclenche la rotation de la cuve afin d'évacuer mécaniquement le marc. Celui-ci sort, dirigé par un guide métallique jusqu'à un tapis à bande situé sous la passerelle. (*photo*)

L'opérateur est posté à 50 cm à peu près de la trappe près du boîtier de commande de rotation sur la passerelle, il est exposé aux gaz de fermentation pendant 40 minutes. Cette opération peut se répéter 3 fois par jour.

- Prévention :

- *Prévention collective* : il n'y a pas de ventilation spécifique lors de cette opération ; la ventilation générale est assurée par la seule ouverture complète des portes du hangar à Vinimatic™, et la bouche naturelle située dans le prolongement d'une des fosses.
- *Prévention individuelle* : l'opérateur ne bénéficie d'aucun équipement individuel de protection (pas de masque à cartouche...).

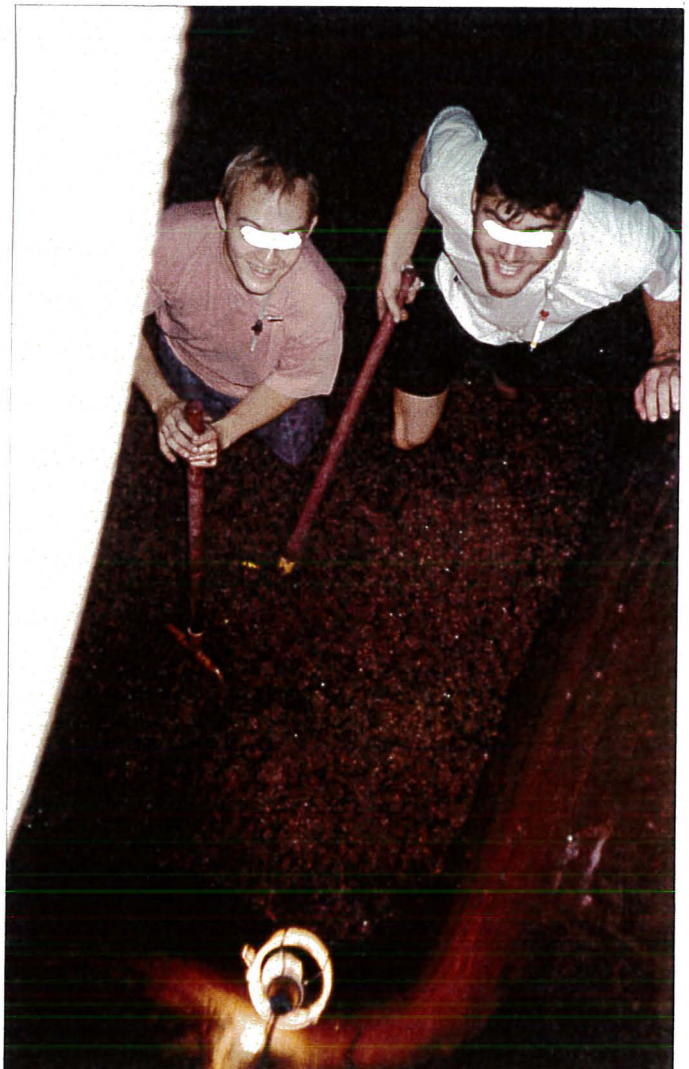
- Métrologie : 2 opérations de décuvage ont été évaluées par des prélèvements atmosphériques d'éthanol et d'acétaldéhyde.

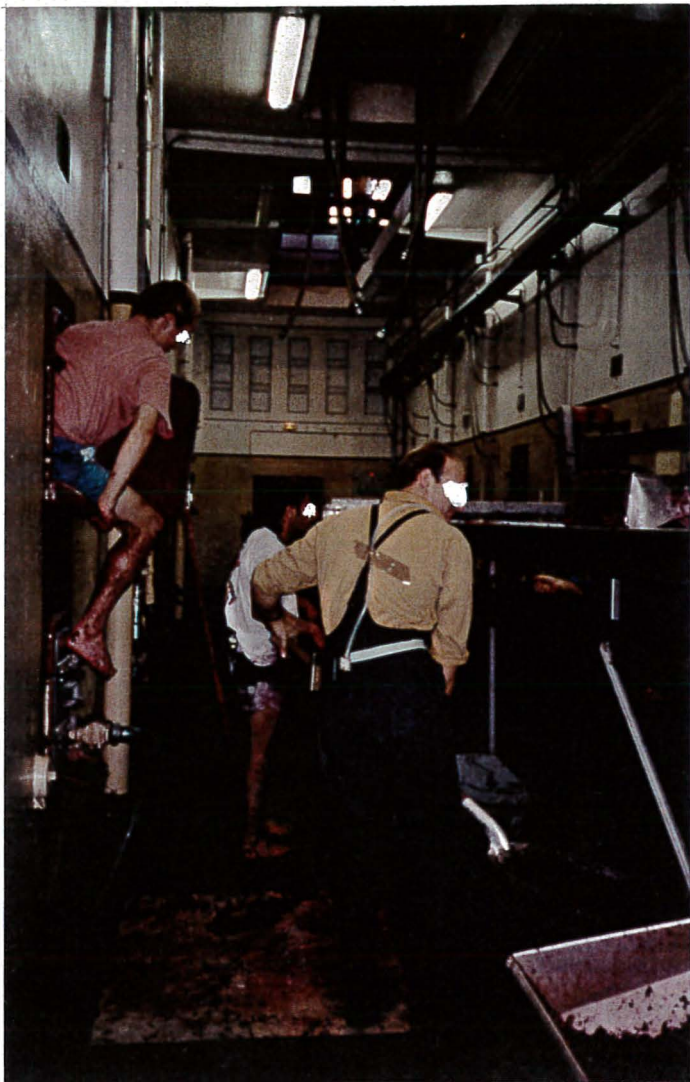
VII-1-1-3-5 - Décuvage traditionnel

Il s'agit d'un type de décuvage traditionnel, utilisé dans toutes les régions viticoles de France. Le décuvage consiste pour plusieurs opérateurs, à extraire manuellement le marc en pénétrant au fond de la cuve.



Entrée des décuveurs
pour le décuveage manuel.
Ils portent les supports de prélèvement





Sortie des décuveurs





Nettoyage de la cuve après décuivage

- Technique :

- après vidange de la cuve traditionnelle, sa trappe inférieure est ouverte,
- une cheminée d'aération est pratiquée à l'aide d'une pelle enfoncée dans le marc jusqu'à atteindre sa surface ;
- un ventilateur hélicoïdal portable est adapté à la trappe supérieure puis mis en marche ½ heure avant le décuvage ;
- deux à trois salariés saisonniers descendent dans la cuve, torses nus et en short (photo), à l'aide d'une échelle fixée à la trappe supérieure ;
- le ventilateur est immédiatement redisposé sur la trappe ;
- ils se frayent un passage dans le marc « pour avoir pied » ; le marc leur arrive au niveau du thorax ;
- ils élargissent la « cheminée » avec des pelles pour pouvoir faire pénétrer par la trappe inférieure de la cuve, le tapis à bande pour l'extraction du marc ;
- ils évacuent le marc en le déposant sur le tapis en marche, à l'aide de pelles et de fourches ;
- au fond de la cuve ils passent à tour de rôle sous le courant d'air, de manière à avoir chacun les mêmes conditions de confort de respiration ;
- dès que la totalité du marc est évacuée, le tapis à bande est retiré, et les ouvriers sortent de la cuve par la trappe inférieure. Un seul reste dans la cuve pour la nettoyer au jet d'eau.

Le décuvage de chaque cuve traditionnelle dure en moyenne 1 heure.

Il leur arrive de réaliser 3 décuvages dans la même journée, espacés par des pauses de plus d'1 heure (casse-croûte, douche).

- Prévention :

- prévention collective :

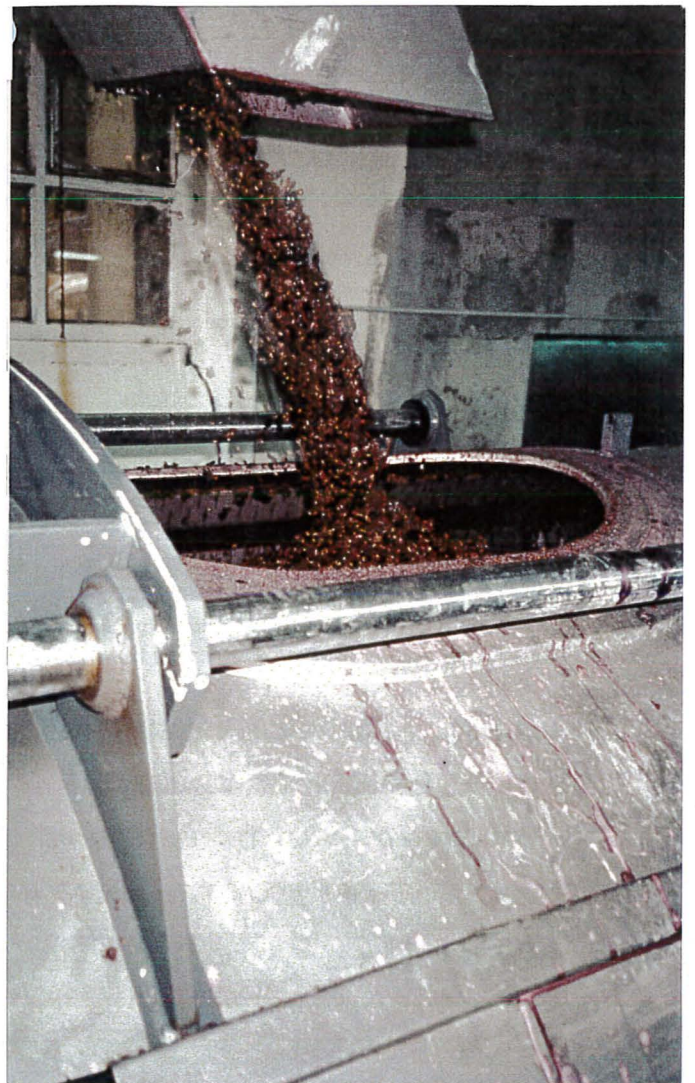
ventilation : pour la cuve, la ventilation spécifique est assurée par le ventilateur hélicoïdal mis en marche ½ heure avant le décuvage puis maintenu pendant toute la durée de l'opération, réalisant un flux d'air de haut en bas sortant par la trappe inférieure. Dans la cuve, la ventilation générale est assurée par le ventilateur mural d'extraction mis en position forte.

Aucun moyen de détection instantanée du CO₂ et de l'O₂ dans les cuves n'est prévu avant la pénétration des décuveurs. Il n'existe pas de masque respiratoire autonome à proximité en prévision d'un éventuel accident. L'évolution des décuveurs au fond de la cuve n'est pas étroitement surveillée par une tierce personne.

- prévention individuelle : les décuveurs ne portent aucun système de protection respiratoire, aucune protection cutanée, et ne sont équipés ni de baudrier ni de corde.



Poste de pressurage en cave A



- **Métrologie** : 5 opérations de décuvage manuel ont été évaluées, dont 4 avec des prélèvements individuels d'éthanol et d'acétaldéhyde.

VII-1-1-3-6 - Poste de pressurage

Il s'agit d'une opération tout aussi importante de la vinification en rouge car un bon pressurage de marc donne un jus fermenté de bonne qualité assemblé ensuite au vin de goutte.

- **Technique** : immédiatement après son évacuation des cuves, le marc est transporté à travers la cave par le tapis à bandes, jusqu'à la salle des pressoirs, et distribué au pressoir concerné par une conduite amovible. De cette conduite, le marc est vidé dans le pressoir, ce qui réalise un jet continu de marc fermenté pendant 1 heure. Un opérateur est posté sur ou devant le pressoir, pour surveiller le marc, et aider le remplissage. Il est à priori exposé aux gaz de fermentation restants, émanant du marc et propagés dans l'atmosphère par l'effet d'agitation du jet.

- **Prévention** : aucun moyen de ventilation spécifique n'est prévu dans la salle des pressoirs, ni équipement individuel particulier.

- **Métrologie** : 1 prélèvement individuel d'éthanol a été effectué, couvrant 8 heures de poste de travail.

VII-1-2 - CAVE B

Fondée en 1939, elle regroupe 340 coopérateurs répartis sur 9 communes, et vinifie ainsi la production de 350 hectares de vigne.

Elle est située à flanc de coteau et orientée est-ouest. Elle produit des vins de Savoie blancs, rouges et rosés. Sa capacité totale est importante, de 45 000 hectolitres de vin, et elle en produit 25 000 annuellement.

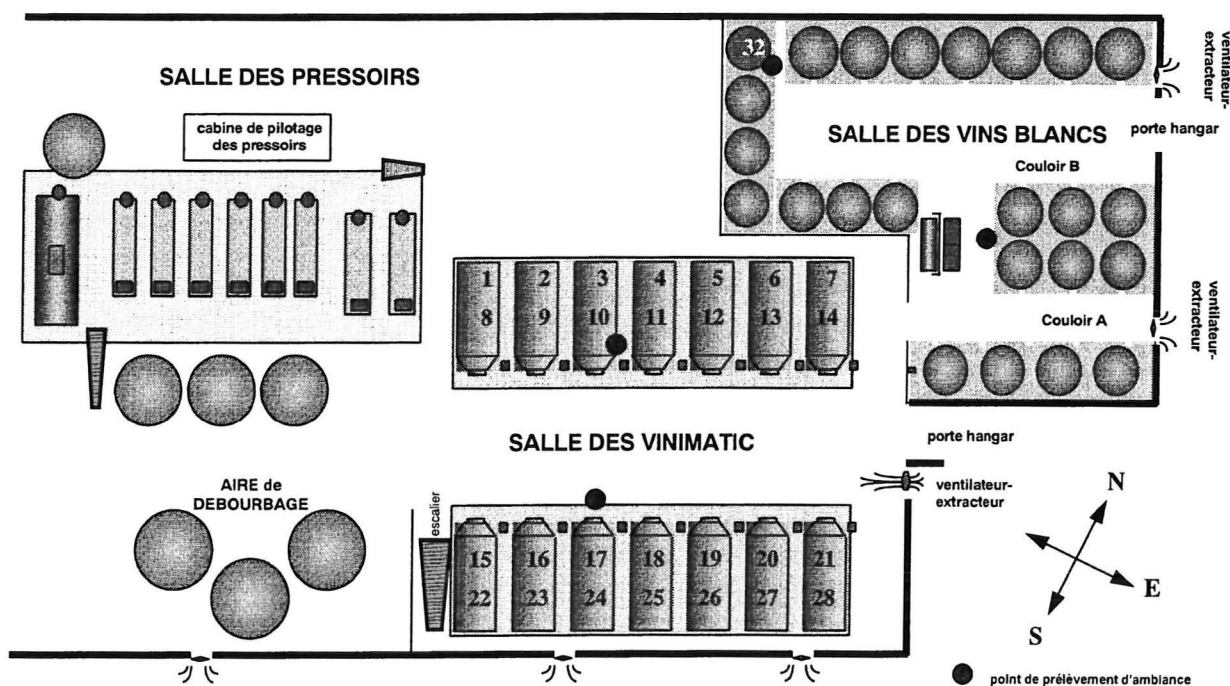
Le choix de la cave B s'est fait en concertation avec le Syndicat des Vins de Savoie, car c'est la cave coopérative la plus importante de la région avec une production très représentative de la production savoyarde. Des mesures atmosphériques de CO₂ y avaient déjà été effectuées lors de vendanges antérieures, révélant des niveaux d'exposition importants.

Chaque type de vin est vinifié dans des cuves différentes :

- cuves horizontales automatiques de type Vinimatic™ pour la vinification en rouge. Dans la cave B, il n'y a donc pas de décuvage manuel avec pénétration humaine dans les cuves.
- cuves verticales en résine pour la vinification en blanc.

Elles servent ensuite au stockage des vins après leur fermentation.

VII-1-2-1 - Les locaux



PLAN GENERAL DE LA CAVE B

Les locaux comportent 2 salles de vinification distinctes, une salle de pressurage, une salle de débourage :

- **La salle des "Vinimatic™"** contient 28 cuves autoremontantes d'une capacité de 350 hectolitres, disposées horizontalement sur deux étages de part et d'autre de la salle, **pour la vinification et le stockage des vins rouges**. La ventilation naturelle est assurée par les portes du hangar et deux ouvertures dans la toiture. La ventilation mécanique l'est par 4 ventilateurs-extracteurs muraux (cf. plan)

- A l'est du bâtiment, **la salle des vins blancs** contient 24 cuves verticales, en résine époxydique, d'une capacité de 260 à 550 hectolitres chacune, **pour la vinification et le stockage des vins blancs**. La ventilation est assurée par les portes du hangar et deux ventilateurs-extracteurs muraux.

- A l'ouest de la salle des Vinimatic™, **la salle de pressurage** comprend une batterie de 8 pressoirs horizontaux mécaniques et 1 pressoir pneumatique commandés depuis une « cabine de pilotage » vitrée. Le niveau de cette salle est surélevé par rapport au niveau de la cave. Il n'y a pas de moyen de ventilation spécifique.

- Entre la salle des pressoirs et la salle des Vinimatic™ se trouve l'aire de débourage, comportant 6 cuves verticales en résine, dont 3 dévolues à la fermentation des jus blancs. Elle communique avec la partie ancienne de la cave (vieille cuverie réservée au stockage du surplus), Des courants d'air y sont fréquents entre cette partie et la salle des Vinimatic™.

VII-1-2-2 - Les salariés

8 salariés travaillent à la cave pendant les vendanges, dont le directeur œnologue. Ils sont aidés quotidiennement pendant cette période par deux coopérateurs qui *doivent* 1 à plusieurs journées à la cave et qui sont affectés à la réception de la vendange (ce sont les administrateurs qui surveillent visuellement son état sanitaire), ainsi qu'au remplissage, au décuvage et au nettoyage des cuves Vinimatic™.



Vidange d'une cuve automatique en cave B

VII-1-2-3 - Analyse descriptive des postes étudiés

VII-1-2-3-1 - Sulfitage manuel

Contrairement à la cave A, elle possède un système automatique de sulfitage de la vendange, intégré aux conquets de réception. Il est doué d'un mécanisme de pompage de la solution depuis une citerne: les doses adjointes le sont sous commande électronique depuis la cabine de réception.

Mais la méthode manuelle de sulfitage est utilisée surtout en vinification en blanc après le pressurage de la vendange, au moment du débouillage, ou après lors du transfert du jus débouillé dans la cuve de fermentation, voire après le filtration des bourbes.

La solution sulfureuse titrée à 10% n'est pas préparée dans la cave mais est achetée dans le commerce prête à l'emploi en bidons de 20 litres.

- Technique :

L'opération est simple, le bidon est débouché et vidé dans un seau gradué selon les teneurs nécessaires. Puis ce seau est versé soit dans un bac de transfert pour débouillage, soit directement dans la cuve de fermentation par le robinet bas. La durée de chaque versement de SO₂ est de 10 à 15 secondes selon la quantité versée.

L'exposition semble donc deux fois plus longue que pour le sulfitage manuel dans la cave A, puisque l'opérateur manipule deux fois la même quantité de solution sulfureuse.

Cette opération peut être répétée plus d'une quinzaine de fois dans la même journée.

- Prévention : l'ouvrier vinicole ne porte ni masque à cartouche, ni gant, ni lunette de sécurité et il n'y a pas de ventilation spécifique lors de cette activité.

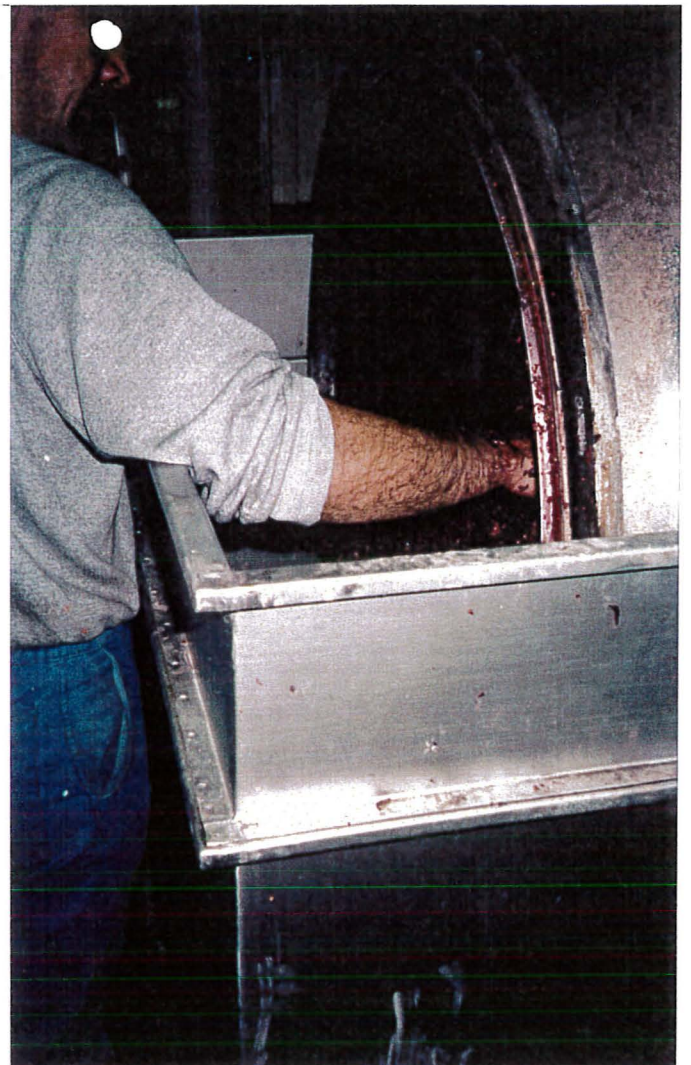
- Métrologie : une mesure des concentrations atmosphériques de SO₂ a été faite lors de 3 opérations de sulfitage, à l'aide de tubes réactifs colorimétriques.

VII-1-2-3-2 - Vidange des cuves automatiques

La différence notable par rapport à la vidange des cuves traditionnelles en béton est qu'elle se fait dans des récipients plus importants en volume pour favoriser l'aération du vin. De plus, le débit du robinet est plus important.



Décuvage automatique en cave B



- Technique :

Le vin s'écoule par un robinet de gros calibre situé en partie basse de la cuve, dans un grand bac métallique situé au sol, de volume plus important que le bac utilisé dans la cave A. Si la cuve vidangée est une cuve de la rangée supérieure, le moût est dirigé dans une conduite en métal qui court le long de la structure métallique qui supporte les cuves, pour s'évacuer dans le bac. Le vin en est pompé et conduit par tuyaux dans une cuve de stockage.

L'opérateur de vidange est posté devant le bac, quasiment penché sur le vin, pour en surveiller le remplissage et intervenir sur la rotation de la cuve en cas de mauvais débit.

- Prévention : aucun moyen de protection n'est utilisé pour cette activité. Aucune ventilation spécifique n'est prévue.

- Métrologie : une détection CO_2/O_2 et des prélèvements atmosphériques d'éthanol et d'acétaldéhyde ont été effectués lors de 3 opérations de vidange.

VII-1-2-3-3 - Décuvage des cuves automatiques

- Technique : le processus de décuvage automatique est identique à celui de la cave A, Le tapis d'évacuation à bandes est situé directement sous la cuve. Un bouclier métallique est interposé entre le marc qui se jette directement sur le tapis, et le salarié qui le guide de son bras (cf. photo). Il a ainsi le visage et les voies respiratoires directement exposés aux gaz de fermentation, et le bras droit en étroit contact avec le marc.

Les durées de décuvage sont plus courtes de 10-20 minutes, car les capacités sont moindres.

L'opérateur peut décuver 6 à 8 Vinimatic™ par jour en période de pleines fermentations.

- Prévention : le salarié ne porte ni protection respiratoire, ni protection cutanée lors de cette opération. Il n'y a pas de ventilation spécifique prévue.

