

***Traitements thermiques
destinés à la
stabilisation microbiologique***

PLAN

- Introduction
- Action de la chaleur sur les éléments du vin
- Les lois de la destruction thermique des micro-organismes
- Le traitement thermique du vin dans la pratique
- Choix d'un pasteurisateur – choix d'une technique
- Exemple d'unités de traitements thermiques dans le monde du vin
- Conclusion

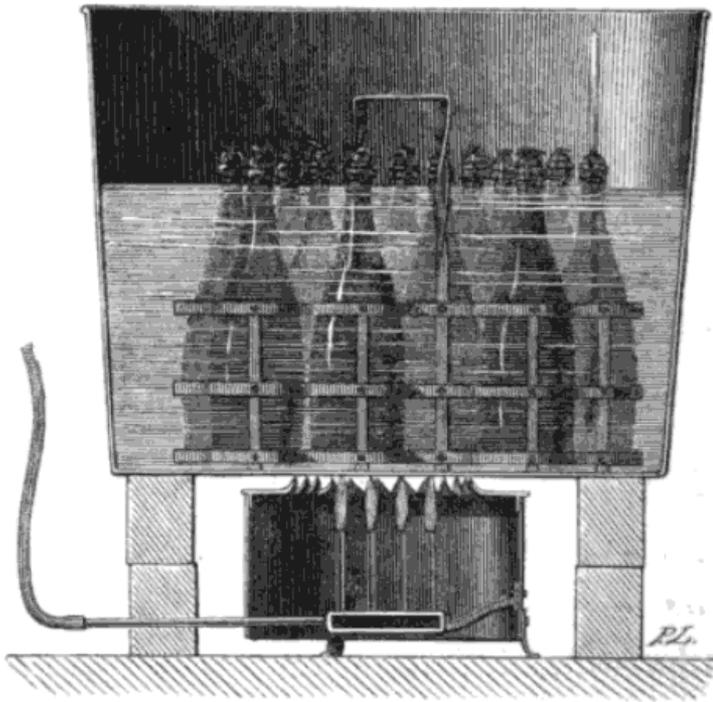
PLAN

➤ Introduction

- Action de la chaleur sur les éléments du vin
- Les lois de la destruction thermique des micro-organismes
- Le traitement thermique du vin dans la pratique
- Choix d'un pasteurisateur – choix d'une technique
- Exemple d'unités de traitements thermiques dans le monde du vin
- Conclusion

INTRODUCTION

un peu d'histoire..... Retour au XIX^{ème} siècle



Note de L. Pasteur - Procédé pratique de
conservation et d'amélioration des vins
C. R. T.60 (1865) 899-901

» Quelques-unes de mes expériences, particulièrement les plus récentes, ont été faites sur des vins de Pomard de premier choix, que M. de Vergnette-Lamotte avait eu l'obligeance de mettre généreusement à ma disposition. Aujourd'hui même