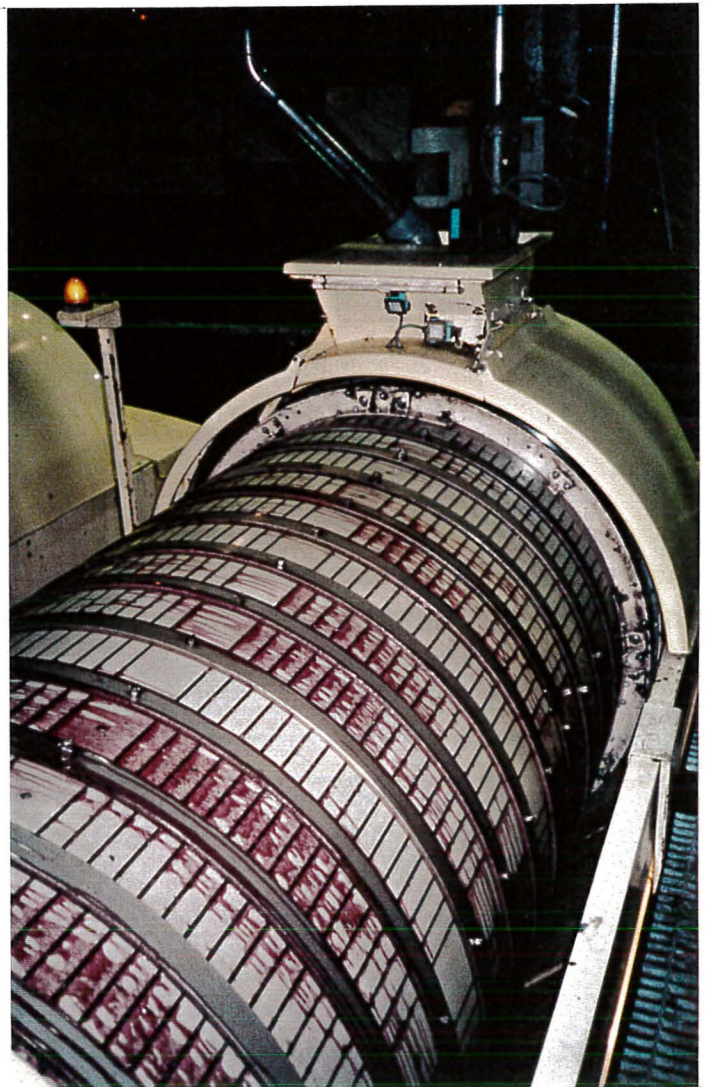
- Métrologie : une détection CO_2/O_2 et des prélèvements atmosphériques d'éthanol et d'acétaldéhyde ont été effectués lors de 5 décuvages.

VII-1-2-3-4 - Poste de pressurage

- Technique : plusieurs pressoirs sont utilisés en même temps suivant le nombre de cuves décuvées dans une journée. Le tapis à bandes circulant sous les cuves est relayé par un



Pressurage en cave B



tapis aérien pénétrant dans la salle des pressoirs. Il se distribue ensuite entre les différents pressoirs.

L'agent des pressoirs navigue entre eux pour surveiller leur fonctionnement et intervenir en cas de « bourrage ». Il est exposé à une ambiance riche en gaz de fermentation pendant leur remplissage et pendant le pressurage.

- **Prévention** : il n'existe aucun système de ventilation spécifique. Le salarié ne porte pas de protection respiratoire.

- **Métrologie** : aucun prélèvement individuel n'a été effectué chez l'agent des pressoirs. Des prélèvements d'ambiance à proximité des sources (éthanol, acétaldéhyde, CO₂, O₂) ont été effectués au moment des arrivées de marcs fermentés.

VII-2 - JOURS ET PLANNINGS D'INTERVENTION

Dans chaque cave, l'intervention s'est déroulée en Automne 1996, pendant les vendanges, après étude des calendriers de rentrées de vendange et contacts réguliers avec les œnologues.

Les dates d'intervention ont été fixées au fur et à mesure de l'évolution des conditions de vendange, en contact direct avec les directeurs des caves. Ils nous renseignaient chaque jour des mois de Septembre et d'Octobre sur l'activité du lendemain, dépendante de la météorologie, du mûrissement des raisins et de l'avancement de la vinification.

- pour la cave A : 27 Septembre, 02, 03, et 16 Octobre 1996.

- pour la cave B : 25 et 26 Septembre, 08, 14, 18, 21, et 28 Octobre 1996.

Les différentes métrologies concernant les gaz de fermentation se répartissent selon les tableaux suivants :

CAVE A

CUVERIE BETON

DATES	PHASES DE PRELEV.	Ethanol	Acétaldéhyde	CO ₂	O ₂
27/09	Ambiance			X	X
2/10	Ambiances <i>Matin</i>	X	X	X	X
	<i>Après-midi</i>	X		X	X
	Décuvage manuel <i>Cuve n°14</i>	X	X	X	X
3/10	Ambiances <i>Matin</i>	X	X	X	X
	<i>Après-midi</i>	X	X	X	X
	Décuvages manuels <i>Cuve n°13</i>	X	X	X	X
	<i>Cuve n°3</i>	X	X	X	
	<i>Cuve n°6</i>	X	X		
16/10	Décuvage manuel				
	<i>Cuve n°7</i>			X	X

SALLE DES VINIMATIC

DATES	PHASES DE PRELEV.	Ethanol	Acétaldéhyde	CO ₂	O ₂
27/09	Ambiance			X	X
2/10	Vidange Vini n°2	X	X	X	X
	Décuvage Vini n°2	X	X	X	X
	Ambiance	X	X		
	Vidange Vini n°4	X	X	X	X
	Décuvage Vini n°4	X	X	X	X
3/10	Ambiance	X	X	X	X
	Vidange Vini n°6			X	X
	Ambiance			X	X

SALLE DES PRESOIRS

DATES	PHASES DE PRELEV.	Ethanol	Acétaldéhyde	CO ₂	O ₂
27/09	Ambiance			X	X
2/10.	Ambiances <i>Matin</i>	X	X	X	X
	<i>Après-midi</i>	X	X	X	X
	Individuel <i>Pressurage</i>	X			
3/10.	Ambiances <i>Matin</i>	X	X	X	X
	<i>Après-midi</i>	X	X		
16/10	Ambiance			X	X

CAVE B

SALLE DES PRESSOIRS

DATE	PHASES DE PRELEV.	Ethanol	Acétaldéhyde	CO ₂	O ₂
8 Oct.	Ambiance			X	X
14 Oc	Ambiance			X	X
21 Oc	Ambiance <i>Matin</i>	X	X	X	X
	<i>Après-midi</i>	X	X	X	
28 Oc	<i>Matin</i>	X		X	
	Ambiance	X		X	
	<i>Après-midi</i>	X			

SALLE DES VINIMATIC

DATE	PHASES DE PRELEV.	Ethanol	Acétaldéhyde	CO ₂	O ₂
8 Oct.	Ambiance <i>Matin</i>	X	X	X	
	<i>Après-midi</i>	X	X	X	X
14 Oc				X	
18 Oc	Ambiance <i>Matin</i>	X	X		
	<i>Après-midi</i>	X	X		
	Source	X	X	X	
21 Oc	Ambiance	X	X	X	X
	Source	X	X	X	X
	Vidange Vini 9	X	X	X	X
	Décuvage Vini 9	X	X	X	X
	Vidange Vini 1	X	X	X	X
	Décuvage Vini 1	X	X		
28 Oc	Ambiance <i>Matin</i>	X		X	X
	<i>Après-midi</i>	X		X	
	Décuvage Vini 12	X	X	X	
	Vidange Vini 13	X	X	X	
	Décuvage Vini 4	X	X	X	X
	Décuvage Vini 13	X	X	X	

SALLE DES VINS BLANCS

DATE	PHASES DE PRELEV.	Ethanol	Acétaldéhyde	CO ₂	O ₂
8 Oct	Ambiance <i>Matin</i>	X	X	X	X
	<i>Après-midi</i>	X	X	X	X
	Cuve 32- j0 <i>Matin</i>	X	X	X	X
	<i>Après-midi</i>	X	X	X	X
14 Oc	Ambiance <i>Matin</i>	X		X	X
	<i>Après-midi</i>	X	X	X	X
	Cuve 32 - j7 <i>Matin</i>	X	X	X	X
18 Oc	<i>Après-midi</i>	X	X	X	X
	Ambiance <i>Matin</i>	X	X		
	<i>Après-midi</i>	X	X		
	Cuve 32 - J10 <i>Matin</i>	X	X		
	<i>Après-midi</i>	X	X		
21 Oc	Cuve 32 - J13	X	X	X	X
28 Oc	Ambiance <i>Matin</i>	X	X	X	X
	<i>Après-midi</i>	X		X	X
	Cuve 32 - J20	X	X	X	X

Ces plannings sont très différents de ceux que nous avons établis avant l'étude après les visites préalables des locaux, du fait du caractère imprévisible de la vinification, et des décisions œnologiques prises au jour le jour.

VII-3 - CONDITIONS D'INTERVENTION

Elles sont résumées dans les tableaux n° 3 et n°4.

Sur les 9 jours d'intervention, les conditions météorologiques ont été relativement homogènes avec 1 seul jour de pluie, et aucune journée ventée.

DATE	Météo	Vent	Activités de la cave	Nb de cuves en F.A. ⁷
27.09	couvert	0	début de la campagne très peu d'activité	<ul style="list-style-type: none"> • 1 cuve béton (blanc) en début F.A. • 4 cuves remplies de vendange rouge : 1er jour de F.A. • 6/6 Vinimatic™ remplies: 1 en début de F.A.
2.10	beau	0	<ul style="list-style-type: none"> • 2 vidanges et 2 décuvages de Vinimatic™ • 1 décuvage traditionnel 	<ul style="list-style-type: none"> • 18 cuves béton en F.A. • 4 Vinimatic™ en F.A.
3.10	beau	0	<ul style="list-style-type: none"> • 1 vidange de Vinimatic™ • 3 décuvages traditionnels 	<ul style="list-style-type: none"> • 13 cuves béton en F.A. • 2 Vinimatic™ en F.A.
16.10	couvert - pluie	0	<ul style="list-style-type: none"> • 1 décuvage traditionnel 	<ul style="list-style-type: none"> • 1 Vinimatic™ plein, en début F.A.

Tableau n° 3 : conditions météorologiques et intensité d'activité pour la cave A

DATE	Météo	Vent	Activités de la cave	Nb de cuves en F.A.
8.10	beau	0	essais de remontages traditionnels sur Vinimatic™	<ul style="list-style-type: none"> • 20 Vinimatic /28 en F.A. • 12/24 cuves de blanc en F.A.
14.10	beau	0		<ul style="list-style-type: none"> • 3 Vinimatic /28 en F.A. • 12/24 cuves de blanc en F.A.
18.10	beau	0		<ul style="list-style-type: none"> • 4 Vinimatic /28 en F.A. • 19/24 cuves de blanc en F.A.
21.10	couvert	0	<ul style="list-style-type: none"> • 2 vidanges et 2 décuvages de Vinimatic™ 	<ul style="list-style-type: none"> • 3 Vinimatic /28 en F.A. • 12/24 cuves de blanc en F.A.
28.10	beau	0	<ul style="list-style-type: none"> • 3 vidanges et 3 décuvages de Vinimatic™ 	<ul style="list-style-type: none"> • 3 Vinimatic /28 en F.A. • 24/24 cuves de blanc en F.A.

Tableau n° 4 : conditions météorologiques et intensité d'activité pour la cave B

⁷ F.A. : fermentation alcoolique

VII-4 - LES NIVEAUX D'EXPOSITION ATMOSPHERIQUE

VII-4-1 - NIVEAUX ATMOSPHERIQUES PENDANT LES OPERATIONS A RISQUES

Problème lors de l'analyse des tubes de silicagel pour l'absorption de l'éthanol.

Les résultats des prélèvements atmosphériques d'éthanol de la cave A ainsi que ceux réalisés le 08 Octobre dans la cave B, ont été éliminés, du fait d'un problème technique que nous avons rencontré au moment de l'analyse.

En effet, la quantité d'alcool retrouvée sur la phase « validation » de chaque tube de prélèvement représentait 50 à 100% de la quantité retrouvée sur la phase « essai », alors qu'elle doit être normalement inférieure à 5%.

De ce fait, la méthodologie des prélèvements atmosphériques d'éthanol a été modifiée dans la suite de l'étude : diminution du débit d'aspiration d'air (de 140 à 50 ml/mn) et diminution de la durée de prélèvement. Les analyses d'éthanol ont alors pu être correctement conduites.

VII-4-1-1 - Sulfitage des vendanges

Nous comparerons les résultats à la VLE car il s'agit de pics importants d'expositions qui, bien qu'ils durent quelques secondes, sont répétés parfois plus de 10 fois par jour.

SULFITAGE DE LA VENDANGE ROUGE (cave A) :

- L'opérateur verse du SO₂ en solution par la trappe supérieure d'une cuve Vinimatic™ pendant 10 à 15 secondes, cette activité très courte peut être répétée plus d'une dizaine de fois par jour selon le volume d'arrivée des vendanges. Nous avons diminué par deux le nombre de coups de pompe Dräger prévu car le temps nécessaire pour 10 coups était trop important par rapport à l'exposition évaluée, nous éloignant du pic d'exposition.

Date	Heure	Lieu	SO ₂ (ppm)
23 Sept. 96	17:00	Vinimatic 2	25
24 Sept. 96	14:50	Vinimatic 3	0,5
24 Sept. 96	16:00	Vinimatic 3	15

- V.M.E. : 2 ppm
- V.L.E. : 5 ppm

SULFITAGE DE LA VENDANGE BLANCHE (cave B) :

25.09 : l'opérateur verse un seau de SO₂ à 10%, dans le bac de chaptalisation du moût blanc.

26.09 et 28.10 : du SO₂ en solution est versé dans une cuve de blanc par son robinet inférieur.

Date	Heure	Lieu	SO ₂ (ppm)
25 Sept. 96	15:10	aire débouillage	20
26 Sept. 96	11:30	devant cuve blanc n°36	> 30
28 Oct. 96	8:30	idem	12

- V.M.E. : 2 ppm
- V.L.E. : 5 ppm

Les concentrations de SO₂ sont variables et dépassent la V.L.E. dans presque toutes ces opérations.

VII-4-1-2 - Remontage par oxygénation pendant la fermentation

- Il se pratique seulement dans la cave A, pour les cuves automatiques.
- L'opérateur introduit une canne d'oxygénation dans la cuve par la trappe supérieure. Il s'agenouille ou se baisse pour ouvrir la trappe et la fermer. L'introduction et la sortie de la canne se pratiquent en position debout.
- L'opération d'oxygénation est réalisée 2 fois par jour pour chaque Vinimatic™ pendant le temps de sa fermentation, et dure 6 minutes. L'exposition de l'opérateur ne dure que quelques secondes.

Nous comparerons les taux atmosphériques de CO₂ à la STEL américaine (valeur limite pour une courte durée) car il s'agit là aussi de pics importants d'exposition, qui, bien que durant quelques secondes, sont répétés parfois plus de 10 fois dans une même journée.

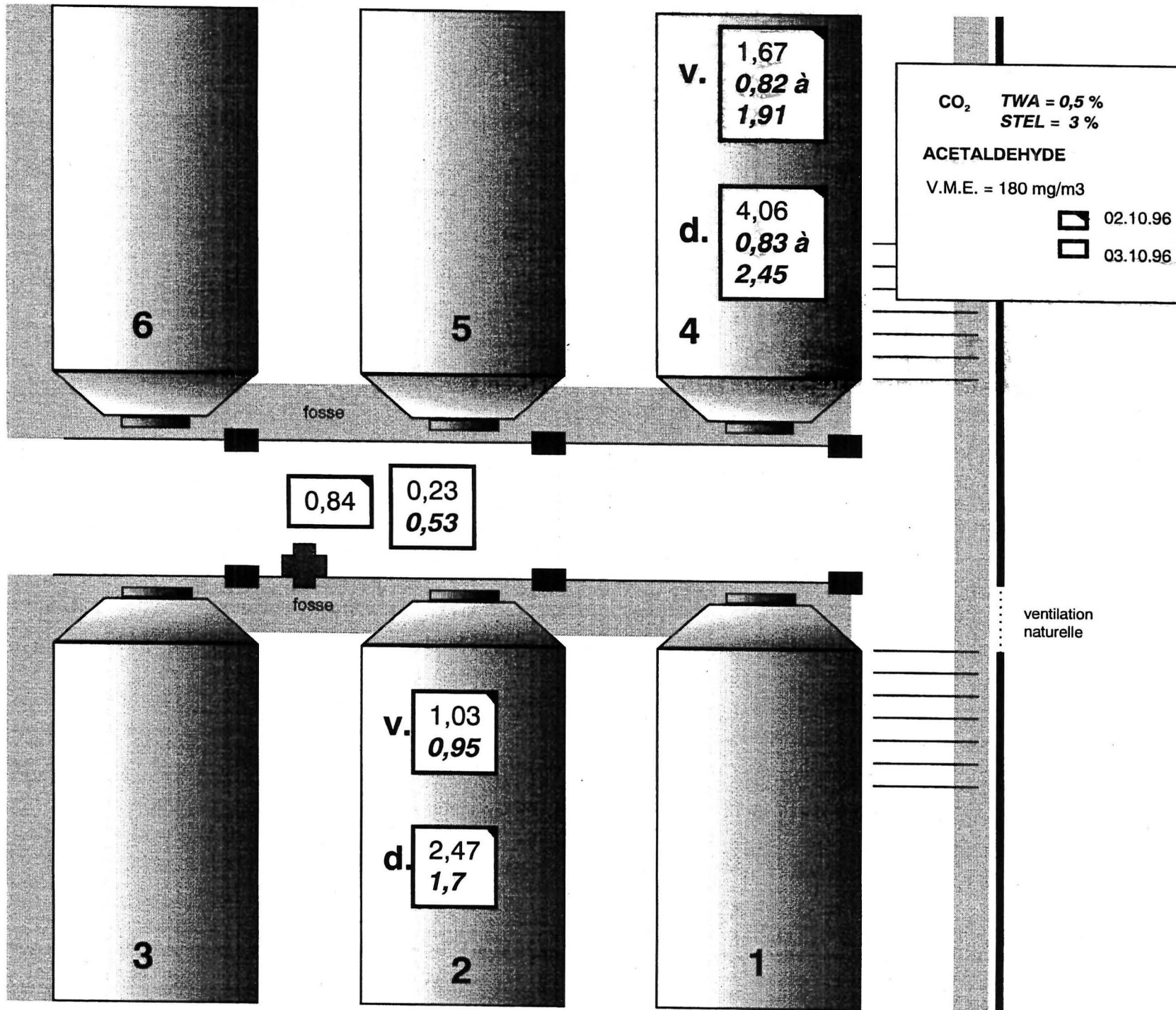
Mesures de CO₂/O₂ par analyseurs en continu

Date	Heure	Lieu	Niveau de fermentation	conditions de ventilation	CO ₂ %	O ₂ %
02 Oct. 96	10:10	trappe supérieure Vini 6	dernier jour	hangar ouvert	3,6	20,3
	10:20	trappe supérieure Vini 5	dernier jour	hangar ouvert	3,5	20,3
					TWA = 0,5% STEL = 3%	seuil limite 17%

L'exposition au CO₂ pendant cette opération est très importante pour le salarié quand il s'agenouille pour ouvrir et fermer la trappe, et les taux dépassent toujours la STEL

Les taux en O₂ restent par contre toujours supérieures à 20%.

**SALLE
DES
VINIMATIC
CAVE A**



cour

VII-4-1-3 - Vidange des cuves automatiques

Seule la **vidange des cuves automatiques** a été étudiée.

Elle nécessite en permanence la présence d'un ouvrier vinicole à proximité du bac de vidange pour surveiller le flux de vin, et intervenir en cas de besoin (mauvais débit, pompage inefficace...).

Cave A

- L'opérateur est posté dans la fosse, à 1 mètre au maximum du bac de vidange
- Il remonte sur la passerelle pour actionner la rotation de la cuve si le débit de vin est insuffisant
- La vidange dure 1h30 à 2 heures, et est répétée 3 fois par jour au maximum
- Les prélèvements sont réalisés dans les fosses, les supports sont fixés à 1 mètre du bac de vidange, à 1m50 du sol.

Date	Heure	Cuve	Conditions de ventilation	Nb cuves en F.A.	ACETALDEHYDE mg/m ³	CO ₂ %	O ₂ %
2/10/96	8:18 à 10:17	Vini 2	hangar ouvert	4 sur 6	1,03	0,95	20,7
2/10/96	14:07 à 15:43	Vini 4	hangar ouvert	4 sur 6	1,67	0,8 à 1,91	20,4
<i>V.M.E. = 180</i>						<i>TWA = 0,5%</i>	<i>> 17%</i>
						<i>STEL = 3%</i>	

**Dans la cave A, les concentrations en acétaldéhyde
sont inférieures aux V.L.E.P.**

Les taux de CO₂ sont toujours supérieurs à la TWA américaine.

**Les niveaux d'exposition atmosphérique sont supérieurs pendant
la vidange de la Vinimatic™ n°4, quelque soit le toxique analysé,
et les taux d'O₂ sont plus bas.**

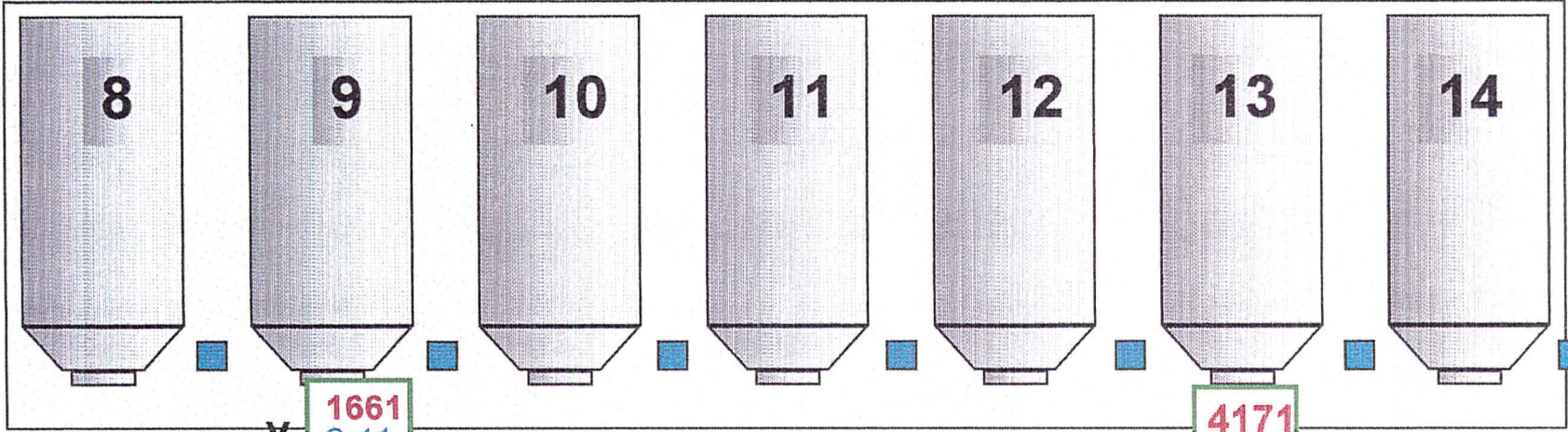
21.10 MATIN

28.10 MATIN APRES-MIDI

CAVE B VINIMATIC DU BAS

v. : vidange
d. : décuvage

0000	éthanol
0,00	aldéhyde
0,00	CO2



v. **1661**
2,41
0,6 à
0,73

d. **7528**
6,59
1,06

d. **7543**
4.64
2 à
2.6

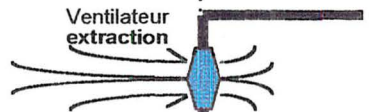
v. **4171**
2,20
1.13

d. **5202**
5,16
1,41

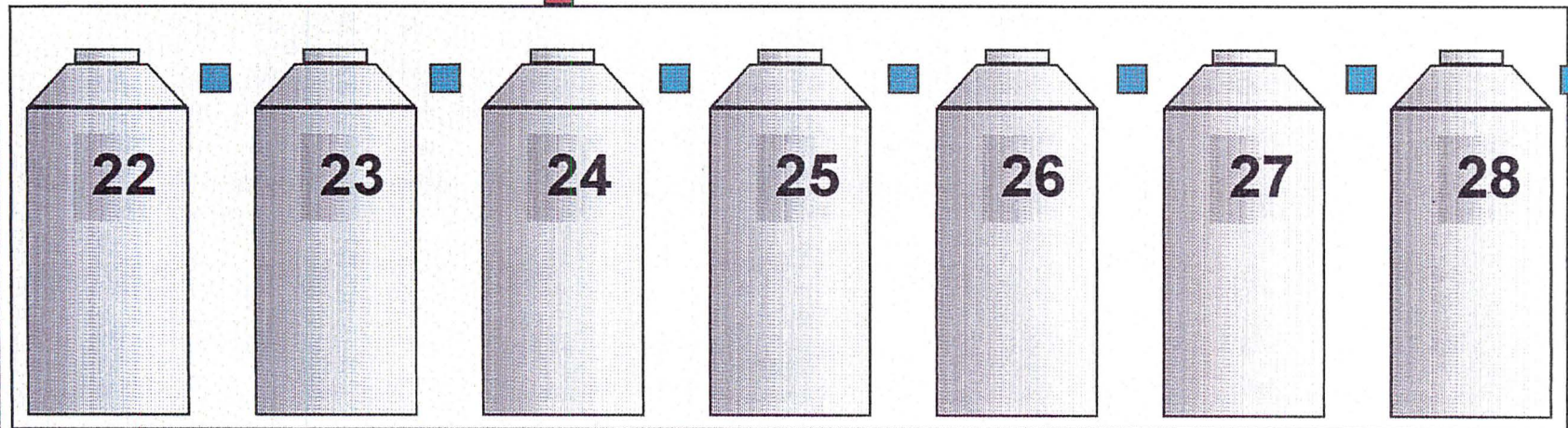
← vers salle des pressoirs et vieille cuverie

Aire de circulation

porte hangar



escalier



Cave B

- le bac de vidange est placé au sol :
 - soit sous les Vinimatic™ du bas pour leur vidange
 - soit devant la passerelle dans l'aire de circulation pour la vidange des cuves du haut, le vin descendant dans des canalisations prévues à cet effet
- l'opérateur surveille le débit de la vidange et l'efficacité du pompage
- il est posté contre le bac et *penché* sur le vin,
- l'opération dure 45 minutes à 1h 10, et peut être répétée 5 fois par jour
- les supports de prélèvement sont fixés sur la passerelle, à moins de 30 cm du bac, à 1m50 du sol.

Date	Heure	Cuve	Conditions	ETHANOL mg/m ³	ACETALDEHYDE mg/m ³	CO ₂ %	O ₂ %
21/10/96	9:55 à 10:41	Vini 9	hangar ouvert 3 cuves sur 28 sont en F.A.	1661	2,41	0,60 à 0,73	20,4
21/10/96	13:55 à 15:05	Vini 1	hangar ouvert 3 cuves sur 28 sont en F.A.	690	1,00	0,87	20,3
28/10/96	10:37 à 11:23	Vini 13	hangar fermé 4 cuves sur 28 sont en F.A.	4171	2,20	1,13	20,4
				V.M.E. = 1900 V.L.E. = 9500	V.M.E. = 180	TWA = 0,5% STEL = 3%	> 17%

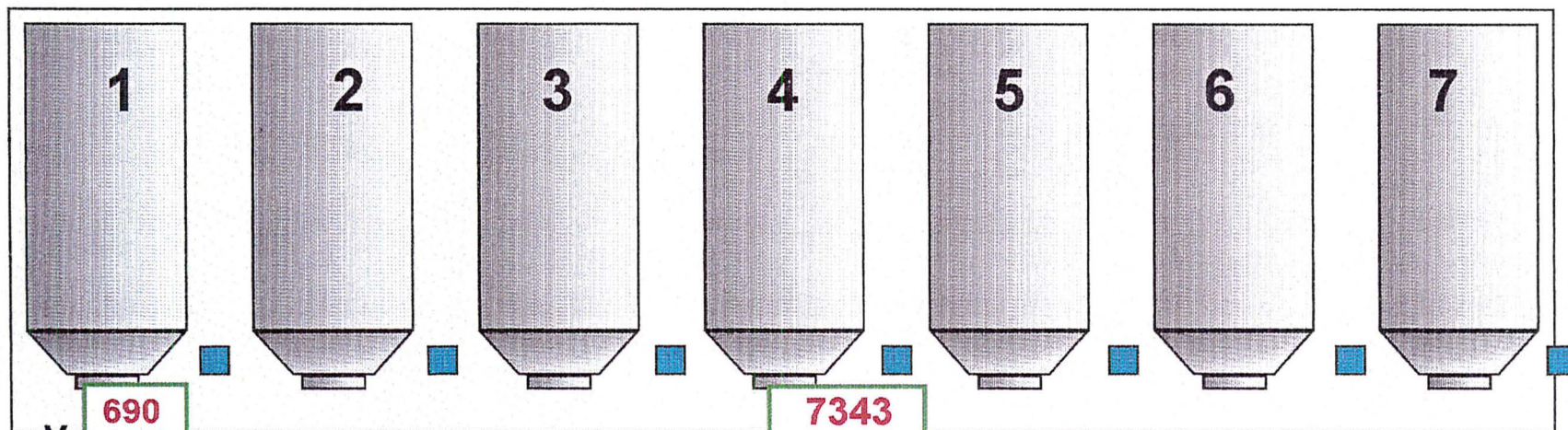
Dans la cave B, les concentrations en éthanol sont supérieures à 70% de la V.M.E. à 2 reprises, et les taux de CO₂ sont toujours supérieurs à la TWA. Les taux d'O₂ restent toujours supérieurs à 20%.

Il existe une différence notable entre les Vinimatic™ 1 et 9 étudiées dans les mêmes conditions de ventilation (hangar ouvert) et des concentrations encore plus élevées pour la vidange de la Vinimatic™ 13, mais ce jour les portes du hangar étaient fermées.

cave B VINIMATIC DU HAUT

v. : vidange
d. : décuvage

0000	éthanol
0,00	aldéhyde
0,00	CO2

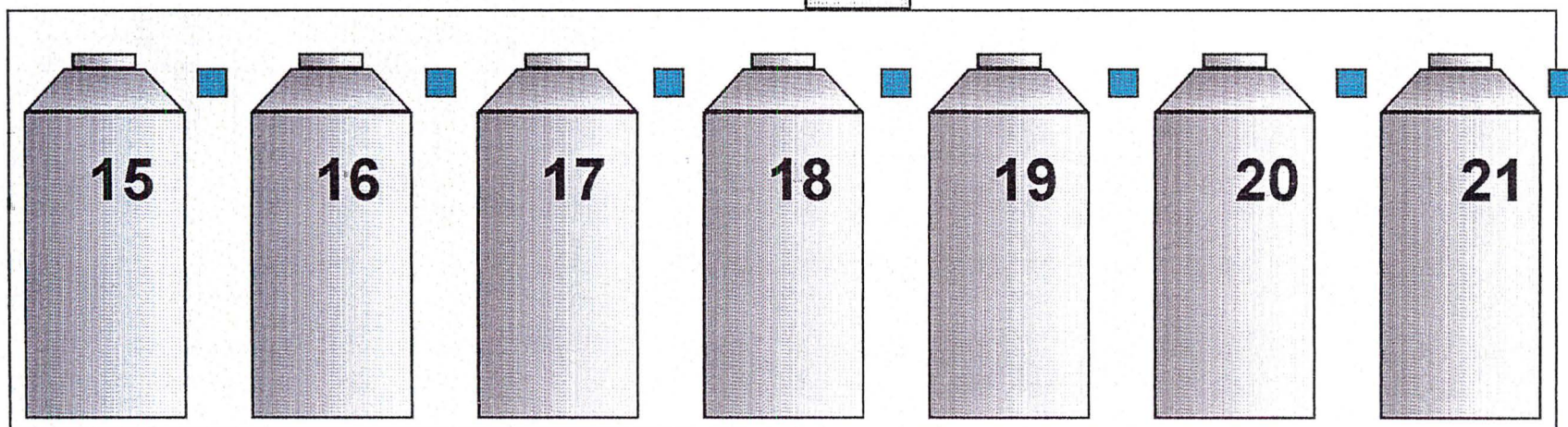


v. **690**
1,00
0,87

d. **7343**
7.65
2.87 à
4.37

d. **4747**
4.53

passerelle



15

16

17

18

19

20

21

VII-4-1-4 - Décuvages automatique et traditionnel

VII-4-1-4-1 - Décuvage automatique

Cave A

- le salarié est posté sur la passerelle à **50 cm** de la trappe et surveille le décuvage,
- il aide la sortie du marc en jouant sur la rotation de la cuve
- l'opération dure 30 à 40 minutes, et peut être répétée 3 fois par jour

DATE	Heure	Cuve	Conditions	ACETALDEHYDE mg/m ³	CO ₂ %	O ₂ %
2/10/96	10:35 à 11:18	Vini 2	hangar ouvert 4 cuves sur 6 sont en F.A.	2,47	1,7	20
	15:49 à 16:27	Vini 4	hangar ouvert 4 cuves sur 6 sont en F.A.	4,06	0,83 à 2,45	19,9
3/10/96	14:48 à 15:11	Vini 6	hangar ouvert 2 cuves sur 6 sont en F.A.	/	0,71 à 1,91	20,3
					V.M.E. = 180	TWA = 0,5% STEL = 3%

Cave B

- le salarié surveille le décuvage : il est posté sur la passerelle **en regard** de la trappe de la cuve : il aide du bras droit la sortie du marc
- l'opération dure 30 à 40 minutes, et peut être répétée 5 fois par jour

DATE	Heure	Cuve	Conditions	ETHANOL mg/m ³	ACETALDEHYDE mg/m ³	CO ₂ %	O ₂ %
21/10/96	11:21 à 12:01	Vini 9	hangar ouvert 3 cuves / 28 sont en F.A.	7528	6,59	1.06	20.1
	15:33 à 16:14	Vini 1	hangar ouvert 3 cuves / 28 sont en F.A.	4747	4,53		
28/10/96	9:29 à 10:03	Vini 12	hangar ouvert 4 cuves / 28 sont en F.A.	7543	4,64	2 à 2.6	20.1
	11:14 à 11:52	Vini 4	hangar ouvert 4 cuves / 28 sont en F.A.	7343	7,65	2.87 à 4.37	
	15:25 à 16:05	Vini 13	hangar fermé 4 cuves / 28 sont en F.A.	5202	5,16	1.41	
					V.M.E. = 1900 V.L.E. = 9500	V.M.E. = 180	TWA = 0,5% STEL = 3%

Le décuvage automatique nécessite la présence d'un salarié, qui est exposé à des niveaux très importants de CO₂ et d'éthanol dans les cas où il est à proximité immédiate de la trappe.

Ces niveaux sont toujours supérieurs aux valeurs VME et TWA.

Les niveaux d'acétaldéhyde peuvent atteindre , en cave B, 17% de la valeur plafond recommandée par l'ACGIH sur de courtes durées.



Mesures de CO₂

Appareil Multiwarn de Draeger
relié à la sonde plongée dans la cuve
pendant le décuvage manuel.

Ventilateur hélicoïdal adapté à la trappe supérieure de la cuve

VII-4-1-4-2 - Décuvage traditionnel

Des prélèvements portatifs ont été réalisés : 1 décuveur porte le support pour piéger l'éthanol, 1 autre le support pour l'acétaldéhyde.

La détection du CO₂ se fait à l'aide du Multiwarn de Dräger resté au sommet de la cuve : il est relié à une sonde plongée dans la cuve. Elle est descendue par les salariés au fur et à mesure de leur progression, à hauteur de leurs voies respiratoires. L'appareil de détection d'O₂ ne possède malheureusement pas de sonde à distance et la seule façon d'approcher l'atmosphère de la cuve sans détériorer l'appareil est d'introduire l'appareil à bout de bras (50 cm) par la trappe inférieure.

Les cuves n°14, 13, 3 et 6 sont décuées au maximum de l'intensité de fermentation. La n°7 l'est 2 jours après l'arrêt de sa fermentation : pour une raison d'ordre œnologique, vin et marc sont restés en macération.

DATE	Heure	Cuve	Intensité de fermentation	Conditions de ventilation	ACETALDEHYDE mg/m ³	CO ₂ %	O ₂ %
2/10/96	08:08 à 08:54	14	maximale	ventilateur hélicoïdal	5,54	2,5 à 4,5	18,6
3/10/96	08:03 à 09:15	13	maximale	idem	1,91	1,6 à 2,9	18,2
	10:44 à 12:37	3	maximale	idem	2,24	0,7 à 2,4	
	14:45 à 15:46	6	maximale	idem	2,22		
16/10/96	08:00 à 08:30	7	terminée depuis 48h	pas de ventilateur	/	0,6 à 1	20,3
V.M.E. = 180						TWA = 0,5% STEL = 3%	> 17%

**Les concentrations en acétaldéhyde restent
très inférieures aux VLEP.**

**Par contre, les taux de CO₂ sont très importants, approchant
souvent la STEL et la dépassant parfois, les taux d'O₂ sont
inférieurs à 19% et approchent les 18%.**

**Pour la cuve n°7, décuée 2 jours après l'arrêt de fermentation, les
taux de CO₂ sont plus bas, équivalents à la TWA,
le taux d'O₂ est normal.**

VII-4-1-5 - Pressurages

VII-4-1-5-1 - Ambiance à proximité des pressoirs en remplissage en cave B

Pour des raisons pratiques de matériel, des prélèvements atmosphériques d'éthanol et acétaldéhyde n'ont pu être réalisés en ambiance générale de la salle sur 8 heures. Mais nous avons décidé de les réaliser, au moment de chaque décuvage, à proximité immédiate du pressoir recevant le marc décuvé. En effet, l'agent des pressoirs se tient dans l'aire de pressurage et plus particulièrement à côté de chaque pressoir concerné pendant le remplissage, pour surveiller et intervenir en cas de "bourrage" (photo). Ces prélèvements ont été effectués à 5 reprises.

Les supports sont placés :

le **21 Octobre** : sur le second pressoir mécanique, à 1m50 du sol

le **28 Octobre** : sur le dernier pressoir mécanique à côté du pneumatique

DATE	Heure	Activités en cours	Nb cuves en F.A.	ETHANOL mg/m ³	ACETALDEHYDE mg/m ³	CO ₂ %	O ₂ %
8/10/96	11:15	arrivée jus blanc	20 sur 28	/	/	0,84	20,7
14/10/96	9:15	idem	3 sur 28	/	/	0,41	20,5
21/10/96	11:30 à 13:36	arrivée marc 9	3 sur 28		3,29	0,56	20,3
21/10/96	15:34 à 16:30	arrivée marc 1	idem	1047	4,54	0,66	/
28/10/96	9:33 à 10:40	arrivée marc 12	4 sur 28	685	/	0,64	/
28/10/96	11:37 à 13:41	arrivée marc 4	idem	770	/	/	/
28/10/96	15:30 à 16:16	arrivée marc 13	idem	1945	/	/	/
				V.M.E. = 1900 V.L.E. = 9500	V.M.E. = 180	TWA = 0,5% STEL = 3%	> 17%

**Les concentrations atmosphériques d'éthanol
sont élevées pendant l'arrivée du marc et peuvent atteindre la VME.**

Les taux de CO₂ sont supérieurs à la TWA.

VII-4-2 - CONCENTRATIONS ATMOSPHERIQUES A PROXIMITE DES SOURCES DE GAZ DE FERMENTATION

Nous avons « suivi » la pollution spécifique d'une cuve de blanc et d'une cuve de rouge de la cave B, pendant leur fermentation.

CUVE DE BLANC n°32

Les supports de prélèvement sont fixés sur un pied télescopique, à 1m50 du sol et à 50 cm de la bouche d'évacuation des gaz de fermentation

DATE	Heure	Conditions pendant les prélèvements	ETHANOL mg/m ³	ACETALDEHYDE mg/m ³	CO ₂ %	O ₂ %
8/10/96	8:17 à 12:18	J0 de fermentation de la cuve 12 cuves de blanc sur 24 en fermentation hangar fermé, ventilateurs à l'arrêt		0,58	1,38	20,5
	12:18 à 16:04	idem + hangar ouvert		0,43	0,8	20,7
14/10/96	8:34 à 9:34	J7 de fermentation de la cuve 12 cuves de blanc sur 24 sont en fermentation hangar ouvert, ventilateurs fermés	72		1,16 à 1,42	20,4
	13:58 à 15:14	idem	54	0,83	1,63	20,6
18/10/96	8:34 à 9:44	J10 de fermentation de la cuve 19 cuves de blanc sur 24 sont en fermentation hangar ouvert, ventilateurs fermés	39	0,85	0,49	20,4
	9:49 à 10:50		33	0,35		
21/10/96	8:17 à 9:28	J13 de fermentation de la cuve 12 cuves de blanc sur 24 sont en fermentation hangar ouvert	60		0,77	
28/10/96	8:38 à 9:42	J20 de fermentation de la cuve 24 cuves de blanc sur 24 sont en fermentation hangar fermé, les ventilateurs marchent	318	2,40	2,18	20,2
			V.M.E. = 1900 V.L.E. = 9500	V.M.E. = 180	TWA = 0,5% STEL = 3%	> 17%

VINIMATIC™ n°10

Les supports de prélèvement sont fixés à un montant métallique à 50 cm de la soupape d'évacuation des gaz de fermentation de la cuve n°10

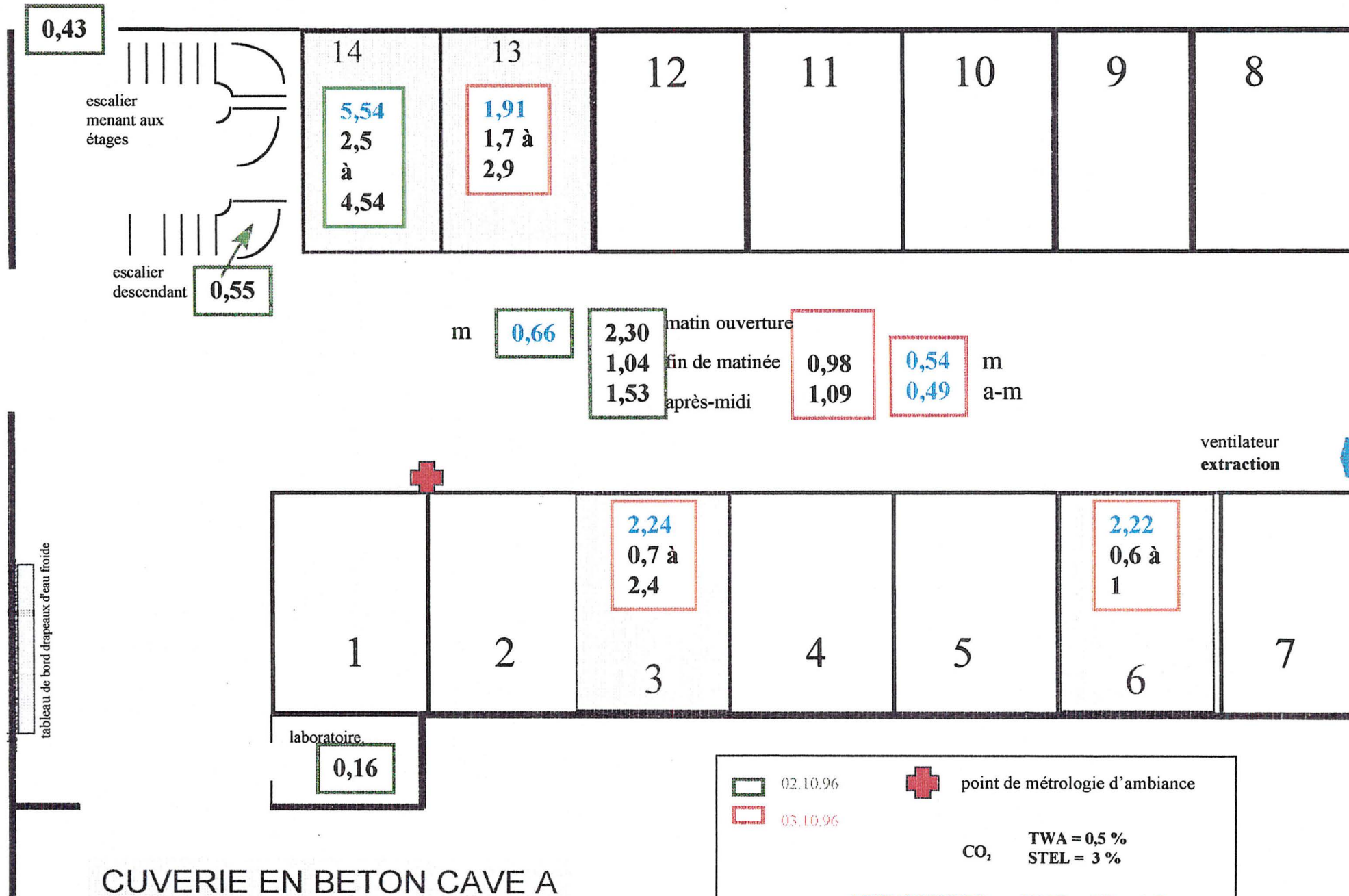
DATE	Heure	Conditions pendant les prélèvements	ETHANOL mg/m ³	ACÉTALDEHYDE mg/m ³	CO ₂ %	O ₂ %
18/10/96	14:37 à 15:41	J1 de fermentation de la cuve n°10	91	/		
	15:49 à 16:50		113	0,84	1,36	
21/10/96	8:30 à 9:43	J4 de fermentation de la cuve n°10 Cuve n°9 voisine = en fermentation maximale	399	1,19	0,5 à 1,8	
		dès 9:50 : vidange de la n°9 -----	-----	-----	-----> 2,56	
			V.M.E. = 1900 V.L.E. = 9500	V.M.E. = 180	TWA = 0,5% STEL = 3%	> 17%

Les niveaux d'exposition augmentent avec l'intensité de la fermentation et varient en fonction des conditions de ventilation.

Les concentrations d'éthanol restent inférieures à la VME.

Les concentrations en acétaldéhyde sont très faibles.

**Les taux de CO₂ sont toujours supérieurs à la TWA,
le plus souvent supérieurs à 1%,
et peuvent dépasser 2%.**



VII-4-3 - CONCENTRATIONS ATMOSPHERIQUES EN AMBIANCE

Pendant les journées où les cuves en fermentation alcoolique étaient les plus nombreuses, des prélèvements de 4 heures ont été réalisés pour l'alcool et l'acétaldéhyde, accompagnés de détections instantanées de CO₂/O₂ répétées sur la journée. Celles-ci ont de plus été effectuées dans tous les locaux des caves, répétées sur les 8 heures de travail, dans le but de « déterminer le comportement du CO₂ » et diagnostiquer les « pièges » à CO₂.

VII-4-3-1 - Cave A

- SALLE DES VINIMATIC

Les supports de prélèvement sont fixés sur la passerelle entre les Vinimatic™ n°2 et 3.

DATE	Heure	Activités en cours	Nb cuves en F.A.	ACETALDEHYDE mg/m ³	CO2 %	O2 %
2/10/96	12:11 à 14:10	2 vidanges 2 décuvages	4 sur 6	0,84		
3/10/96	08:22 à 16:00	1 vidange	2 sur 6	0,23	0,53	20,4
				V.M.E. = 180	TWA = 0,5% STEL = 3%	> 17%

- CUVERIE BETON rez-de-chaussée

Les supports de prélèvement sont fixés à 1m50 du sol sur le mur entre les cuves n°1 et n°2.

DATE	Heure	Activités en cours	Nb cuves en F.A.	ACETALDEHYDE mg/m ³	CO2 %	O2 %
27/10/96			1 sur 30 (blanc)	/	0,1 à 0,24	20,7
2/10/96	7:55 à 11:53	1 décuvage +transfert du marc sur tapis	18 sur 30	0,66	1 à 2,3	20,5
	12:00 à 16:20	remontages de cuves arrivée de 1 marc en salle pressoirs adjacente	17 sur 30	/		20,4
3/10/96	7:44 à 11:43	1 vidange, 2 décuvages + transfert marc sur tapis débâcle de 2000 l de vin	18 sur 30	0,54	0,98 à 1,1	20,6
	11:49 à 15:53	1 vidange, 1 décuvage + transfert marc sur tapis	16 sur 30	0,49		
				V.M.E. = 180	TWA = 0,5% STEL = 3%	> 17%

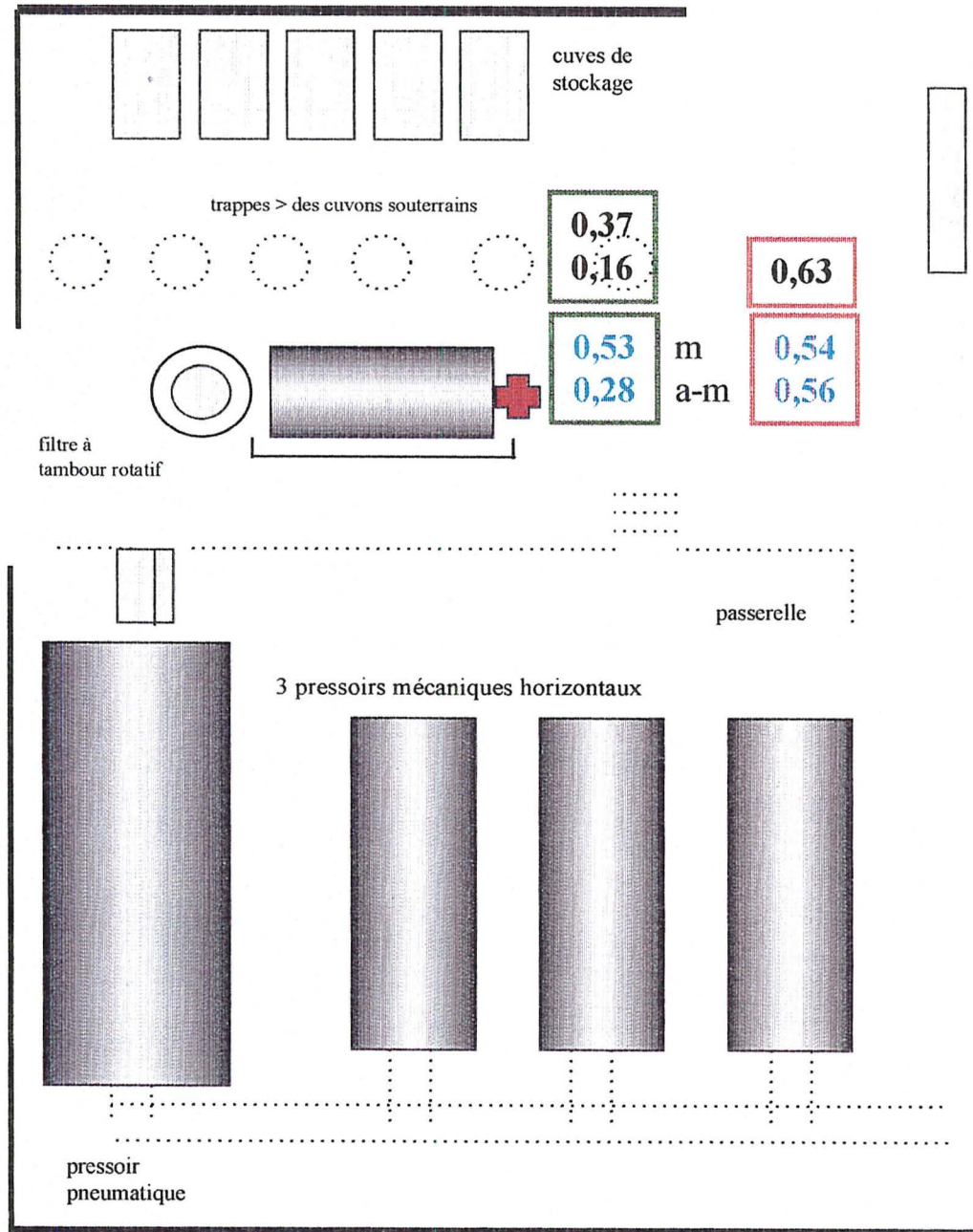
Les concentrations d'acétaldéhyde sont inférieures à la V.M.E.




Les taux de CO₂ sont toujours supérieurs à la TWA

en période de pleines fermentations et

sont fonction de l'activité et de la ventilation.

SALLE DES PRESOIRS CAVE A



	02.10.96
	03.10.96
ACETALDEHYDE V.M.E. = 180 mg/m ³	
	point de métrologie
CO ₂	TWA = 0,5 % STEL = 3 %

En effet : **le 02 Octobre** à l'ouverture de la cave à 7h30, après ½ heure de ventilation générale mécanique avec le ventilateur mural, les taux de CO₂ sont élevés, de l'ordre de **2,3%**. En fin de matinée, après les décuvages et le nettoyage de la cuverie (tapis de transfert du marc démontés) les taux redescendent aux alentours de **1%**. Dans l'après-midi, les taux s'élèvent à **1,53%** : la ventilation mécanique utilisée pour les décuvages a été arrêtée, certaines cuves en fermentation sont en remontage. Le 03 Octobre incident lors du décuvage de la cuve n°3 : les ouvriers vinicoles descendus dans la cuve, crèvent de leur poids une poche de vin évaluée à 2000 litres. Ces 2000 litres sortent par la trappe inférieure de la cuve et envahissent la cave. Les salariés remontent et nettoient la cave pendant 1h.

- **SALLE DES PRESSEIRS**

Les supports de prélèvement d'éthanol et d'acétaldéhyde sont fixés au niveau du poteau central de la salle des pressoirs. Les détections instantanées de CO₂ et O₂ sont effectuées au même endroit, répétées sur la période de vendange.

DATE	Heure	Conditions pendant les prélèvements	ACETALDEHYDE mg/m ³	CO ₂ %	O ₂ %
27/10/96		2e jour des vendanges : pas de pressurage 5 cuves en tout début de fermentation	/	0,06 à 0,14	20,8
2/10/96	8:18 à 11:53	arrivée et pressurage du marc d'1 cuve le matin le ventilateur mural de la cuverie est en marche	0,66	0,37	20,7
	12:00 à 16:25	arrivée et pressurage du marc d'1 cuve l'après-midi remontages des cuves en béton, le ventilateur ne marche pas	0,28	0,16	20,8
3/10/96	7:58 à 11:53	arrivée et pressurage du marc de 2 cuves le matin le ventilateur mural de la cuverie est en marche débâcle de 2000 litres de vin dans la cuverie béton	0,54	0,63	20,4
	11:53 à 16:01	arrivée et pressurage du marc d'1 cuve l'après-midi remontages des cuves en béton, le ventilateur ne marche pas	0,56		
16/10/96	9:38	3 cuves de blanc sont en F.A. 1 décuvage traditionnel + transfert de marc + pressurage	/	0,27	20,8
			V.M.E. = 180	TWA = 0,5% STEL = 3%	> 17%

Les concentrations d'acétaldéhyde sont inférieures à la V.M.E.

Les taux en CO₂ dépassent rarement la TWA et sont fonction de

l'activité et de l'intensité des sources d'exposition.

VII-4-3-2 - Cave B

- SALLE DES VINIMATIC

Les supports de prélèvements d'éthanol et d'acétaldéhyde sont fixés sur le pilier de la passerelle situé devant la Vinimatic™ n°24.

Les temps de prélèvement sont de 1 heure chacun mais nous avons multiplié leur nombre sur les 8 heures de poste.

DATE	Heure	Activités en cours	Nb cuves en F.A.	ETHANOL mg/m ³	ACETALDEHYDE mg/m ³	CO ₂ %	O ₂ %
8/10/96	matin	pas de vidange, ni de décuillage	20 sur 28			0,7 à 2	20,6
	12:13 à 16:09				1,12	0,84 à 2,5	20,1
14/10/96		pas de vidange, ni de décuillage	3 sur 28			0,2 à 0,58	20,5
18/10/96	8:50 à 9:54	pas de vidange, ni de décuillage	4 sur 28	16	0,31	0,31	
	9:56 à 11:01			23	0,35		
	13:54 à 15:07			41	0,46		
	15:13 à 16:14			52	0,52		
21/10/96	9:11 à 10:23	2 vidanges 2 décuillages	3 sur 28	100	0,29	0,46 à 0,7	20,6
28/10/96	9:47 à 10:47	3 vidanges 3 décuillages	4 sur 28	446		0,36 à 1,1	20,3
	13:58 à 15:08			262			
				V.M.E. = 1900 V.L.E. = 9500	V.M.E. = 180	TWA = 0,5% STEL = 3%	> 17%

Les concentrations atmosphériques ambiantes d'éthanol et d'acétaldéhyde sont inférieures à la VME, et les différences notées sont la traduction de l'intensité des activités en rapport avec la manipulation de vin fermenté.

Les taux ambiants de CO₂ se situent en général autour de la TWA, mais, en fonction de la ventilation, de l'intensité de fermentation, du nombre de cuves en fermentation, ils peuvent dépasser le 1/3 de la STEL.

SALLE DES VINS BLANCS

Les supports de prélèvement d'éthanol et d'acétaldéhyde sont fixés à 1m50 du sol entre les deux « couloirs » de la salle des vins blancs.

DATE	Heure	Activités en cours et ventilation	Nb cuves en F.A.	ETHANOL mg/m ³	ACETALDEHYDE mg/m ³	CO2 %	O2 %
8/10/96	8:20 à 12:20	ventilateurs arrêtés hangar fermé	12 sur 24	/	0,57	0,26 à 1,58	20,6
8/10/96	12:21 à 16:10	hangar ouvert			0,45	0,61	20,6
14/10/96	8:47 à 9:48	ventilateur en marche hangar ouvert	13 sur 24			0,4 à 0,78	20,5
	14:30 à 15:40	ventilateurs arrêtés		34	0,75	0,69	20,5
18/10/96	9:08 à 10:10	ventilateurs arrêtés mais ont marché toute la nuit hangar ouvert	19 sur 24	20	0,21	0,18	20,7
	10:11 à 11:17	hangar ouvert		20	0,22		
	14:08 à 15:17			61	0,62		
	15:23 à 16:33			65	0,60		
21/10/96		hangar ouvert	12 sur 24	/	/	0,77	
28/10/96	9:00 à 10:12	hangar fermé	24 sur 24	350	1,78	1,71	20,2
		hangar ouvert		172		0,9 à 1,27	20,4
				V.M.E. = 1900 V.L.E. = 9500	V.M.E. = 180	TWA = 0,5% STEL = 3%	> 17%

Les taux ambiants de CO₂ sont en général supérieurs à la TWA et peuvent dépasser le 1/3 de la STEL, en fonction de la ventilation naturelle ou mécanique, du nombre de cuves en fermentation et de l'intensité de cette fermentation.

Les concentrations d'éthanol et d'acétaldéhyde sont inférieures aux VME, et les différences notées sont fonction des facteurs cités.

DISCUSSION

VIII - DISCUSSION

A travers ce dernier chapitre, nous allons répondre aux objectifs de notre étude, qui sont de deux ordres :

- quantifier les niveaux d'exposition aux produits chimiques pendant les situations à risque élevé lors de la vinification.
- développer des stratégies de prévention et de suivi médical des opérateurs de la vinification.

Nous ferons l'analyse globale des niveaux d'exposition, puis une étude plus détaillée des résultats polluant par polluant.

Il est important de souligner le faible nombre d'études publiées dans la littérature évaluant l'exposition toxique autre qu'au CO₂ (tant qualitative que quantitative), des salariés des caves vinicoles pendant les fermentations.

VIII-1 - VALIDITE DES RESULTATS

Les résultats des prélèvements atmosphériques d'éthanol de la cave A ainsi que ceux réalisés le 08 Octobre dans la cave B, ont été éliminés, car nous avons modifié la méthodologie de mesure dès le 14 Octobre.

Le problème retrouvé sur les phases de silicagel ne peut pas être dû à une saturation des tubes, car il a été retrouvé quelle que soit la quantité d'alcool piégé sur les tubes, et même pour de très faibles doses.

L'explication la plus plausible est que le débit d'air utilisé pour le prélèvement en début d'étude était trop important, et que de ce fait, l'alcool n'a pas été retenu en totalité sur la partie "essai" des tubes et a pu migrer sur la partie "validation".

Cette hypothèse a été confirmée car après diminution du débit d'aspiration d'air de 140 ml/mn à 50 ml/mn, nous n'avons plus rencontré de problème, même pour de très fortes concentrations.

A la relecture de la norme AFNOR X 43-258 (2) concernant le prélèvement d'alcool, les débits de prélèvement conseillés vont de 500 ml/mn à 1 l/mn. Mais les tubes testés par l'INRS sont 10 fois plus gros que les tubes "NIOSH Standard" que nous utilisons, ce qui explique que de tels débits d'air puissent être conseillés (42).

VIII-2 - LES NIVEAUX D'EXPOSITION

La météorologie était très importante à prendre en compte pour l'ambiance des caves, car une température extérieure basse oblige à fermer les portes des cuiviers pour ne pas retarder les départs en fermentation des cuves notamment en rouge. De plus, si le ciel est « bas » et la pression atmosphérique élevée, les conditions d'évacuation des gaz de fermentation ne sont pas idéales.

VIII-2-1 - ACTIVITES LES PLUS A RISQUE

Les risques chimiques rencontrés lors des travaux de vinification sont de deux types : les activités nécessitant l'utilisation de produits spécifiques, et les activités amenant les opérateurs à être en contact important avec le vin en fermentation et donc les gaz de fermentation.

L'organisation de l'étude sur deux sites **simultanément, en fonction de l'état d'avancement des fermentations**, nous a contraints à faire des choix dans les dates d'intervention et les caves. Mais de toutes les activités étudiées, les résultats de nos prélèvements nous permettent d'individualiser celles dont le risque d'exposition est le plus important.

Le sulfitage manuel de la vendange s'accompagne d'un pic d'exposition important car les concentrations sont très élevées, supérieures à la VLE. La position de l'opérateur, très proche de la source de toxique et l'agitation de la solution sulfureuse (SO₂ libre peu stable) lors du versement expliquent ces valeurs. Ce sont des opérations très brèves de l'ordre de 10 à 15 secondes, mais elles sont répétées sur la journée de travail, et la VLE, valeur plafond qui vise à protéger les salariés des effets immédiats ou à court terme d'un toxique pour une période ≤ 15 minutes, est ici constamment dépassée. De très fortes irritations cutanéomuqueuses peuvent survenir pouvant aller jusqu'à l'œdème aigu du poumon, ainsi que des crises d'asthme chez des sujets susceptibles, voire un syndrome de Brooks.

Le décuvage traditionnel est une phase optimale d'exposition au CO₂ car sur les 5 décuvages évalués, la totalité présente des taux de CO₂ très supérieurs à la TWA, approchant souvent la STEL. Ces valeurs sont plus élevées que celles que l'on retrouve dans la littérature pour la même opération (1% dans l'Aude et dans le Beaujolais) (76,94). Les niveaux retrouvés varient en fonction de différents paramètres. En effet, ils sont d'autant plus élevés que le temps de ventilation préalable est plus court, que l'intensité de la fermentation alcoolique lors du décuvage est élevée, et qu'il y a libération de nombreuses poches de gaz lors de la mobilisation du marc. Cette exposition au CO₂ s'accompagne d'une diminution du taux d'O₂ par déplacement dans l'air, aux environs de 17,5-18%.

Cette activité qui demande des efforts physiques intenses, se fait dans une ambiance confinée, très humide et chaude. Ceci rend cette opération très difficile à supporter car elle augmente les contraintes cardiaques (tachycardie) et, en cas de ventilation inefficace, le risque de mort subite (53). Les décuveurs sont plus euphoriques, des états d'ébriété sont même notés avec risque important de baisse de la vigilance entraînant maladrotes et chutes (73,94,95), ainsi que des céphalées et des phénomènes irritatifs. L'exposition associée aux autres gaz de fermentation, éthanol, aldéhydes, alcools supérieurs, esters..., mais aussi à des vapeurs résiduelles de SO₂ (94), participe grandement à ces phénomènes irritatifs et il serait intéressant de quantifier ces expositions.

La vidange des cuves Vinimatic™ présente un risque CO₂ très élevé car les taux sont souvent supérieurs à la TWA. Les concentrations en éthanol sont variables et les valeurs élevées sont expliquées par l'absence de ventilation spécifique lors de l'opération, la position de l'opérateur par rapport au flux de vin, l'agitation de la source de pollution (violence et retombée du jet de vin). L'exposition des salariés lors des vidanges n'a jamais été étudiée, mais les valeurs peuvent être comparées à celles retrouvées par B. OLIVIER-ROUSSEL dans le Bordelais (73) « près des points d'émission », identiques aux valeurs les plus élevées pour l'éthanol. Les risques de syndromes irritatifs, de céphalées et de tachycardie existent, d'autant que pour un même salarié, cette exposition est répétée dans la journée et s'ajoute à celle des décuves, autant de fois qu'il y a de cuves à vider.

Le décuveage automatique des cuves Vinimatic™ est une opération très polluante où les niveaux d'exposition de CO₂ et d'éthanol sont très élevés. Cette exposition n'avait jamais été étudiée auparavant, car ce type de décuveage était censé (bien que la finalité des cuves était autre), en évitant la pénétration de salariés dans les cuves, éliminer le confinement et les risques d'accidents par asphyxie. Or, contre toute attente, les niveaux d'exposition sont très importants. Les taux de CO₂ sont très supérieurs à la TWA, équivalents à ceux retrouvés pendant les décuves traditionnels, alors que cette exposition se fait à l'extérieur de la cuve. Les concentrations atmosphériques d'éthanol sont aussi le plus souvent très supérieures à la VME, approchant même la VLE. La fermeture des trappes pendant la fermentation alcoolique, l'absence de ventilation préalable des cuves, le caractère hyperconcentré des gaz de fermentation et du marc évacué, la position souvent très rapprochée du poste de travail, ainsi que l'absence de ventilation spécifique à l'opération, expliquent ces valeurs. Ces fortes expositions qui, multipliées dans la journée, favorisent la survenue d'irritations des muqueuses, de céphalées en fin de journée, ne se déroulent pas dans le même contexte que celui des décuves traditionnels. En effet, il n'y a pas confinement et l'opérateur peut facilement s'éloigner dès qu'il ressent une gêne, les taux d'O₂ sont toujours supérieurs à 20%, les contraintes physiques sont très diminuées, et le risque de pénétration cutanée des toxiques est faible. Les concentrations atmosphériques

en éthanol sont en moyenne de 2400 mg/m³ dans le Bordelais (73) pour des décuvages manuels en fermentation terminée, et de 5000 mg/m³ dans l'Aude (76).

Pour des raisons qualitatives, les cuves de type Vinimatic™ tendent à être abandonnées en France.

Les niveaux atmosphériques ambiants sont aussi très importants à discuter. Ils représentent l'exposition quotidienne (sur plus de 8 heures en général) de l'ensemble des salariés des caves vinicoles. Les valeurs retrouvées, associées aux horaires irréguliers et imprévisibles, au stress, à la précipitation et à l'excitation des vendanges, favorisent certainement l'asthénie et les troubles digestifs que présentent les salariés en fin de vendanges. Les taux de CO₂ sont en effet le plus souvent supérieurs à la TWA en période de pleines fermentations, dépassant même la STEL le matin avant toute ventilation avec risque d'asphyxie. On retrouve des valeurs bien plus élevées dans le Bordelais (73) et dans l'Hérault (9), pour des vendanges moins étalées dans le temps. Mais les concentrations d'éthanol retrouvés en Savoie sont faibles, inférieures à la VME, équivalentes à celles mesurées dans les caves bordelaises (73). Les concentrations d'acétaldéhyde sont très faibles, en rapport avec la part d'acétaldéhyde formé par la fermentation alcoolique ; cependant l'exposition à ce gaz est associée aux autres et les effets irritatifs s'accumulent dans une atmosphère chaude et humide.

Toutes les valeurs sont fonction de plusieurs paramètres dont l'intensité des activités, le nombre des cuves en fermentation, et la ventilation.

Plus particulièrement, nous pouvons, de par la spécificité de la cave B, comparer la pollution de la vinification en blanc et celle de la fermentation du moût rouge. Les niveaux ambiants sont équivalents, mais ceux retrouvés dans la salle des vins blancs sont présents sur une période plus longue. En effet, les fermentations sont plus longues et se chevauchent quand toutes les cuves sont remplies. La vinification en rouge, elle, implique des durées plus courtes de cuvaison et les niveaux ambiants sont irréguliers sur la période des vendanges.

VIII-2-2 - COMPARAISON ENTRE LES DEUX CAVES

Pour le même type d'activité, des différences notables apparaissent entre les niveaux d'exposition atmosphérique des polluants, selon que les opérations sont réalisées dans la cave A ou la cave B.

Les expositions aux gaz lors des opérations des **vidanges et décuvages automatiques** paraissent globalement plus importantes dans la cave B que dans la cave A bien que les taux de CO₂ soient dans l'ensemble équivalents et que nos prélèvements d'éthanol en cave A soient inexploitable. En effet, une position très rapprochée du salarié de la cave B, un

matériel différent et des différences de ventilation sont notés. Nous discuterons les résultats de manière plus précise un peu plus loin.

Le poste de pressurage des marcs rouges en cave B semble plus exposé aux gaz de fermentation qu'en cave A. Les taux de CO₂ sont toujours supérieurs à la TWA dans la salle des pressoirs de la cave B, alors qu'ils l'égalent seulement en cave A. Les concentrations atmosphériques d'éthanol en cave B lors de l'arrivée et du pressurage des marcs rouges, sont en moyenne de 1000 mg/m³. Lors des prélèvements, le nombre de pressoirs en marche est plus grand en cave B. Il s'agit de pressoirs mécaniques horizontaux constitués d'une cage en bois ajourée qui tourne, au travers de laquelle le moût pressé ressort, alors que les parois des pressoirs pneumatiques sont pleines (le marc pressé ne ressort que sous le pressoir).

Nous allons maintenant discuter au cas par cas les niveaux atmosphériques des polluants que nous avons mesurés.

VIII-3 - LES POLLUANTS

VIII-3-1 - ETHANOL (CAVE B)

En ambiance

Les concentrations atmosphériques d'éthanol mesurées en ambiance en cave B sont toujours inférieures à 25% de la VME. Elles varient en fonction du nombre de cuves en fermentation alcoolique et de l'intensité de l'activité dans la cave (remontages, vidanges, décuvages, transferts de marc fermenté...).

Pendant la fermentation et les décuvages, les niveaux sont quasiment identiques à ceux retrouvés par B. OLIVIER-ROUSSEL (73) dans les caves bordelaises. En effet, ceux-ci ne dépassent pas 37% de la VME et varient de 110 à 437 mg/m³ en période de décuvage. La méthodologie de métrologie sur gel de silice est identique.

Par contre nos résultats sont inférieurs à ceux retrouvés par A. PEYRE dans l'Aude (76). En effet, en période de décuvage, les niveaux varient entre 760 et 1880 mg/m³, équivalents à la VME. Cet écart peut être expliqué par une différence d'activité de la cave ou par des méthodes de prélèvements différentes. En effet les tubes réactifs Dräger utilisés par A. PEYRE sont beaucoup moins précis et spécifiques que les prélèvements sur gel de silice.

La spécificité des activités de la cave B nous permet de comparer la production d'éthanol des deux types de vinification, en rouge et en blanc : les niveaux sont équivalents et varient de la même façon en fonction des fermentations et de la ventilation.

Pendant les vidanges automatiques

Les concentrations atmosphériques d'éthanol sont plus élevées qu'en ambiance mais ont une grande variabilité, entre 680 et 4000 mg/m³ (2 fois la VME) selon les conditions. Le salarié est très rapproché du bac de vidange et il penche même le visage au dessus du flux de vin qui s'évacue par un robinet de gros diamètre. Le bac est très large, et la surface de vin en contact avec l'air est importante.

On ne peut pas comparer ces niveaux à la littérature nationale ou internationale car cette activité de vidange telle que nous l'avons individualisée, n'a jamais fait l'objet de mesures. Toutefois, ils sont du même ordre que ceux retrouvés par B. OLIVIER-ROUSSEL « en ambiance, à proximité de points d'émission particuliers » (pendant les remontages), supérieurs à la VME, de 3000 à 4000 mg/m³ avec des pointes de pollution à 6000 mg/m³.

Les différences de concentration relevées pour les vidanges de 3 Vinimatic™ dépendent de l'importance de la ventilation naturelle, du nombre de cuves en fermentation, mais aussi de la disposition du bac de vidange par rapport aux cuves. Pour la vidange des cuves du bas (n°8 à 14), le bac de déversement est situé sous la cuve, derrière la passerelle, l'opérateur se trouve dans cet espace : le volume de dispersion immédiate des gaz semble moins important et la ventilation naturelle moins efficace dans ces recoins. Par contre, pour la vidange des cuves du haut (n°1 à 7), le bac de vidange est disposé devant la passerelle, sur l'aire de circulation, exposé aux moindres mouvements d'air provenant des portes du hangar, ce qui explique que les niveaux d'exposition sont plus faibles.

Pendant les décuivages

Les décuivages automatiques représentent une opération à haut risque d'exposition aux vapeurs d'éthanol car les concentrations atmosphériques relevées sont bien plus élevées que lors des vidanges : elles sont pour la plupart supérieures à la VME et atteignent parfois 80% de la VLE (7528 mg/m³).

Plusieurs paramètres peuvent expliquer ces niveaux très élevés. Tout d'abord une position de l'opérateur de la cave B très rapprochée du marc sortant de la trappe. Ensuite des conditions de ventilation naturelle difficiles en regard des trappes des cuves car les portes du hangar étaient rarement grand ouvertes (la température extérieure trop basse ne

favorisant pas la fermentation d'autres cuves), et les passerelles des cuves sont en retrait des flux d'air éventuels pénétrant par ces portes.

L'interrogatoire des salariés de la cave B, confirme que l'opération de décuvage automatique y est mal tolérée : après chaque décuvage, l'irritation cutanéomuqueuse les oblige à sortir hors de la cave pour « reprendre l'air », et ils présentent des céphalées en fin de journée à plus de 3 décuvages. Les céphalées sont aussi expliquées par l'action du CO₂.

Au poste de pressurage

Le poste de pressurage le plus caractéristique est celui de la cave B où 1 seule personne est affectée totalement à la batterie des 8 pressoirs. Là, il sera intéressant à l'avenir de réaliser un prélèvement individuel lors de journées comportant 8 décuvages. Nous avons donc essayé d'approcher l'exposition individuelle en plaçant des supports de prélèvement à 1m50 du sol, sur chaque pressoir recevant du marc fermenté décuvé, puisque l'activité de l'agent des pressoirs est de se déplacer autour de ceux-ci à ce moment-là.

Les niveaux d'exposition varient d'environ 600 à 1900 mg/m³ c'est à dire atteignent la VME, et ce, après 3 arrivées de marc. On peut supposer des taux plus importants lors de journées chargées en décuvages.

Les concentrations atmosphériques d'éthanol sont très importantes lors des vidanges et des décuvages automatiques. Nous retrouvons des concentrations très supérieures à la VME, proches de celles retrouvées dans le Bordelais et l'Aude. Des irritations cutanéomuqueuses et des effets neurologiques (céphalées, vertiges, ébriété, somnolence), peuvent survenir pour ces expositions répétées à des concentrations élevées.

Ce qui pose le problème de la désinhibition et de la diminution de la vigilance chez des salariés exerçant des activités à risques.

VIII-3-2 - ACETALDEHYDE

Les niveaux d'exposition retrouvés sont très faibles : ils ne dépassent pas 0,6% de la VME en ambiance, et 4,25% de la VME lors d'activités polluantes. Ils sont fonction de l'intensité de l'activité de la cave et du nombre de cuves en fermentation.

Lors des décuvages automatiques, ils atteignent 17 % de la valeur plafond fixée par l'ACGIH pour de courtes durées. Et ces valeurs participent certainement aux effets irritatifs ressentis lors des décuvages.

Les niveaux sont reliés en général avec les concentrations atmosphériques d'éthanol puisque les gaz sont formés en même temps par la fermentation alcoolique.

Aucune étude sur les risques de la vinification ne fait état de risque d'exposition à l'acétaldéhyde.

Les concentrations atmosphériques sont très faibles, mais il nous paraît important d'avoir quantifié les concentrations atmosphériques de cette substance en cave de vinification car elle se surajoute aux autres gaz de fermentation dans une ambiance chaude et humide, et participe à l'effet d'irritation des muqueuses que ressentent les ouvriers vinicoles lors d'opérations très exposées comme les décuvages.

VIII-3-3 - CO₂

En ambiance

En plus des endroits déterminés pour la métrologie d'ambiance, communs aux autres polluants étudiés, le CO₂ (ainsi que l'O₂) a été mesuré dans divers points des caves, afin de déterminer ses pièges et évaluer son comportement dans les caves (cf. annexes).

Les taux atmosphériques retrouvés dans les deux caves sont le plus souvent supérieurs à la TWA en période de pleines fermentations et de décuvages. Ils sont bien sûr dépendants de l'intensité de l'activité, de la présence de ventilation, du nombre de cuves en fermentation, du moment de la journée. Les taux d'O₂ sont, en ambiance générale, entre 20 et 21%.

Dans certains points, les taux de CO₂ peuvent dépasser 4 fois la TWA : points bas sous les cuves automatiques (fosses), bas d'escaliers, coins non ventilés (coin de la cuve de blanc n°32, toilettes de la cave B...), zones proches des sources de fermentation.

Les niveaux sont très élevés le matin à l'ouverture des caves, dépassant la STEL avec un risque accru d'asphyxie, puis diminuent dans la journée avec la ventilation autour de 1% le plus souvent. On retrouve les mêmes résultats dans le Bordelais (73) et dans l'Hérault (9), mais les valeurs sont bien plus élevées, culminant le matin entre 5 et 6% dans des caves plus grandes dont toutes les cuves sont en fermentation concomitante.

Entre les deux caves, il n'y a pas de différence significative entre les taux atmosphériques de CO₂ et ce, quels que soient le moment de la journée, l'activité et l'intensité des fermentations. Mais il sera intéressant de les mesurer en cave B un jour chargé en décuvages (8 vidanges et décuvages et toutes les autres cuves en fermentation).

Les taux ambiants de CO₂ que nous retrouvons sont globalement inférieurs à ceux que BERNON (9) détecte dans les caves de l'Hérault en période optimale, supérieurs à la STEL, de 3,3 à 5% le matin à l'ouverture de la cave descendant à 0,72% à certains endroits ventilés, mais demeurant en moyenne supérieurs à 2% dans une cave très mal ventilée. Le nombre de cuves en fermentation, les caractéristiques architecturales des caves, et le degré d'imprécision des tubes colorimétriques peuvent expliquer les différences notées.

Nos taux sont comparables aux valeurs de l'étude de B. OLIVIER-ROUSSEL (73), très importants à l'ouverture des caves (6%), toujours très supérieurs à la TWA dans la journée, en phase optimale de fermentations, et inférieurs à la TWA en période de décuvages. Ces valeurs sont le reflet des spécificités de la vinification bordelaise : simultanéité de la fermentation de toutes les cuves (cépages vendangés en même temps), et décuvages après macération supplémentaire (il n'y a plus de production de CO₂). A. PEYRE (76) retrouve des

taux ambiants plus faibles (0,3%) pendant les fermentations mais on ne connaît pas l'appareillage, ni les conditions de ventilation, ni le nombre de cuves en fermentation.

Les 2 types de vinification, en blanc et en rouge, sont aussi polluantes. Mais on peut noter que l'atmosphère de la salle des blancs est plus constamment polluée et toujours avec des taux de CO₂ supérieurs à la TWA car les cuves ont toutes été rapidement remplies (reflet de l'organisation des vendanges et de la priorité de certains cépages) avec des fermentations plus longues et concomitantes. Alors qu'en raison des vendanges et de la durée plus courte des cuvaisons, la salle des rouges fonctionnait par à-coups.

Lors du remontage par oxygénation

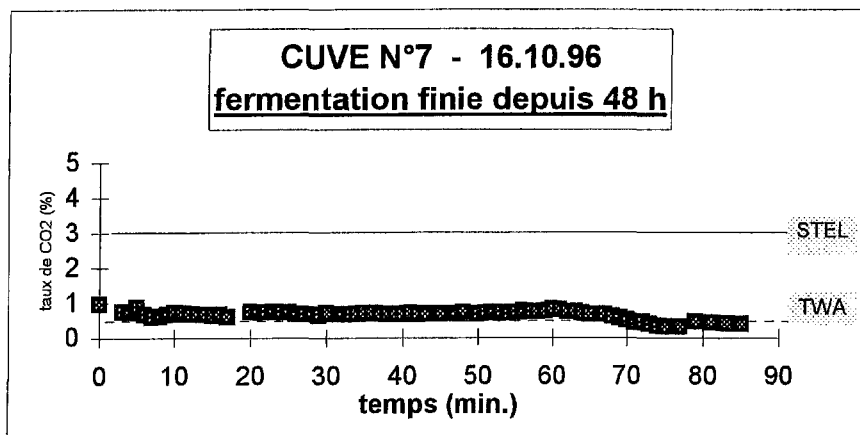
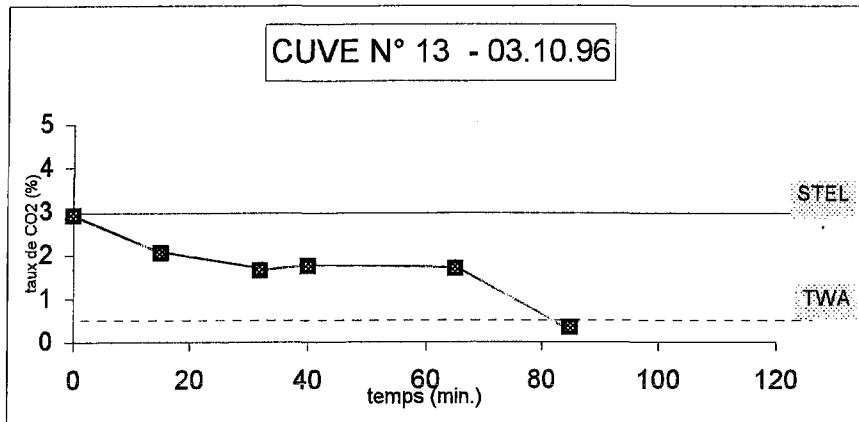
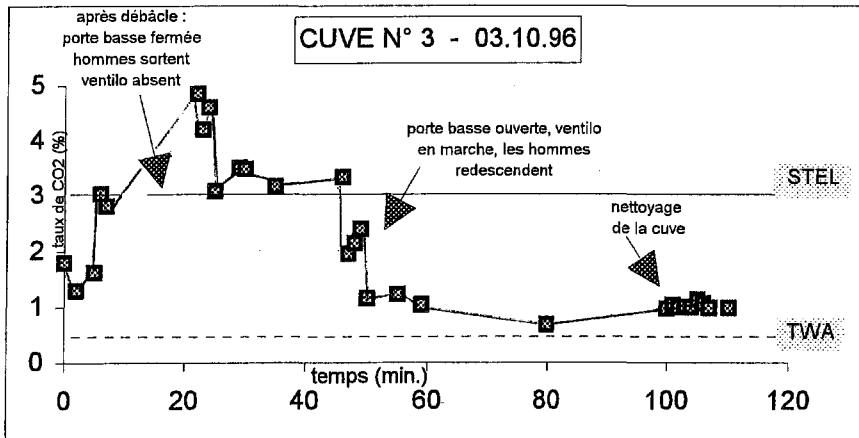
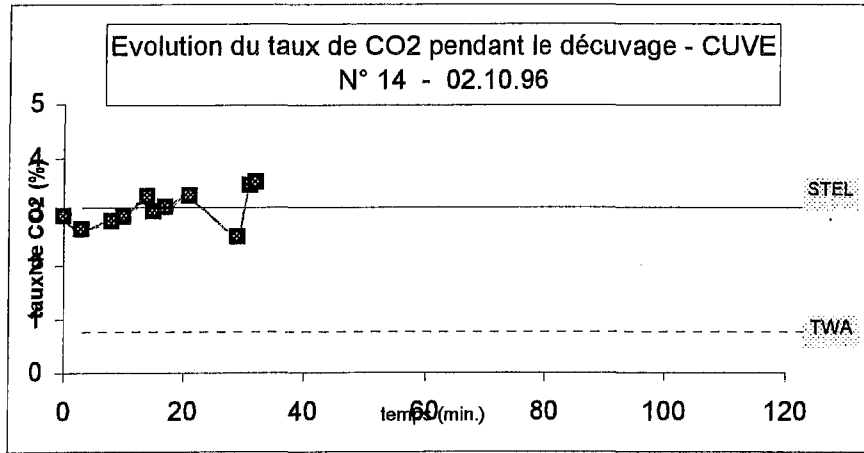
Les cuves automatiques sont ainsi « remontées » 2 fois par jour pendant leur fermentation. Les taux atmosphériques détectés à 50 cm de la trappe (distance à laquelle le visage de l'opérateur est situé) sont très élevés : 3,6% au maximum. Mais deux mesures seulement ont été effectuées. Cette exposition ne dure que quelques secondes, le temps de l'ouverture et de la fermeture du couvercle de la trappe. L'intensité de la fermentation augmente au fur et à mesure et les taux ne sont pas toujours si élevés pour une même cuve. De plus, l'opérateur connaissant les risques, est souvent en « apnée ». Cependant les taux de CO₂ s'élèvent très rapidement dans une cuve non ouverte, avec une atmosphère hyperconcentrée, et le nombre quotidien d'opérations peut être important : 2 fois pour chaque cuve, multipliées par le nombre de cuves en fermentation. Par ailleurs, la réalisation d'autant d'opérations sur 1 journée apporte des contraintes physiques importantes car il y a des escaliers à gravir, des efforts physiques à fournir pour accéder aux trappes, les ouvrir et les fermer, dans une ambiance chaude et humide.

Pendant les vidanges

Les taux atmosphériques sont toujours supérieurs à la TWA et peuvent atteindre 60% de la STEL à certains moments correspondant à l'absence de ventilation.

Les vidanges sont aussi polluantes en CO₂ dans les deux caves. Curieusement et au contraire des concentrations d'éthanol, les taux de CO₂ ne sont pas, dans la cave B, dépendants de la place du bac de vidange en avant ou en arrière de la passerelle. En cave A, la différence des taux entre les cuves n°2 et 4 trouve la même explication que pour les résultats d'éthanol.

Les données de la littérature, inexistantes, ne nous permettent pas de comparer nos résultats.



Pendant les décuvages

Les décuvages automatiques sont des opérations à haut risque d'exposition au CO₂. Les niveaux relevés sont toujours supérieurs à la TWA, dépassent souvent 30% de la STEL, atteignent parfois 60% de la STEL et, pour une cuve la dépassent de 1,5 fois.

Les taux d'O₂ sont peu diminués mais cette diminution est notable aux alentours de 20%.

Dans la cave A, les taux atmosphériques relevés lors du décuvage de la cuve n°4 sont plus importants que pour l'autre cuve car elle est située au fond de la salle, moins influencée par la ventilation naturelle.

Dans la cave B, la cuve n°4 est située sur la rangée supérieure, et ne bénéficie pas de la ventilation naturelle, ce qui explique les taux mesurés. La ventilation due à l'ouverture des portes du hangar profite aux rangées inférieures, ce qui explique les niveaux retrouvés lors du décuvage de la cuve n°12. Par contre, bien que le décuvage de la cuve n°13 se déroule portes fermées, il est moins polluant.

Le décuvage traditionnel est aussi une opération à haut risque d'exposition, comme l'ont rapporté des études antérieures. Les taux atmosphériques de CO₂ sont toujours très supérieurs à la TWA et dépassent la STEL pour certaines cuves. Dans la cuve n°7, ces taux sont moins importants et varient autour de la TWA. Ils s'expliquent par le fait que cette cuve s'était arrêtée de fermenter 48 heures avant, le moût bénéficiant d'une macération supplémentaire. Le décuvage s'est déroulé en l'absence de production de CO₂, et le CO₂ présent était celui dégagé par la seule mobilisation du marc et de poches de gaz emprisonnées. Nous avons pu étudier l'évolution des taux de CO₂ au cours du décuvage dans chaque cuve (cf. courbes). Elle suit en majorité une courbe descendante après un pic expliqué par la mobilisation du marc. On retrouve cet aspect dans d'autres études effectuées dans l'Aude (52,76). Seulement, dans ces études, les taux relevés ne dépassent pas 1% : est-ce l'utilisation de tubes réactifs Dräger moins précis, ou le fait que les décuvages aient été réalisés après une période supplémentaire de macération ? Les taux d'O₂ que nous avons mesurés en parallèle sont plus bas et approchent les 18,5% dans les cuves. La mesure n'a pu être effectuée au niveau des opérateurs car l'appareil de détection était dépourvu de sonde à distance adaptable du type de celle du Multiwarn pour CO₂. L'analyseur a été tenu à bout de bras dans la cuve par la trappe du bas, ce qui nous laisse supposer que les taux atmosphériques d'O₂ au niveau des salariés sont plutôt aux alentours de 17,5%. Ceci est confirmé par le fait que les decuveurs éprouvent le besoin chacun leur tour, de se placer sous le flux d'air provoqué par la ventilation mécanique « pour pouvoir mieux respirer » !

Cette situation à risque important d'asphyxie peut être améliorée par l'utilisation de ventilateurs plus adaptés. En effet, B. OLIVIER-ROUSSEL retrouve des taux d'O₂ excellents (20,7%) dans des cuves ventilées à l'aide de ventilateurs centrifuges à volutes de type « escargot », et dont le marc avait fini de fermenter quelques jours avant.

Nous confirmons les taux très élevés de CO₂ en ambiance générale et lors des vidanges, des décuvages automatiques et traditionnels.

**Bien que des efforts de prévention aient été réalisés,
le risque existe toujours.**

Il est important de rappeler que la toxicité n'est pas seulement indirecte par appauvrissement en oxygène, mais aussi directe par dépression du système nerveux central et effet cardio-vasculaire.

VIII-3-4 - SO₂

Les concentrations atmosphériques retrouvées sont en général largement supérieures à la VLE de 5 ppm et semblent varier en fonction de la ventilation, de la vitesse d'air et du volume de solution versée. Il est probable qu'elles soient encore plus importantes car la technique de prélèvement d'air avec pompe Dräger avait pour inconvénient d'être longue. Ce caractère non instantané nous a certainement empêché d'évaluer les pics véritables de SO₂.

Bien que le nombre de mesures soit faible et que la méthode utilisée soit semi-quantitative (tubes colorimétriques), les niveaux atmosphériques sont équivalents entre les caves A et B, c'est à dire qu'ils sont 3 à 7 fois supérieurs à la VLE. Ceci est dû au fait que le geste opératoire est identique et la concentration de la solution est la même.

Cependant, les concentrations atmosphériques en SO₂ en cave B sont plus élevées que celles de la cave A, ce qui pourrait s'expliquer par une « ambiance SO₂ » non négligeable provenant des nombreuses cuves et des sulfitages précédents, et une ventilation moins efficace aux points de sulfitage. Il serait intéressant de vérifier ces hypothèses.

De plus, l'exposition individuelle apparaît plus importante : l'opérateur de la cave B ne se met pas « en apnée » lors du versement, et la méthode de sulfitage avec seau augmente le contact de la solution avec l'air. De plus, le nombre de sulfitages est plus important car des sulfitages manuels se surajoutent en cas de sulfitage automatique insuffisant.

Nos mesures sont identiques à celles effectuées par B. OLIVIER-ROUSSEL dans le Bordelais, et par B. MUENIER (70) dans le Beaujolais avec un appareil de détection (PAC II de Dräger) plus précis. Les taux dépassent la VLE mais restent en deçà de 10 ppm lors de l'utilisation de bidons de solution de SO₂ réalisées à partir de gaz barboté. Ils dépassent 20 ppm si cette solution est contenue dans un seau. Ils se situent entre 10 et 20 ppm pour des solutions à 6 ou 8% prêtes à l'emploi.

Les expositions lors des sulfitages sont très élevées rendant ces opérations dangereuses. Comme nous le verrons, elles ont été discutées avec les directeurs des caves.

Il s'agit de temps d'exposition très courts par rapport à une journée de travail, de l'ordre de la dizaine de secondes, mais ces sulfitages peuvent être nombreux pour un même salarié dans une même journée de travail, et les ambiances des caves se « chargent » petit en SO₂.

- Il sera donc utile dans l'avenir de quantifier l'exposition sur une journée de travail,
- de quantifier l'exposition au SO₂ pendant les décuvages
- Il sera aussi utile de se pencher sur deux autres opérations exposant au SO₂ qui n'ont pas pu être étudiées lors des vendanges 1996 :
 - la préparation de la solution sulfureuse par barbotage de gaz,
 - l'opération de répartition de cette solution dans les bidons.

Notre travail nous a permis de quantifier les risques d'exposition aux produits chimiques lors d'opérations spécifiques de la vinification, et de les comparer à d'autres études.

Les niveaux de SO_2 relevés lors du **sulfitage manuel de la vendange** sont très supérieurs à la VLE, et comparables à ceux retrouvés dans d'autres vignobles. Ils en font une phase à risque broncho-pulmonaire important. Il sera indispensable dans l'avenir, d'évaluer l'exposition pendant la préparation des solutions sulfureuses.

Les vidanges et décuvages des cuves automatiques n'ont jamais fait l'objet d'études. Ils constituent, contre toute attente, des phases à risque important d'exposition à l'éthanol dont les niveaux approchent la VLE, et au CO_2 , dont les niveaux dépassent souvent la STEL américaine. Et ils peuvent s'accompagner de phénomènes irritatifs, de céphalées et de tachycardie.

Les décuvages traditionnels constituent des opérations de confinement dangereuses, avec des taux de CO_2 toujours supérieurs à la TWA, et parfois supérieurs à la STEL. Ils dépassent les taux retrouvés dans les autres vignobles étudiés.

L'accumulation des gaz, la chaleur, le confinement, l'humidité, en font une phase à risque d'asphyxie, et de contraintes cardiaques élevées. Les concentrations en éthanol devront être évaluées lors de prochaines études.

IX - LA PREVENTION

IX-1 - PROPOSITIONS DE STRATEGIES DE PREVENTION

Pour chaque cave, les résultats ont été rendus en premier lieu aux directeurs sous la forme d'un prérapport comprenant des rappels de toxicité. Chaque résultat a été discuté au vu des conditions de la campagne 1996, des caractéristiques des jours d'intervention, et des procédés utilisés. Des propositions de prévention technique ont été avancées pour induire une réflexion commune avec les professionnels, en fonction des possibilités techniques, des impératifs de la vinification...

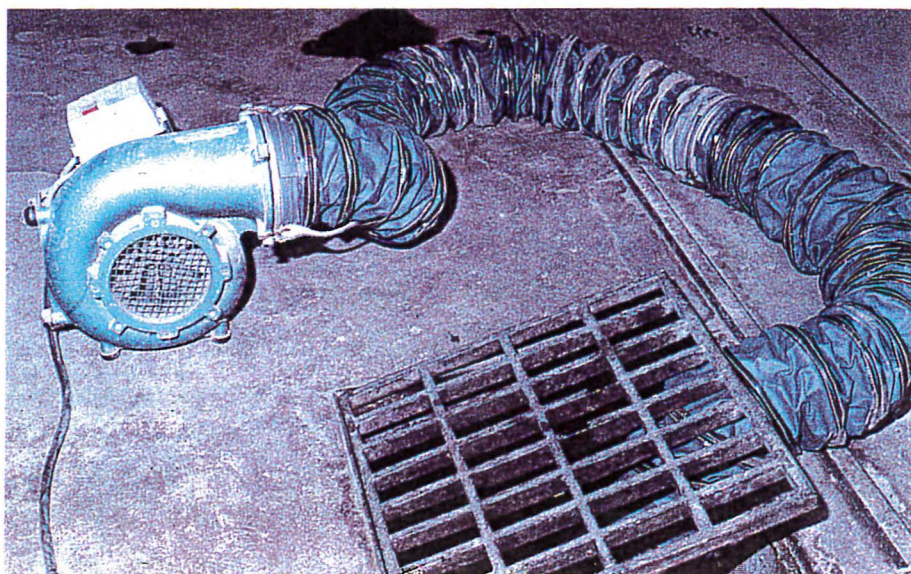
Une présentation globale et simplifiée des résultats, tenant compte des réunions avec les directeurs, a eu lieu ensuite devant les présidents, les administrateurs et les salariés.

Cette présentation n'imposait pas de solution ou de modification, mais en permettait l'élaboration commune entre les professionnels du vin, les conseillers en hygiène et sécurité et les médecins du travail.

En ce qui concerne les **ambiances générales** dans les caves, une amélioration de la ventilation générale doit être proposée d'autant que des dispositifs de captation des gaz à la source n'existent pas et sont techniquement difficiles à réaliser. La ventilation générale permettra de diminuer le niveau de pollution des caves au plus bas pour le rendre acceptable. Elle passe par un renouvellement de l'air par ventilation mécanisée, avec des ventilateurs hélicoïdaux correctement implantés en façade.

Pour le **sulfitage manuel**, des idées d'amélioration technique sont avancées avec le remplacement des solutions de SO₂ par des solutions moins volatiles (70), l'amélioration des becs verseurs des bidons de façon à éloigner le jet de SO₂ du visage de l'opérateur. En attendant, des moyens de protection individuelle est indispensable avec une protection oculaire par des lunettes de sécurité, une protection cutanée efficace par des gants imperméables adaptés, une protection respiratoire par masques à cartouche de type E à bande jaune.

Pour les **décuvages des Vinimatic™**, comme cela se fait pour les cuves en béton, l'idéal serait la ventilation préalable à l'intérieur de la cuve, mais il reste à savoir si cela est techniquement envisageable. Une méthode d'aspiration des vapeurs à la source doit être



Ventilateur centrifuge à volutes.

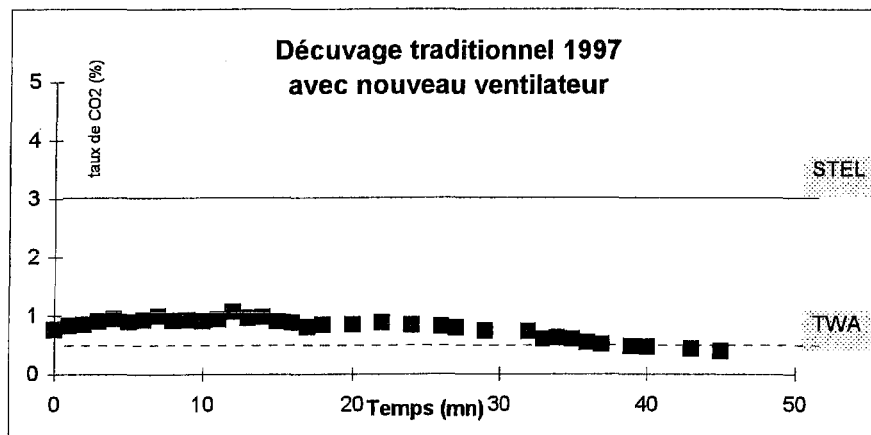
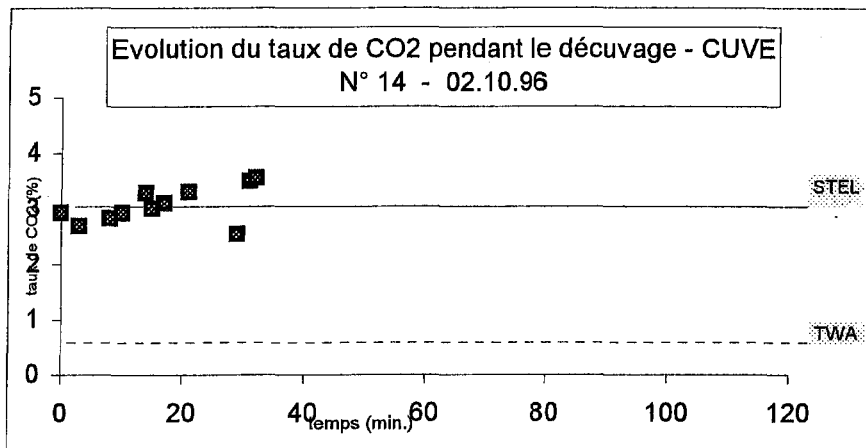
réfléchi lors des décuvages et des vidanges. Cela concerne surtout la cave B où la ventilation naturelle n'est pas efficace. De plus, il devrait y avoir un système de rotation entre les salariés pour ces opérations. En cave A, l'opérateur doit se poster sur la passerelle pendant qu'il surveille la vidange ; en cave B, il doit s'éloigner du bac de vidange.

Pour les **décuvages traditionnels**, la ventilation doit être grandement améliorée car les taux de CO₂ sont trop importants, et les taux d'O₂ trop faibles : nous proposons le changement du ventilateur hélicoïdal qui encombre la trappe supérieure et diminue l'accessibilité. Les ventilateurs utilisés dans les autres régions viticoles sont presque tous des ventilateurs centrifuges à volutes (photo), utilisant de l'air neuf venant de l'extérieur de la cave. Cette technologie, comme nous le verrons, a été évaluée sur le terrain. Mais il sera nécessaire de réaliser de nouveaux prélèvements atmosphériques d'éthanol, car les concentrations retrouvées dans la littérature pour cette opération sont toujours supérieures à la VME, et peuvent atteindre 6000 mg/m³.

La législation et les recommandations concernant le travail dans les cuves et réservoirs (19,69) sont rappelées avec : obligation de s'assurer de l'innocuité de l'atmosphère des cuves avant d'y pénétrer (utilisation souhaitée d'un appareil de détection O₂/CO₂), port de baudriers et cordes en prévision d'une extraction pour malaise, obligation de surveillance par une tierce personne pendant l'évolution dans la cuve. Nous rappelons que l'utilisation de la bougie ou du briquet avant de pénétrer dans une cuve, comme cela se fait très souvent encore en France, est très insuffisante et même dangereuse, car la flamme ne s'éteint qu'en dessous de 16% d'O₂ alors que le seuil limite chez l'homme est de 17%.

Parallèlement à la visite médicale annuelle préalable aux vendanges chez les salariés permanents, nous proposons une visite médicale systématique des salariés saisonniers dans la mesure où il s'agit d'une population plus à risque : moins stable, moins médicalisée, et amenée à effectuer tous les travaux de force de la vinification. Ces examens seront axés principalement sur la sphère cardio-pulmonaire, avec comme examens complémentaires une exploration fonctionnelle respiratoire par spirométrie pulmonaire à la recherche de troubles obstructifs pouvant contre-indiquer l'exposition au dioxyde de soufre, et un électrocardiogramme voire un test d'effort pour juger de la capacité à occuper des postes durs physiquement et à charge cardiaque élevée.

Nous proposons aussi, dans la mesure des possibilités, de réaliser des examens médicaux préalables à la vendange chez les exploitants coopérateurs amenés à effectuer en cave des travaux physiques et exposant à des taux importants de CO₂ et parfois faibles en O₂ : décuvages automatiques, pénétration dans les Vinimatic™ pour leur nettoyage. Il s'agit en effet d'une population plus âgée que les salariés, à risque cardio-vasculaire plus important.



IX-2 - AMELIORATIONS DEJA EFFECTUEES

En ce qui concerne la cave A, dans laquelle les processus de réflexion se sont engagés rapidement et où des mesures d'améliorations ont été prises de suite après notre étude, une nouvelle campagne de métrologie CO₂/O₂ a été effectuée pour les vendanges 1997. Elle visait à contrôler l'efficacité et tester le nouveau type de ventilateur préconisé lors des décuvages traditionnels.

Dans des conditions identiques à celles de notre étude (même intensité de fermentation, même méthode de décuvage), la ventilation préalable puis concomitante est réalisée avec un ventilateur centrifuge à volutes dont la prise d'air est effectuée à l'extérieur de la cave. **Les taux atmosphériques de CO₂ sont inférieurs à ceux que nous avons retrouvés en 1996. Ils sont toujours inférieurs à 1%** et le comportement du gaz dans la cuve pendant le décuvage suit la même courbe descendante (cf. courbes ci-contre). Ils restent néanmoins supérieurs à la TWA. Les taux d'O₂ sont eux améliorés et sont supérieurs à 19,9 %. Les décuveurs ont ainsi ressenti une réelle amélioration de leurs conditions de travail.

X - PERSPECTIVES

X-1 - AUTRES RISQUES

Compte tenu des études de postes réalisées et de l'étude de la vinification dans son ensemble, il sera important de penser à un élargissement de la métrologie à d'autres risques de la vinification :

- la filtration du vin avec de la **terre à diatomées** : la durée de cette opération (3-4 mois), l'importance des aérosols de poussières, le contenu en silice cristalline de cette terre et encore plus son classement récent par le CIRC en cancérigène pour l'homme, incitent à réaliser assez rapidement une étude métrologique, mais aussi à rappeler les moyens individuels de prévention.
- les poussières de **bentonite** et de **perlite** doivent aussi être quantifiées dans l'atmosphère.
- qu'en est-il des teneurs en micro-organisme d'une cave vinicole ?
- quel est le coût cardiaque d'une opération de décuvage ?

X-2 - REFLEXIONS SUR LA SURVEILLANCE BIOLOGIQUE

Pour une appréciation globale de l'exposition des travailleurs aux substances chimiques présentes sur les lieux de travail, il est intéressant, de compléter les mesures d'exposition atmosphérique par une **surveillance biologique de l'exposition**. Il s'agit de la détermination la plus fidèle possible de la dose interne (64) par une mesure dans les milieux biologiques des travailleurs, de « la substance elle-même, ou d'un de ses métabolites, ou d'une modification biochimique provoquée par l'action de la substance » (47).

Les IBE (Indices Biologiques d'Exposition) sont les valeurs de référence de cette surveillance biologique à ne pas dépasser, et sont déterminées pour un nombre précis de substances (47).

Pour l'Ethanol

Les caractéristiques de l'exposition (contact direct avec l'éthanol liquide), et la toxicocinétique de l'éthanol atmosphérique (risque d'absorption cutanée dans certaines circonstances) incitent à réfléchir à un indice biologique d'exposition professionnelle car il n'y en a pas actuellement. Il existe cependant des indices biologiques d'imprégnation après ingestion, utilisés depuis longtemps (1965) dans le cadre de la législation sur l'alcool et la conduite automobile : le dosage de l'éthanol dans l'air expiré et le dosage de l'éthanol dans le sang.

MESURE DU TAUX D'ETHANOL DANS L'AIR EXPIRE

Pour le *dépistage* de l'alcool dans l'air expiré, deux types d'éthylotests sont utilisés dans le cadre de la loi par la Gendarmerie Nationale (78) : les appareils de catégorie A (dits « alcootests », ou « tests d'alcoolémie », ou traditionnels « ballons ») utilisables 1 seule fois, et les appareils de catégorie B, ou éthylotests électroniques, utilisables plusieurs fois.

Pour la *confirmation* d'un dépistage positif, deux méthodes sont utilisées : l'alcoolémie par prise de sang veineux, ou la mesure précise de l'éthanol de l'air expiré par spectrométrie infrarouge (éthylomètres).

En milieu professionnel viticole : PEYRE (76) cite sans précision des études réalisées chez des décuveurs ayant été exposés pendant 2 heures à des atmosphères riches en vapeurs d'éthanol. Des alcootests réalisés chez eux à la sortie des cuves n'ont jamais été positifs. Mais B. OLIVIER-ROUSSEL (73) retrouve chez des ouvriers viticoles du Bordelais des taux d'éthanol dans l'air expiré positifs (à l'aide de l'Alcootest-Ethylotest de Dräger) avec correspondances en éthanolémie positives, en fin de journée de décuvements. Des éthanolémies ont été pratiquées chez ces ouvriers dans des circonstances identiques : elles

étaient inférieures à 0,1 g/l, ce qui discrédite la méthode par Alcootest-Ethylotest en cas d'inhalation de vapeurs d'éthanol et nous permet de penser que l'éthanol détecté dans l'air expiré est celui qui a été immédiatement rejeté tel quel après inhalation sans avoir été absorbé.

MESURE DU TAUX D'ETHANOL DANS LE SANG

L'alcoolémie n'est pas ou très peu affectée par l'exposition aux vapeurs d'éthanol et autres alcools. Pour Pillière et Falcy (78), pour un sujet exposé à l'éthanol à une concentration voisine de 8500 ppm (8,5 fois la VME) pendant 6 heures et effectuant un travail de force (débit ventilatoire de 1800 l/h), l'alcoolémie maximale mesurée est de 0,47 g/l.

Campbell et Wilson (20) ont démontré que l'éthanolémie d'un sujet exposé à des concentrations atmosphériques d'éthanol de l'ordre de la V.M.E. (1900 mg/m³) pendant 3 heures, était indétectable à la fin de l'exposition, inférieure à 0,2 g/l.

MESURE DU TAUX D'ETHANOL DANS L'URINE

Une petite partie de l'éthanol absorbé s'élimine par cette voie, inchangé. Mais cette absorption n'est ni spécifique de l'éthanol absorbé par inhalation, ni de l'éthanol ingéré.

MESURE DU TAUX D'ETHANOL DANS LA SALIVE

La teneur de la salive en éthanol est identique à celle du sang. La réalisation de ce dosage peut être compliquée par la variabilité de la sécrétion. Mais cette excrétion est relevée après ingestion.

Compte tenu de cela et de l'expérience réalisée dans le Bordelais d'une part, et de l'interférence de l'absorption de boissons alcoolisées d'autre part, nous pouvons dire que l'éthanolémie ne peut pas représenter un indice IBE.

Pour le CO₂ : il n'existe aucun IBE, aucun métabolite n'est dosable dans les liquides biologiques. Mais seule la pression partielle de CO₂ dans le sang artériel (PCO₂) est augmentée. Ceci a été objectivé lors d'intoxications (52) et lors du coma hypercapnique. Mais la mesure de cette PCO₂ demande la réalisation de ponctions de l'artère radiale pour dosage des gaz du sang artériel, ce qui est plus difficile à mettre en œuvre que la ponction veineuse. De plus, l'IBE n'apporterait probablement pas d'avantage par rapport à la mesure de valeurs atmosphériques d'exposition car l'absorption cutanéomuqueuse est négligeable.

CONCLUSION

THESE SOUTENUE PAR : Jean-François BOURDÉS

TITRE : Evaluation de l'exposition toxique professionnelle lors de la vinification des Vins de Savoie.

CONCLUSION

La culture de la vigne, la transformation du jus de raisin en vin et sa commercialisation représentent une part importante de l'activité agricole française.

Si la viticulture engendre pour de nombreux exploitants des risques toxiques tout au long de l'année, lors de la mise en œuvre des produits phytosanitaires notamment, la vinification représente pour eux mais surtout pour de nombreux saisonniers et salariés des caves vinicoles, des risques importants concentrés sur une période courte : la saison des vendanges. Alors que de nombreuses études ont mesuré les taux atmosphériques de CO₂ et que des stratégies de prévention ont été développées pour diminuer ce risque, il existe très peu de données concernant l'exposition des ouvriers vinicoles à d'autres toxiques, notamment l'éthanol, ce qui constitue l'originalité de notre travail.

Une étude de poste en caves vinicoles associée à une revue de la littérature concernant les différentes techniques de vinification et la toxicité des produits utilisés, nous a permis de définir les opérations à risques toxiques potentiellement les plus élevés. Dans 2 caves coopératives vinicoles de Savoie, une évaluation quantitative de l'exposition des opérateurs a été réalisée pendant les phases les plus à risques à l'automne 1996, par métrologie atmosphérique des composés suivants : éthanol, acétaldéhyde, SO₂, CO₂, O₂.

Les opérations de sulfitage, bien que très courtes, exposent les salariés à des niveaux d'exposition en SO₂ très élevés (jusqu'à 6 fois la VLE), pouvant ainsi entraîner des pathologies irritatives allant parfois jusqu'à l'œdème aigu du poumon. La vidange des cuves automatiques après fermentation alcoolique entraîne des expositions en éthanol et CO₂ supérieures à 70% des VME, mais les taux d'O₂ restent toujours supérieurs à 20%. Pendant le décuver du marc, les niveaux sont encore plus élevés, atteignant 4 fois la VME pour l'alcool et 8 fois la TWA pour le CO₂, avec des taux d'O₂ voisins voire inférieurs à 18% au cours du décuver manuel. De plus, cette opération nécessite des efforts physiques importants dans une ambiance chaude et humide. Par contre, les concentrations en acétaldéhyde restent faibles quelle que soit l'opération. Des céphalées associées à des

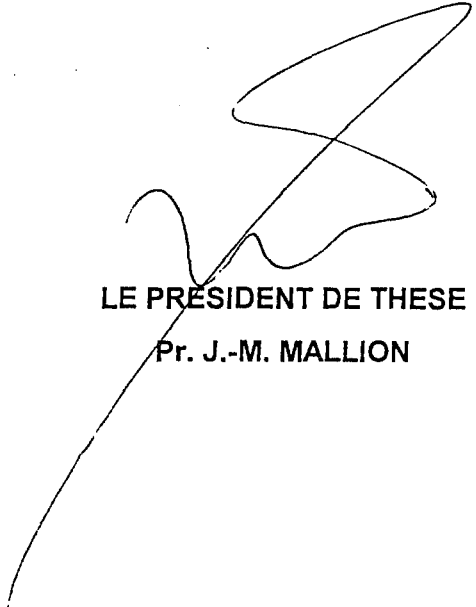
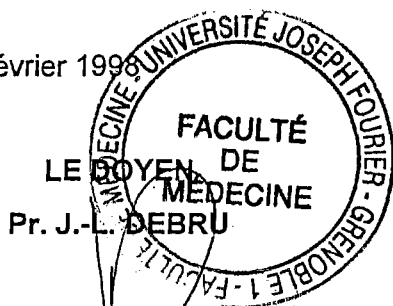
troubles de la vigilance sont fréquents, et un risque important d'asphyxie existe pendant le décuvage traditionnel, expliquant les morts subites rapportées dans la littérature.

Cette étude a permis de faire prendre conscience aux professionnels du vin des risques encourus, qui étaient nettement sous-estimés. La mise en place avec leur aide d'améliorations de la prévention collective a été possible dès les vendanges suivantes, et l'efficacité des mesures prises a déjà commencé à être évaluée.

Le suivi médical périodique centré sur les risques toxiques potentiels est important pour les salariés des caves coopératives mais également pour les travailleurs saisonniers juste avant les vendanges. L'information concernant les risques et les moyens de protection à utiliser doit être développée, mais c'est une tâche difficile au sein d'une profession mêlant technicité, tradition et précipitation. Enfin, le suivi biologique de l'exposition à l'éthanol semble être intéressant à mettre en place ainsi que l'évaluation de l'exposition à la silice libre pendant la filtration du vin avec de la terre à diatomées.

VU ET PERMIS D'IMPRIMER

Grenoble, le 27 Février 1998



LE PRÉSIDENT DE THESE
Pr. J.-M. MALLION

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

1. Acetaldehyde. Fiche n° 715. *Base de données CHEMINFO*. Canadian Centre for occupational Health and Security, Hamilton, 1997.
2. **AFNOR** Norme NF X 43-258. Qualité de l'air. Echantillonnage et analyse de polluants gazeux sur gel de silice. Prélèvement par pompage. Paris, AFNOR, 1987
3. Acétaldéhyde. Guide des sapeurs-pompiers genevois, 4^e mise à jour. Genève, 1994.
4. Aldéhyde acétique. Fiche toxicologique n°120, éd. 1991, I.N.R.S., Paris.
5. **AMDUR M.O., UNDERHILL D.** The effects of various aerosols on the response of guinea pigs to SO₂. *Arch. Environ. Health*, 1968 : 16 : 460-8.
6. **AUSTIN P.S., and DOUGHMAN D.J.** Reaction to intraocular penetration of bentonite. *Am. J. Ophth.* 1980 ; 89 : 719-23. Abstract from NIOSHTIC Data Bank. Hamilton : Canadian Centre for Occupational Health and Safety, 1996.
7. Bentonite. Fiche toxicologique, *base de données RTECS®*. National Institute for Occupational Safety and Health, Août 1996.
8. **BERNARD M.-A.** Enquête sur les intoxications par le gaz carbonique dans les caves de vinification en 1976-1977-1978 (Mémoire). Tours : Institut National de Médecine Agricole, 1980.
9. **BERNON J.** Diagnostic CO₂ dans une cave coopérative de l'Hérault. Montpellier : Caisse de Mutualité Sociale Agricole de l'Hérault, 1993 : 36 p.
10. **BERNON J.** Le piège du gaz carbonique. In : Le Vin - Viticulture - Vinification - Œnologie - Œnolisme. Prévention et traitement des risques. XXIII^e Symposium National de Médecine Agricole ; 19 Avril 1996 ; Tours : Institut National de Médecine Agricole, 1996 : pp.III 6-11.

11. **BIANVET L., MERILLON C.** Etude sur le dioxyde de carbone : comportement dans les cuves de vinification et les chais. Angoulême : Caisse de Mutualité Sociale Agricole de Charente Maritime, 1993 : 78 p.
12. **BISMUTH C., BAUD F.J., CONSO F., FREJAVILLE J.P., GARNIER R.** Toxicologie clinique, 4^e éd. Paris : Flammarion Médecine-Sciences, 1987.
13. **BOUANCHAUD-ESTERLE J.M.** Contribution à l'étude d'une appellation contrôlée : le Jurançon, son territoire, sa vinification, les risques inhérents aux toxiques et techniques employées et au vin lui-même (Mémoire). Tours : Institut National de Médecine Agricole, 1981.
14. **BOUTOUX M., LEROYER C., BERNARD R., DEWITTE J.D.** *Reactive airways dysfunction syndrome* après exposition aux vapeurs d'acide phosphorique. *Arch. Mal. Prof.* 1995 ; 1 : 45-7.
15. **BROWN E.W.** The physiological effects of high concentrations of carbon dioxide. *Nav. Med. Bull.* 1930 ;28 : 721-34.
16. **BYE E., GRIFFITHS D.M., GYLSETH B. and MONCRIEFF C.B.** In vitro cytotoxicity and quantitative silica analysis of diatomaceous earth products. *Br. J. Ind. Med.* 1984 ; 41 : 228-34.
17. **Caisses Centrales de la MUTUALITE SOCIALE AGRICOLE.** Toxicité des filtres utilisés en filtration du vin. *Information Documentation Santé Sécurité au Travail* 1997 ; 4 : 177-9.
18. **Caisses Centrales de la MUTUALITE SOCIALE AGRICOLE.** Lourd, le CO₂. Paris : CCMSA, 1991 : 28 p.
19. **CAISSE NATIONALE DE L'ASSURANCE MALADIE.** Cuves et réservoirs. Recommandations R 119 et R 276.
20. **CAMPBELL L. and WILSON H.K.** Blood alcohol concentrations following the inhalation of ethanol vapour under controlled conditions. *J. Foren. Sci. Soc.* 1986 ; 26 : 129-35.
21. Carbon dioxide. *Hazardous Substances Data Bank.* Hamilton : Canadian Centre for Occupational Health and Safety, August 1997.

22. **CHAMPEIX J.** Les effets pulmonaires des poussières de diatomite chez les travailleurs exposés. *Arch. Mal. Prof. Med. Trav. Secur. Soc.* 1962 ; 23 : 249-52.
23. **CHECKOWAY H., HEYER N.J., DEMERS P.A., and BRESLOW N.E.** Mortality among workers in the diatomaceous earth industry. *Br. J. Ind. Med.* 1993 ; 50 : 586-97.
24. **CODE DU TRAVAIL.** Articles L.232-5-12 et L.233-2.
25. **Connaître et choisir le vin (Encycl.).** Paris : Hachette, 1996.
26. **COOPER W.C.** Radiographic survey of perlite workers. *J. Occup. Med.*, 1975 ; 17 : 304-7.
27. **Diagnostic CO₂.** Paris : Caisse Centrale de la Mutualité Sociale Agricole.
28. **Dioxyde de soufre.** Fiche technique Promosafe 85/2, 1985.
29. **Dioxyde de soufre.** Fiche toxicologique n°41, éd. 1996, I.N.R.S., Paris.
30. **DUCLUZEAU R., COPPERE B., NINET J.** Alcoolisme : intoxication aiguë et chronique, syndrome de sevrage. *Rev. Prat.* 1993 ; 43, 12 : 1597-1606.
31. **DYAN A., BIENTZ M., BIGNON J.** Anhydride sulfureux et pathologie respiratoire à propos d'un cas d'inhalation accidentelle. *Arch. Mal. Prof.* 1977 ; 38 : 677-80.
32. **ENGLANDER V., SJÖBERG A., ATTEWELL R., SCHÜTZ A., MÖLLER T., and SKERFVING S.** Mortality and cancer morbidity in workers exposed to sulphur dioxide in a sulphuric acid plant. *Int. Archiv. Occup. Environ. Health* 1988 ; 61 : 157-62.
33. **Ethanol.** Fiche toxicologique n°48, éd. 1992, I.N.R.S., Paris.
34. **FREULET J.-M.** Communication écrite. Service de Prévention des Risques professionnels, Caisse de Mutualité Sociale Agricole du Rhône, 1996.
35. **Gare aux gaz !** Mâcon : Caisse de Mutualité Sociale Agricole de Saône et Loire, 1988 : 22 p.

36. **GARNIER R., CHATAÏGNIER D., EFTHYMIU M.L.** Aldéhydes. Editions techniques. Encycl. Méd Chir. (Paris, France). Intoxications, Pathologie du travail, 16048 A⁵⁰, 9-1990, 13 p.
37. **GAUDICHET A., SEBASTIEN P., DUFOUR G., BONNAUD G., BIENTZ M., BIGNON J. and PUISAIS J.** Asbestos fibers in wines : relation to filtration process. *J. Environ. Path. Tox.* 1978 ; 2 : 417-25.
38. **GAUTIER J.F.** Les Vins de France. *Que sais-Je ?* Paris : Presses Universitaires de France, 1994.
39. **GIMENEZ A.** Enquête menée dans quelques caves coopératives d'Aquitaine (Mémoire). Tours : Institut National de Médecine Agricole, 1978.
40. **GIREL R.** Le Vignoble Savoyard et ses vins. Grenoble : Glénat, 1985.
41. **GIRRE C., HISPARD E. et TUSZYNSKI T.** Toxicité de l'éthanol. Encycl. Méd. Chir. (Paris, France), Toxicologie-Pathologie professionnelle, 16-047-A-20, 1995, 8 p.
42. **GUENIER J.P., MULLER J.** Echantillonnage des polluants organiques dans les atmosphères de travail. Adsorption sur gel de silice. *Cahiers de Notes Documentaires* 1986 ; 125 : 469-75.
43. Hazard Data Sheets, BDH, 1989.
44. **HOLFORD N.H.G.** Clinical pharmacokinetics of ethanol. *Clin. Pharmacokinet.* 1987 ; 13 : 273-92.
45. **IARC** Monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans. Sulfur dioxide and some sulfites, bisulfites and metabisulfites. Lyon : International Agency for Research on Cancer, 1992, 54, pp. 131-188.
46. **IKEDA N., TAKAHASHI H., UMETSU K., SUZUKI T.** The course of respiration and circulation in death by carbon dioxide poisoning. *Forensic Sci. Int.* 1989 ; 41 : 93-9.
47. **INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE ET DE SECURITE.** Indices Biologiques d'Exposition. *Cahiers de Notes Documentaires* 1995 ; 160 : 355-67.

48. **INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE ET DE SECURITE.** La diatomite. *Travail et Sécurité* 1986 ;11: 594-8.
49. **INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE ET DE SECURITE.** Micro-organismes : les risques dans les cuves à vin en ciment (réponse à un lecteur). *Travail et Sécurité* 1994 ; 522 : 164-5.
50. **INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE ET DE SECURITE.** Valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France. ND 1945-153-93, mise à jour 1995. *Cahiers de Notes Documentaires* 1993 ; 153 : 557-74
51. **INSTITUT TECHNIQUE DE LA VIGNE ET DU VIN.** Guide du viticulteur. Paris : ITV, 1988.
52. **JALLET M.F.** Contribution à l'étude des accidents chez les travailleurs exposés à des atmosphères viciées par accumulation de gaz carbonique (Thèse). Montpellier : Université de Montpellier, 1971 : 50 p.
53. **JOBEZ P.** Intoxication par inhalation de gaz carbonique dans les caves de vinification (Thèse). Dijon : Université de Bourgogne, 1995 : 176 p.
54. **JONES R.N., WEILL H. and PARKES W.R.** Disease related to non-asbestos silicastes. In : Parkes W.R. editor. *Occupational Lung Disorders*, 3rd ed. Oxford : Butterworth-Heinemann Ltd, 1994 : 556.
55. **JONES R.N., WEILL H. and PARKES W.R.** Non-neoplastic disorders due to metallic, chemical and physical agents. In : Parkes W.R. editor. *Occupational Lung Disorders*, 3rd ed. Oxford : Butterworth-Heinemann Ltd, 1994 : 6 -629.
56. **JONES R.N., WEILL H. and PARKES W.R.** Perlite. In : Parkes W.R. editor. *Occupational Lung Disorders*, 3rd ed. Oxford : Butterworth-Heinemann Ltd, 1994 : 331.
57. **JONES R.N., WEILL H. and PARKES W.R.** Silicosis and related diseases. In : Parkes W.R. editor. *Occupational Lung Disorders*, 3rd ed. Oxford : Butterworth-Heinemann Ltd, 1994 : 326-30.

58. **JORNA T.H., BORM P.J., KOITER K.D., SLANGEN J.J., HENDERSON P.T., and WOUTERS E.** Respiratory effects and serum type III procollagen in potato sorters exposed to diatomaceous earth. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 1994 ; 66 : 217-22.
59. **KRUHØFFER P.W.** Handling of inspired vaporized ethanol in the airways and lungs (with comments on forensic aspects). *For. Sc. Int.* 1983 ; 21 : 1-17.
60. La fermentation alcoolique. *Encyclopædia Universalis France S.A.*, CD-ROM, 1996.
61. **LACHAPELLE J.M., FRIMAT P.** Dermatologie professionnelle et de l'environnement. Paris : Masson, 1992, p. 65.
62. **LARCHE-MOCHEL M., BOUVET M., VERDUN-ESQUER C., DALM C.** A propos d'un accident mortel dans une cuve à vin. *Arch. Mal. Prof.* 1994 ; 55 : 631-2.
63. **LAUWERYS R.** Gaz et vapeurs irritants et asphyxiants. In : Toxicologie Industrielle et Intoxications professionnelles, 3^e éd. Paris, Masson, 1990.
64. **LAUWERYS R.** et **BERNARD A.** Surveillance biologique des expositions toxiques environnementales et professionnelles. - Editions techniques - *Encycl. Méd. Chir.* (Paris-France), Intoxications, Pathologie du Travail, 16001 I¹⁰, 9-1990, 5 p.
65. Les Vins de France. Lucerne : Dormonval, 1991 : 250 p.
66. **MELKONJAN A.M., AGEKJAN F.G., MURADJAN S.P.** Problèmes d'hygiène du travail lors de la production de poudre de bentonite. *Gigiona Truda i Professional'nye Zabolevanija*, 1981 ; 2 : 19-21. Abstract n° 39017 tiré de la base de données CISILO. Hamilton : Centre Canadien d'Hygiène et de Sécurité au Travail, 1997.
67. Mesures CO₂ - Vendanges 1993-1994. Dijon : Caisse de Mutualité Sociale Agricole de Côte d'Or, 1994 : 28 p.
68. **MILLER T.M., MAZUR P.O.** Oxygen Deficiency Hazards Associated with Liquefied Gas Systems : Derivation of a Program of Controls. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1984 ; 45 : 293-8.

69. **MINISTERE DU TRAVAIL.** Circulaire du 19 Juillet 1982 (non parue au J.O.).
70. **MUENIER B.** Exposition professionnelle à l'anhydride sulfureux (SO₂) : étude dans 24 caves de vinification du département du Rhône. Présentation de cas cliniques. (Mémoire). Lyon : Université Claude Bernard, 1996.
71. **NEMERY B., VAN KERCKHOVEN W., VERBEKEN E.K., DINSDALE D. and DEMEDTS M.** An unexpected risk of pneumoconiosis in breweries. Abstract from NIOSHTIC® Data Bank, MS-DOS version, 1996.
72. **NIOSH** Pocket Guide to Chemical Hazards. Cincinnati : National Institute of Occupational Safety and Health, 199 .
73. **OLIVIER-ROUSSEL B.** Evaluation de l'exposition des ouvriers de chais du Médoc à différents polluants chimiques : anhydride carbonique, dioxyde de soufre, alcool éthylique (Mémoire). Grenoble : Université Joseph Fourier, 1996
74. **OSTERMAN J.W., GREAVE I.A., SMITH T.J., HAMMOND S.K., ROBINS J.M. and THERIAULT G.** Respiratory symptoms associated with low level sulphur dioxide exposure in silicon carbide production workers. *Br. J. Ind. Med.* 1989 ; 46 : 629-35
75. **PEYNAUD E.** Connaissance et travail du vin. Paris : Dunod, 1984 : 340 p.
76. **PEYRE A.** Etude relative à la présence de gaz carbonique et de vapeurs d'alcool dans les caves de vinification (Mémoire). Tours : Institut National de Médecine Agricole, 1972.
77. **PHIBBS B.P., SUNDIN R.E. and MITCHELL R.S.** Silicosis in Wyoming bentonite workers. *Am. Rev. Respir. Dis.* 1971 ; 103 : 1-17.
78. **PILLIERE F., FALCY M.** Diminution du taux légal d'alcoolémie : quelles incidences pour les salariés professionnellement exposés aux produits chimiques ? *Documents pour le Médecin du Travail* 1997 ; 69 : 3-12.
79. **POUZET P.** Toxicité du dioxyde de soufre à partir d'une observation rapportée au centre anti-poisons de Tours (Mémoire). Paris : Université PARIS VII, 1993.

80. **RADZISZEWSKI E.** Effets physiologiques chez l'homme du confinement de longue durée en atmosphère enrichie en dioxyde de carbone (Thèse). Lyon : Université Claude Bernard, 1987, 329 p.
81. **RENVOISÉ G.** Le monde du vin. Art ou bluff. Rodez : Editions du Rouergue, 1996 : 363 p.
82. **RIBEREAU-GAYON P.** Le vin. *Que sais-je ?*, 2^{nde} édition corrigée. Paris : Presses Universitaires de France, 1991.
83. **ROSENBERG N. et GERVAIS P.** Persulfates et Sulfites; Editions techniques. Encycl. Méd. Chir. (Paris, France), Intoxications, Pathologie du Travail, 16 020 A¹⁰, 9-1990, 2 p.
84. **SANDSTRÖM T., STJENBERG N., ANDERSSON M.-C., KOLMODIN-HEDMAN B., LINDSTRÖM K. and ROSENHALL L.** Cell response in bronchoalveolar lavage fluid after sulfur dioxide exposure. *Scand. J. Work Environ. Health* 1989 ; 15 : 142-6.
85. **SAVIC et al.** Discomfort and laboratory findings in workers exposed to sulfur dioxide. *Int. Arch. Occup. Env. Health*, 1987, 59 : 513-8.
86. **SAX'S** Dangerous Properties of Industrial Materials, 2th ed., 1990.
87. **SCANSETTI G., MOLLO F., ANDRION A. and PIOLATTO G.** Pleural Mesothelioma After a Short Interval From First Exposure in the Wine Filter Industry. *Am. J. Ind. Med.* 1984 ; 5 : 335-9.
88. **SEITZ B., GAUCHER P., and REVERDY C.** A propos d'un cas de silicose chez un employé de teinturerie pressing. *Arch. Mal. Prof.* 1982 ; 6 : 477-82.
89. Silicon dioxide. *Hazardous Substances Data Bank*. Hamilton : Canadian Centre for Occupational Health and Safety, August 1997.
90. **SINACEUR J., NORDMANN R., GUYEN PHU LICH N., WARNET J.M.** Toxicologie et métabolisme de l'éthanol. *Le moniteur Internat* Mai 1988 ; 6 : 53-66.
91. **STACY R., HOUSE D., FRIEDMAN M., HAZUCHA M., GREEN J., RAGGIO L. et al.** Effects of 0,75 ppm sulfur dioxide on pulmonary function parameters of normal human subjects. *Arch. Environ. Health* 1981 ; 36 : p.172.

92. **TESTUD.** Pathologie toxique en milieu de travail. Lyon : Lacassagne, 1993.
93. The Merck Index, 11th ed. Rahway, Merck & Co, 1989.
94. **THIBAUDIER-MICHEL.** Etude de la sécurité dans les caves coopératives du Beaujolais (Mémoire). Lyon : Université Claude Bernard, 1985.
95. **THOMAS-NALSON R.** Les accidents du travail dans les caves coopératives de vinification en rouge. Rôle préventif du médecin de la M.S.A. (Mémoire). Tours : Institut national de médecine agricole, 1982.
96. **USSEGLIOT-TOMASSET L.** Chimie œnologique. Techniques et documentations. Lavoisier, Paris, 1989.
97. **VANNOBEL C.** Protection contre les émanations de gaz carbonique dans les caves. *Rev. Fr. Oenol.* 1989 ; 119 : 47-9.
98. **VIAU C., TALBOT D.** L'absorption cutanée des contaminants en milieu de travail. *Etudes et recherches*, Dpt de Médecine du Travail et d'Hygiène du Milieu, Montréal.
99. **VIRTA R.L.** Asbestos substitutes : matching performance. *Industrial Minerals* 1992 ; december : 47-51.
100. **WHO.** Acetaldehyde. Health and Safety Guide 90. Geneva : World Health Organization, 1994.
101. **WILCOSKY T.C., TYROLER H.A.** Mortality from heart diseases among workers exposed to solvents. *J. Occup. Med.* 1983 ; 25 : 879-85.

ANNEXES

QUELQUES SUBSTANCES VOLATILES DU VIN

Alcools

méthanol
éthanol
propanol-1
propanol-2
butanol-1
méthyl-2 propanol-2
butanol-2
méthyl-2 butanol-1
méthyl-3 butanol-1
hexanol
heptanol
phényléthanol...

Composés carbonyles

éthanal
propanal
butanal
pentanal
hexanal
acétone
acétoïne
diacétyl
acétal...

Acides

formique
acétique
propionique
butyrique
valérianique
caproïque
œnanthique
caprylique
laurique...

Esters

formiate d'éthyle
acétate d'éthyle
acétate d'isopropyle
acétate d'isobutyle
acétate d'isoamyle
acétate de phényléthyle
propionate d'éthyle
butyrate d'éthyle
valérianate d'éthyle
caproate d'éthyle
œnanthate d'éthyle
caprylate d'éthyle
undécanate d'éthyle
laurate d'éthyle
lactate d'éthyle
succinate d'éthyle...

Terpènes et autres composés

gérianol
terpinéol
limonène
linalol
nérol
citronellol
ionone
farnésol
vanilline
anthranilate de méthyle
salicylate d'éthyle
tyrosol
tryptophol...

LEXIQUE

- **anthocyane** : pigment violet foncé teintant la peau des raisins rouges ou noirs, et par suite le moût et les vins rouges. Ces pigments sont sensibles à l'oxydation, c'est pourquoi la robe des vins rouges évolue avec l'âge
- **assemblage** : mélange de plusieurs vins de même qualité et de même origine.
- **astringence** : sensation d'origine chimique qui provoque la constriction des muqueuses buccales. Tout se passe comme si les muqueuses se desséchaient et que la salive ne jouait plus son rôle de lubrifiant
- **bourbes** : éléments solides en suspension dans un moût. On distingue les grosses bourbes, ou bourbes épaisses, des bourbes fines. Les premières sont d'origine végétale et proviennent des raisins, tandis que les secondes se situent dans l'univers microscopiques des bactéries et levures...
- **centrifugation** : méthode de clarification des vins consistant à séparer les éléments solides du substrata liquide au moyen de la force centrifuge. De très nombreux vins blancs sont centrifugés.
- **chaptalisation** : addition de sucre dans la vendange, contrôlée par la loi, afin d'obtenir un bon équilibre du vin par augmentation de la richesse en alcool lorsque celle-ci est trop faible.
- **colle** : produit destiné au collage des vins. Il existe de très nombreux produits non solubles dans le vin qui ont le pouvoir d'entraîner les impuretés vers le bas de la cuve. Il peut s'agir de blanc d'œuf ou d'albumine, de gélatine, de bentonite, de poudre de sang...
- **coopérative** : mise en commun d'installations de vinification et de commercialisation et répartition des bénéfices réalisés en fonction des apports.
- **cuvaison** : période principale de la vinification des vins rouges pendant laquelle, après la vendange, les matières solides restent en contact avec le jus en fermentation dans la cuve. Elle permet l'extraction de la couleur, des tannins, des arômes, et de diverses substances secondaires. Sa longueur détermine la coloration et la force tannique du vin, et donc sa qualité.
- **cuves rotatives autovidantes** : elles se présentent sous forme de tank horizontal cylindrique. Elles soit montées sur galet, soit montées sur axe central. À l'intérieur du compartiment de la vendange, est aménagé un appareillage en forme de vis d'Archimède,

en acier inoxydable. Ce montage sert à déchirer et enfoncer le chapeau de marc, et à vider après soutirage du jus ou du vin.

- **débourage** : premier soutirage, pour séparer du moût les bourbes ou grosses lies. Ce sont des éléments qui encombrant le moût qui s'écoule du pressoir. Les moûts issus de pressurage pneumatique sont moins chargés en bourbes.
- **décuvage** : opération qui consiste à vider une cuve après fermentation alcoolique et macération
- **écoulage** : opération de la vinification en rouge qui consiste à séparer par gravité le vin de goutte du marc après fermentation alcoolique.
- **lie** : matière solide et visqueuse qui se dépose au fond d'un récipient. Les grosses lies sont éliminées au premier soutirage, et ne présentent aucun intérêt œnologique ou organoleptique. Les fines lies, elles, sont préservées dans les vins blancs qui sont frais et perlants. Exemple : Crépy de Savoie.
- **macération** : contact ± prolongé entre le jus et les parties solides du raisin, elle permet au jus incolore des baies de se charger en couleur, en éléments aromatiques et en tanins (extraction). Courte, elle donne naissance aux vins rosés. Longue, elle est destinée aux vins de garde. Les vins d'une nuit sont des vins légers (« vins de café » d'autrefois).
- **marc** : 1- masse compacte que l'on retire du pressoir après extraction complète du jus. Ce résidu est très exploité : huile de pépins de raisins, compost, combustible.
2- eau-de-vie obtenue par distillation du marc de raisin.
- **moût** : jus qui s'écoule lors du pressurage des raisins non fermentés.
- **mustimètre** : appareil destiné à mesurer la densité relative d'un moût, donc sa teneur en sucre à une température donnée.
- **pigeage** : opération de vinification en rouge, consistant une ou deux fois par jour à enfoncer la partie solide ou chapeau, qui, poussé par le gaz carbonique, s'accumule à la surface de la cuve en fermentation. Elle a pour but de remettre le moût au contact des pellicules, en favorisant l'extraction des anthocyanes et des tannins responsables de la couleur. Ce procédé est maintenant mécanisé dans beaucoup de domaines possédant des cuves à pigeage automatique.
- **piqûre acétique** : cf.
- **piqûre lactique** : cf.
- **polyphénol** : molécule de base de la matière colorante, comprenant aussi les tanins et les anthocyanes.
- **pressurage** : cf.
- **rafles** : ensemble du pédoncule et des pédicelles, formant le squelette d'une grappe de raisin.

- **remontage** : cf.
- **soutirage** : opération dans laquelle le vin est séparé de ses lies. Elle peut se faire à l'abri de l'air s'il est fragile à l'oxydation ou, au contraire, à l'air pour l'oxygéner s'il est robuste. Le transfert dans un autre récipient se fait en général avec un léger apport de dioxyde de soufre.
- **sucre de raisin** : il ne s'agit pas de saccharose, mais de fructose et glucose, qui ne cristallisent pas.
- **sulfitage** : cf.
- **tannin** : groupe de substances contenues dans la peau, les pépins et un peu moins dans la rafle du raisin. C'est l'élément indispensable de la tenue des vins rouges. Les quantités sont variables selon les cépages.
- substances volatiles : corps qui se dispersent dans l'atmosphère. Si le vin n'en contenait pas, il ne dégagerait aucun arôme. Il en existe 4 familles : les alcools, les aldéhydes, les esters et les cétones.
- **vin de goutte** : vin rouge qui s'écoule des cuves après fermentation.
- **vin de presse** : vin que l'on extrait du marc fermenté lorsqu'il passe sur le pressoir. Il est plus chargé en tannin que celui de goutte et son acidité volatile est également plus importante.
- **vinaigre de vin** : produit obtenu par la fermentation acétique du vin.

CAVE A

TAUX INSTANTANES MAXIMAUX DE CO₂ ET O₂

27 SEPTEMBRE 1996

Début de la campagne de vendanges

1 seule cuve béton est en fermentation : cuve n°17 (chardonnay) ;

4 autres cuves remplies de rouge (gamay) pas encore en fermentation

les 6 Vinimatic sont remplies : 1 seule est en tout début de fermentation

temps couvert - pas de vent

	Activité en ce lieu	Pt de prélèvement	Hre	CO ₂	O ₂
2è étage vieille cuvierie	cuve 17 = début de F.A. (blanc) ventilation : petits fenestrons fermés activité de levurage : 3/4 d'heure	trappe sup. de cuve 17	15:03	0,34	20,7
			16:45	0,22	20,9
		trappe sup. de cuve 18	15:18	0,16	
		passerelle supérieure	16:47	0,25	20,8
1er étage vieille cuvierie	ventilation ++ naturelle (porte de cour = ouverte)	palier de l'escalier	15:16	0,09	20,8
		"	17:05	0,23	20,8
		pendant remontage de cuve 5	17:00	0,34	20,8
		passerelle			
RDC v.c.	ventilateur -extracteur en marche ---	devant cuve 12	15:27	0,15	
			17:08	0,24	20,7
Aire des pressoirs		à côté du filtre	15:30	0,07	
		"	16:33	0,14	20,8
		sur passerelle / 2è pressoir	16:38	0,06	20,8

LIEU	Activité en ce lieu	Pt de prélèvement	Hre	CO ₂	O ₂
SALLE DES VINIMATIC	opération d'oxygénation de la cuve	Vini 1			
		sous la cuve (fosse)	15:35	2,13	
		"	17:36	1,14	20,6
		en face de trappe <	15:37	1,95	
		"	16:26	2,11	20,4
		"	17:26	0,23	20,8
	trappe > (fermée)	16:23	0,70	20,7	
		trappe > (ouverte)	17:20	0,75	20,7
		Vini 2			
		trappe >	16:20	0,32	20,8
		Vini 3			
	les 6 cuves sont pleines de vendange rouge 1 seule est en fermentation débutante : la vini 1	sous la cuve (fosse)	16:03	0,68	
		en face trappe <	16:05	0,36	
"		16:12	0,18		
passerelle du haut (entre vini 2 et 3)		16:14	0,48		
Haut de l'escalier (vers vini 1)		16:16	0,66		
Passerelle du haut (entre vini 4 et 5)		17:41	0,75	20,6	

TAUX INSTANTANES MAXIMAUX DE CO₂ ET O₂

02 OCTOBRE 1996

temps beau - pas de vent
 vinimatic en pleines fermentations : 2 décuvages ce jour
 cuverie traditionnelle : 1 décuvage ce jour

LIEU	Activité en ce lieu	Pt de prélèvement	Hre	CO ₂	O ₂
REZ-DE- CHAUSSEE de vieille cuverie	préparation décuvage - ventilo = M	devant cuves 1 et 2	07:30	2,28	20,5
		"	07:41	2,31	"
	décuvage terminé , tapis d'évacuation démontés chaptalisation cuve 8	"	10:33	0,85	"
		"	11:20	1,04	
		"	14:12	0,68	20,6
		"	16:32	1,53	20,4
	ouverture trappe avant décuvage ---	devant cuve 14	07:59	2,21	
	en plein décuvage flux d'air +++ 6 à 7 m/s	entrée de trappe cuve 14 (en entrant l'appareil de 30 cm dans la cuve)	08:15		20
		"			19
		"			18,2
		"			18,6
		"			20
		"			19,8
		"	08:44		18,9
	"			19,9	
	chaptalisation de cuve 8, les deux jeunes sont présents, le ventilo ne marche pas	à côté cuve 7	11:21	1,02	
			11:31	1,53	
		petit laboratoire	07:42	0,16	
vieille salle stockage		entrée	10:35	0,26	20,8
1er étage vieille cuverie		escalier	10:25	1,50	20,6
		"	11:22	1,31	
		"	16:18	0,88	20,6
		devant cuve 30	14:20	1,13	20,4
		"	16:21	0,98	20,7
2è étage vieille cuverie		trappe > cuve 17	14:45	1,17	
		trappe > cuve 29	14:35	1,02	
		passerelle	14:50	0,80	

LIEU	Activité en ce lieu	Pt de prélèvement	Hre	CO ₂	O ₂
Salle des VINIMATIC	écoulage de la vini 2 -----	Vini 2	10:09	0,95	20,7
	décuvage -----		10:46	1,70	20
	décuvage -----		11:00	1,68	
		trappe > de vini 6	10:10	3,6	20,3
	ouverture pour oxygénation -----	trappe > vini 5		3,5	"
	écoulage de vini 4 -----	vini 4	14:25	0,82	20,4
	"			à 1,80	
	"		14:52 à		
	"		15:53	0,83	20,6
	"			à 2,45	à 19,9

TAUX INSTANTANES MAXIMAUX DE CO₂ ET O₂

03 OCTOBRE 1996

temps au beau fixe - pas de vent

cave fermée toute la nuit, ouverte à 6 heures du matin pour la "prise des densités"

LIEU	Activité en ce lieu	Pt de prélèvement	Hre	CO ₂	O ₂
rez -de - chaussée vieille cuvierie	après décufrage de la 13, tapis démontés tentative d'ouverture de la porte de la cuve 6 pour son décufrage	devant cuve 1 et 2	09:47	0,98	20,6
		devant cuve 6	14:18	1,09	20,4
1er étage vieille cuvierie	oxygénation de la cuve inférieure ouverture progressive de la cuve 6 en bas pas d'air, petits fenestrons ouverts	devant cuve 21	14:25	0,92	20,4
		passerelle	14:37	1,32	
			15:29	1,15	20,3
		escalier	15:31	1,42	20,5
		"	15:37	0,73	
pressoirs	contient marc rouge de cuve 13 pendant vidange de cuve 3	passerelle vers Bücher	10:02	0,06	20,5
		aire de circulation	10:05	0,63	20,4
local à outils et produits	pendant vidange de cuve 3		15:33	0,31	20,7

Salle des VINIMATIC	vidange de vini 6	sous la vini 2	09:35	0,52	20,4	
		entrée hangar	09:38	0,53	20,8	
			14:49	0,71	20,7	
		sous vini 6 , à 50 cm du flot de vin			1,31	20,3
		puis			1,91 à 0,70	

TAUX INSTANTANES MAXIMAUX DE CO₂ ET O₂

16 OCTOBRE 1996

- plafond bas - pluie - température fraîche
- 1 décuvage traditionnel ce jour : le dernier de 1996 (cuve 7)
- 3 cuves remplies de blanc, en fermentation
- toutes les autres cuves = pleines = stockage de vin en cours de 2nde fermentation (F.M.L.)
- Vinimatic 1 en début de fermentation, la seule pleine.

LIEU	Activité en ce lieu	Pt de prélèvement	Hre	CO ₂	O ₂
rez -de - chaussée vieille cuverie	avant décuvage de la cuve 7 sa trappe est ouverte, flux d'air de la chaminée d'aération qui a été effectuée la cuve est ouverte depuis 48 h	devant cuve 7	07:53	1,05	20,7
	pendant décuvage	dans cuve 7		cf courbe	
1er étage vieille cuverie	juste avant le décuvage 60 cm au dessus de la trappe	trappe > cuve 7	08:00	0,96 0,85 0,80	
	à côté de la bouche venant du haut vin blanc en fermentation	devant cuve 30	09:54	0,72	20,6
	air venant du 2 ^e étage	sous la bouche	09:56 09:57	0,62 4,6	" 20
	prélèvement au sol à côté de bouillonnement (cuve 3 en FA)	trappe > de cuve 3	10:03	23	16,7
	porte cour ouverte -----	escalier	09:50	0,36	20,7
	idem ----- fermée -----	" "	09:53 10:20	0,31 0,64	" 20,7
2^e étage vieille cuverie	cuve pleine de blanc en fermentation	trappe > cuve 30	09:45	0,67	20,7
		trappe > cuve 18	09:47	0,72	20,6
		idem 10 cm au-dessus	09:49	0,80	20,5
pressoirs	ce presseoir est en marche (contient du marc rouge)	passerelle vers Bücher	09:38	0,27	20,8
Vinimatic	hangar ouvert	devant vini 1	09:41	0,23	20,8
	à 1 mètre de l'aération naturelle	sous vini 1 (fosse)	09:42	0,21	

CAVE B

TAUX INSTANTANES MAXIMAUX DE CO₂ ET O₂

08 OCTOBRE 1996

20 cuves Vinimatic /28 en fermentation
 la moitié des cuves de blanc sont pleines, en pleine fermentation
 temps beau - pas de vent
 peu d'activité ce jour
 cave fermée toute la nuit avec ventilateurs en marche

LIEU	Activité en ce lieu	Pt de prélèvement	Hre	CO ₂	O ₂
↑ ↓	porte hangar ouverte ----- <i>ventilateur-extracteur en marche</i>	① entrée de la salle Vini	07:45	0,79	20,8
	porte hangar ouverte ----- <i>ventilateur-extracteur en arrêt</i>	① pilier passerelle Vini 24	08:52	2,00	20,5
	porte hangar fermée -----	"	09:22	1,49	20,5
	passage fenwick - porte ouverte ----	"	10:26	1,65	20,5
	fermeture de la porte -----	"	10:28	0,70	20,7
	porte fermée -----	"	10:30	1,30	20,5
	porte à peine ouverte -----	"	14:31	0,95	20,6
			15:27	0,84	20,6
	les 2 vini sont en pleine F.A. <i>(décuvage 2 jours après)</i>	② passerelle entre V. 9 et 10	08:55	2,03	20,5
		"	10:33	1,91	20,5
		"	14:35	1,51	20,1
	porte hangar ouverte à fond - 0 m/s	"	15:31	1,40	20,5
		③ passerelle du haut	09:00	1,45	20,5
		"	10:36	1,21	20,4
		"	14:37	1,21	20,4
		"	15:33	1,16	20,6
	porte hangar ouverte -----	④ passerelle supérieure s/ V .4	09:03	1,46	20,5
	porte hangar fermée -----	"	10:38	1,43	20,4
	(Marie a des céphalées)	"	14:39	1,89	20,3
		⑤ sous la Vini 8	14:33	2,54	20,2
escalier du caveau	porte du hangar à vini = fermée ,	⑥ bas escal. (pas de la porte)	14:56	2,07	20,4
	pas de flux d'air	⑦ haut escalier = /s Vini 22	15:00	2,46	20,4
aire de préparation métrologie	à côté de la porte du hangar, ouverte à fond	⑧	15:50	0,11	20,8

LIEU	Activité en ce lieu	Pt de prélèvement	Hre	CO ₂	O ₂
↑ Salle des BLANCS ↓	ventilateur du fond en marche -----	9 entrée salle	07:55	0,70	20,7
	ventilateurs en arrêt -----	10 en face du filtre	09:03	1,01	20,6
	idem + porte hangar blancs = fermée ----	"	10:40	1,58	20,5
	-	"	11:27	0,26	20,6
	porte hangar blancs = ouverte -----	"	14:28	0,61	20,6
	idem - pas d'activité -----	"	15:20	0,42	20,7
	le ventilateur est en arrêt	11 fond couloir A	09:06	0,77	20,6
	bouche d'évacuation des gaz de la cuve de blancs n°38	12 10 cm sous la bouche "	09:08 10:48	35 39	15
	porte hangar = fermée / ventilo = stop - --	13 coin de la cuve n°32	10:43	1,38	20,5
	porte hangar = ouverte -----	"	14:25	0,80	20,7
idem -----	"	15:25	0,65	20,6	
Aire des pressoirs	ventilation = nulle	14 passage entre les 2 et les 4	09:17	0,43	20,7
	pas de pressurage de marc rouge	"	11:15	0,84	20,7
	"	"	14:50	0,37	20,6
	"	15 cabine "de pilotage"	11:17	0,69	20,6
Aire de débouillage	pompes de bourbes marchent	16 au milieu des cuves de débouillage	09:21	0,22	20,8

TAUX INSTANTANES MAXIMAUX DE CO₂ ET O₂

14 OCTOBRE 1996

3 cuves Vinimatic /28 en fermentation, la moitié des cuves de blanc sont pleines
 temps beau - pas de vent
 arrivée ++ de vendange rouge (Mondeuse)
 cave fermée toute la nuit avec ventilateurs en marche

LIEU	Activité en ce lieu	Pt de prélèvement	Hre	CO ₂	O ₂
↑ Salle des VINIMATICI	porte hangar un peu ouverte -----	① pilier passerelle Vini 24	08:52	0,33	20,4
	porte plus ouverte (au 1/3) -----	"	09:09	0,22	20,5
	porte un peu ouverte -----	"	10:29	0,34	20,6
	très peu d'activité dans cette salle	"	14:43	0,58	20,6
	début de fermentation	17 sur passerelle dvt Vini 13	09:12	0,23	20,5
	début de fermentation	18 sur passerelle dvt Vini 7	09:16	0,39	20,5
escalier du caveau	porte du hangar à vini = ouverte	⑥ bas escal. (pas de la porte)	11:15	0,26	20,5
	et porte du caveau = fermée	⑦ haut escalier = /s Vini 22	"	0,18	20,5
Aire des pressoirs	lavage des pressoirs : ont pressé du marc rouge jusqu'à la veille au soir	14 passage entre les 2 et les 4	09:15	0,41	20,5

LIEU	Activité en ce lieu	Pt de prélèvement	Hre	CO ₂	O ₂
Salle des BLANCS	porte hangar = ouverte , ventil = oui ventilateur ne marche plus -----	10 en face du filtre	08:56	0,53	20,5
		"	10:07	0,46	20,6
		"	10:53	0,78	20,5
		"	14:50	0,69	20,5
	le ventilateur est en arrêt	11 fond couloir A	09:06	0,77	20,6
	bouche d'évacuation des gaz de la cuve de blancs n°38	12 10 cm sous la bouche "	09:08	35	15
			10:48	39	
	coin absolument pas ventilé porte du hangar ouverte	13 coin de la cuve n°32 " (à 40 cm du sol) " " (à 40 cm du sol) " " (à 40 cm du sol) " " (à 40 cm du sol)	08:58	1,16	20,4
			09:00	5,5	19,7
			10:03	1,35	20,5
			10:06	6,9	19,6
			10:44	1,42	20,6
			10:52	7,3	19,5
14:46			1,63	20,6	
14:49	6,4	19,1			
I	ventilateur en marche 0,1 m/s "	19 près cuve n°18 (1 m de distance) "	10:10	0,89	20,4
			10:55	0,90	20,5
	ventilateur ne marche pas ----- sous la bouche de la cuve n° 18	20 10 cm sous la bouche	14:58	1,69	20,1
			10:12	27	18,8

Aire de débouillage	Air venant de la vieille cuverie	cuve de blanc n°13	10:32	0,36	20,6
	"	cuve de blanc n°12	10:33	0,38	"
	"	cuve de blanc n°11	10:34	0,22	"

TAUX INSTANTANES MAXIMAUX DE CO₂ ET O₂

18 OCTOBRE 1996

4 cuves Vinimatic /28 en début de fermentation, 19 cuves de blanc/24 sont pleines
(fermentation lente)

temps au beau fixe - pas de vent
chaptalisation des jus rouges ce jour
cave fermée toute la nuit avec ventilateurs en marche

LIEU	Activité en ce lieu	Pt de prélèvement	Hre	CO ₂	O ₂
Salle des VINIMATIC	porte hangar ouverte (10 minutes) ----	① pilier passerelle Vini 24	07:55	0,31	
	hangar à peine ouvert ----- pas de flux d'air - 13,4°C	21 sur passerelle dvt Vini 2	9:24	1,15	20,5
	idem -----	22 sur passerelle dvt Vini 3	9:29	0,96	20,5
	idem -----	23 sur passerelle dvt Vini 9	10:36	0,65	
	idem -----	24 sur passerelle dvt Vini 10	10:37 16:55	0,58 1,36	

LIEU	Activité en ce lieu	Pt de prélèvement	Hre	CO ₂	O ₂
Salle des BLANCS	porte hangar = ouverte , ventil = non mais a marché toute la nuit 12,2°C	⑩ en face du filtre "	09:19	0,18	20,7
	le ventilateur est en arrêt + porte du hangar ouverte en grand tout le matin	11 fond couloir A " " (au sol)	09:20 10:25 "	1,24 0,91 3,56	20,6 20,6 19,8
	porte du hangar ouverte	13 coin de la cuve n°32	09:15	0,49	20,4
		22 coin de la cuve n°35	09:18	0,34	20,7

TAUX INSTANTANES MAXIMAUX DE CO₂ ET O₂

21 OCTOBRE 1996

3 cuves Vinimatic /28 en fermentation, la moitié des cuves de blanc sont pleines
temps couvert - pas de vent

2 décuvages ce jour : vinimatic 1 et 9

cave fermée toute la nuit avec ventilateurs en marche

LIEU	Activité en ce lieu	Pt de prélèvement	Hre	CO ₂	O ₂	
Salle des VINIMATIC	porte hangar un peu ouverte ----- pendant le décuvage de la v. n°1 ----	① pilier passerelle Vini 24 "	10:05 16:07	0,46 0,72	20,6	
	cuve en pleine ferm. -hangar ouvert	sur passerelle devant vini n°10 "	08:35 09:20	0,50 1,8	20	
	id. + vidange de la vini n°9 à côté	"	10:09	2,56	20,1	
	avant vidange	sur passerelle devant vini n°9	08:37	0,33		
	vidange	devant bac de vidange de vini n° 9 "	10:00 10:07	0,73 0,42	20,6	
	arrêt momentané écoulement ----- reprise écoulement -----	"	10:15	0,62	20,4	
	décuvage	voies respiratoires pdt décuvage	11:38	1,06	20,1	
	fin de fermentation alcoolique hangar ouvert	sur passerelle devant vini n°1 devant bac de vidange de vini n°1	08:41 14:10	0,52 0,87	20,3	
	hangar ouvert	sur passerelle devant vini n°2	08:43	0,45		
	hangar ouvert	sous vini n°8 (bas escalier) "	08:39 16:09	0,31 0,90		
	idem, pendant décuvage de vini n°1 pendant le même décuvage	sur passerelle intermédiaire entre salle vini et salle pressoirs	16:10	0,74		
	Aire	les 2 pressoirs "jumeaux" marchent pressurage du marc vini 9 ----- pressurage du marc vini 1 -----	14 passage entre les 2 et les 4	11:41 16:12	0,56 0,66	20,3

escalier du caveau	porte du hangar à vini = ouverte	⑥ bas escal. (pas de la porte)	09:16	0,45	
	et porte du caveau = fermée	⑦ haut escalier = /s Vini 22	09:15	0,32	

Salle des BLANCS	porte du hangar ouverte	13 coin de la cuve n°32	08:45	0,77	
	"	" (à 40 cm du sol)	08:49	1,12	
	"	" (à 40 cm du sol)	14:21	3,74	
	le ventilateur est en arrêt	11 fond couloir A (devant cuve n°18)	09:17	0,91	20,5
	"		14:19	1,08	

TAUX INSTANTANES MAXIMAUX DE CO₂ ET O₂

28 OCTOBRE 1996

4 cuves Vinimatic /28 en fermentation, la totalité des cuves de blanc sont pleines
 temps au beau fixe - froid
 3 décuvages ce jour : vinimatic 13, 12 et 4
 cave fermée toute la nuit avec ventilateurs en marche
 ouverture de la cave = 07:45

LIEU	Activité en ce lieu	Pt de prélèvement	Hre	CO ₂	O ₂
Salle des VINIMATIC	porte hangar à peine ouverte - ventilo fermé - air = 0 m/s ----- (ouverture de la cave)	entrée de la cave à 2 mètres de la porte	07:45	0,98	20,4
	"	"	07:47	0,95	20,3
	porte fermée - ventilo fermé -----	"	13:35	1,64	
	"	"	13:47	1,71	
	air = 0,2 m/s (2 mn. après ouverture ++)	"	14:01	0,62	
	air = 0 m/s -----	"	14:08	1,14	20,4
	air = 0,4 m/s -----	"	14:09	0,52	20,6
	air = 1,6 m/s -----	"	14:09	0,36	20,5
	air = 0 m/s -----	"	14:12	0,69	20,5
	air = 0,7 m/s -----	"	14:21	0,37	20,6
	air = 0 m/s -----	"	14:22	0,74	20,5
	" - lavage de la vini 4 - 17,5°C ----	"	14:37	0,93	20,4
	décuvage en cours : vini 13 -----	coin de préparation métro	15:50	0,57	
	décuvage vini 12 - air = 0 m/s ----- -	sur passerelle devant vini 12		2 à 2,6	
	lavage externe au jet d'eau	"		1,8 à 2,6	
	lavage interne (pdt décuv. vini 12) a été décuvée la veille	dans vini 11		1	20,1
	décuvage vini 4	sur passerelle devant vini n°4	11:13	4,37	19,3
11:15			4,04	19	
11:40			3,25		
11:42			3,32		
11:44			2,87		
fin de la vidange vini 13	devant bac de vidange de vini n° 13	14:49	1,13	20,4	
vidange terminée -----	"	15:25	0,5		
décuvage vini 13 - air = 0 - 21,2°C	sur passerelle devant vini n°13	15:40	1,41		

Aire pressoirs	1er press. hztl presse marc vini4	passage entre les pressoirs hztx et le Bücher	11:47	0,64	
		passerelle entre mur et Bü	13:41	0,56	
			11:50	0,53	

escalier du caveau	porte du hangar vini = peu ouverte et porte du caveau = ouverte ++ , flux d'air <u>ascendant</u> 1,7 m/s	⑥ bas escal. (pas de la porte)	08:10	0,32	20,5
		⑦ haut escalier = /s Vini 22	"	0,14	20,5

WC		dans la pièce du lavabo	13:40	1,04	
-----------	--	-------------------------	-------	-------------	--

LIEU	Activité en ce lieu	Pt de prélèvement	Hre	CO ₂	O ₂
------	---------------------	-------------------	-----	-----------------	----------------

19 ° -air = 0?	ventilo marchent - hangar fermé -- hangar ouvert - ventilo marchent " air = 0	⑩ en face du filtre	07:50	1,71	20,2
		"	14:31	0,92	20,5
		"	15:35	1,27	20,4
		"			
Salle des BLANCS	bouche d'évacuation des gaz de la cuve de blancs n°38	12 10 cm sous la bouche	09:08	35	15
		"	10:48	39	
		13 coin de la cuve n°32 " (à 40 cm du sol)	07:51	2,18	20,2
	hangar ouvert au 1/3 - air = 0	"	07:55	3,54	19,9
		"	15:37	1,49	
	ventil marche - hangar fermé air=0 idem - air = 0,6 m/s ventilo marche - hangar = ouvert idem - air = 0,1 m/s	19 près cuve n°18 (1 m de distance)	07:58	1,86	20,1
		"	10:36	1,25	
		"	13:37	1,1	
		"	14:33	1,51	20,4
	ventilo à 1 m = marche - hangar = f pas d'air - hangar ouvert au 1/3 hangar vini un peu ouvert pas d'air mais hangar ouvert ++	près cuve 26	07:57	1,5	
		coin cuve 35	15:38	1,56	
		passage vers la pièce de vini	08:06	1,1	20,4
			15:34	0,88	



SERMENT D'HIPPOCRATE

Qui diast memorem laudes, repetimque fideles
 Ingenij dotes, Hippocraticae decus.
 Democriti auditor Phocrae, ô, Coe propago,
 Cernis an quis te tradidit artis opes?

En présence des Maîtres de cette Faculté, de mes chers condisciples et devant l'effigie d'HIPPOCRATE,

Je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la Médecine.

Je donnerai mes soins gratuitement à l'indigent et n'exigerai jamais un salaire au dessus de mon travail. Je ne participerai à aucun partage clandestin d'honoraires.

Admis dans l'intimité des maisons, mes yeux n'y verront pas ce qui s'y passe ; ma langue taira les secrets qui me seront confiés et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs, ni à favoriser le crime.

Je ne permettrai pas que des considérations de religion, de nation, de race, de parti ou de classe sociale viennent s'interposer entre mon devoir et mon patient.

Je garderai le respect absolu de la vie humaine.

Même sous la menace, je n'admettrai pas de faire usage de mes connaissances médicales contre les lois de l'humanité.

Respectueux et reconnaissant envers mes Maîtres, je rendrai à leurs enfants l'instruction que j'ai reçue de leurs pères.

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses.

Que je sois couvert d'opprobre et méprisé de mes confrères si j'y manque.

UNIVERSITE JOSEPH FOURIER FACULTE DE MEDECINE DE GRENOBLE

Domaine de la Merci 38700 LA TRONCHE

Doyen de la Faculté
Vice-Doyen
Assesseurs

M. le Professeur J. L. DEBRU
M. le Professeur A. HADJIAN
M. le Professeur B. RAPHAEL
M. le Professeur J.P. ROMANET
M. le Professeur B. SELE

PROFESSEURS DES UNIVERSITES - PRATICIENS HOSPITALIERS

MM.					
AMBLARD	Pierre	Dermato. Vénérologie	HOSTEIN	Jean	Hépto-Gastro-Entérol.
AMBROISE-THOMAS	Pierre	Parasitologie et Mycol.	JUVIN	Robert	Rhumatologie
BACONNIER	Pierre	Biostatistiques et Informatique Méd.	JALBERT	Pierre	Génétique.
BACHELOT	Ivan	Endocrinologie et Maladies Métaboliques	JOUK	Pierre-Simon	Biologie du Dévelop.. et de la reproduction.
BARGE	Michel	Neurochirurgie	KOLODIE	Lucien	Hématologie
BARRET	Luc	Médecine Légale	LE BAS	François	Biophys.et Trait. de l'Image.
BAUDAIN	Philippe	Radiologie et Imag. Méd.	LEBEAU	Jacques	Stomat. et Chirurgie Maxillo- Faciale
BEANI	J.-Claude	Dermatologie, Vénérologie	LEROUX	Dominique	Génétique
BENABID	Al.-Louis	Biophys. et Trait. de l'image	LETOUBLON	Christian	Chirurgie Générale
BENSA	J. Claude	Immunologie	LEVERVE	Xavier	Thérapeutique
BERNARD	Pierre	Gynéco et Obstétrique	LEVY	Patrick	Physiologie
BESSARD	Germain	Pharma. Fondamentale	LUNARDI	Joël	Biochimie et Bio. Molécu.
BLIN	Dominique	Chir. Thor.et Cardio Vascul.	MACHECOURT	Jacques	Cardio. et Maladie Vascul.
BOLLA	Michel	Radiothérapie	MAGNE	Jean-Luc	Chir. Vasculaire
BOST	Michel	Pédiatrie	MALLION	J. Michel	Méd.du Trav. et Risques Prof.
BOUCHARLAT	Jacques	Psychiatrie d'adultes	MASSOT	Christian	Médecine Interne
BRAMBILLA	Christian	Pneumologie	MERLOT	Philippe	Chir. Ortho. et Traumatol.
BRAMBILLA	Elisabeth	Anatomie et Cyto. Pathol.	MOREL	Françoise	Bioch. et Biol. Moléculaire
BRICHON	P.Yves	Chir. Thor. et Cardio.Vasc.	MICOUD	Max	Maladies Infect. et Trop.
CARPENTIER	Françoise	Thérapeutique	MOULLON	Michel	Ophthalmologie
CARPENTIER	Patrick	Méd.Interne	MOUSSEAU	Mireille	Cancérologie
CHAMBAZ	Edmond	Biologie Cellulaire	MOUTET	François	Chir. Plast.Reconst. et Esth.
CHARACHON	Robert	O.R.L.	PASQUIER	Basile	Anat. et Cyto.Pathol
CHIROSEL	J. Paul	Anatomie	PASSAGIA	J.-Guy	Anatomie.
CINQUIN	Philippe	Biostatistique et Inf. Méd.	PAYEN de LA		
COLOMB	Maurice	Immunologie	GARANDERIE	J. François	Anesthésiologie
COMET	Michel	Biophys. et Trait. de l'image	PELLAT	Jacques	Neurologie
CORDONNIER	Daniel	Néphrologie	PISON	Christophe	Pneumologie
COULOMB	Max	Radiologie et Imagerie Méd.	PHELIP	Xavier	Rhumatologie
CROUZET	Guy	Radiologie et Imagerie Méd.	POLLAK	Pierre	Pharmacologie
DEBRU	Jean-Luc	Médecine Interne	RACINET	Claude	Gynécologie-Obstétrique
DE GAUDEMARIS	Régis	Méd. du Trav. et des risques professionnels.	RAMBAUD	Pierre	Pédiatrie
DEMONGEOT	Jacques	Biostatistique et Inf. Méd.	RAMBEAUD	J. Jacques	Urologie
DENIS	Bernard	Cardio. et Malad. Vascul.	RAPHAEL	Bernard	Stomato. et Chirurgie Maxillo-faciale
DESCOTES	Jean-Luc	Urologie	REYT	Emile	O.R.L.
DUPRE	Alain	Chirurgie Générale	ROMANET	J. Paul	Ophthalmologie
DYON	J.François	Chirurgie Infantile	SARAGAGLIA	Dominique	Chir. Orthopédique et Traumatologique
FAGRET	Daniel	Bioph et Trait. Image	SCHAERER	René	Cancérologie
FAURE	Claude	Anatomie	SEIGNEURIN	Daniel	Histo.embryo.cytogénét. Reproduction
FAVROT	Marie C.	Cancerologie CLB Lyon	SEIGNEURIN	J. Marie	Bactério-Viro - Hygiène.
FEUERSTEIN	Claude	Physiologie	SELE	Bernard	Biologie du Développement et de la Reproduction
FOURNET	Jacques	Hépto-Gastro-Entéro.	SOTTO	J. Jacques	Hématologie et Transfusion
FRANCO	Alain	Médecine. Interne	STAHL	J. Paul	Maladies Infect. et Trop.
GARNIER	Philippe	Pédiatrie	VIALTEL	Paul	Néphrologie
GIRARDET	Pierre	Anesthé. et Réa. Chir.	VROUSOS	Constantin	Radiothérapie
GOULLIER	Andrée	Parasitologie et Mycologie	ZARSKI	J.Pierre	Hépto-Gastro-Entérol.
GUIDICELLI	Henri	Chirurgie Vasculaire			
GUIGNIER	Michel	Réanimation Médicale			
HADJIAN	A.-Jean	Biochimie et biol.Mol			
HALIMI Serge	Nutrition				
HOMMEL Marc	Neurologie.				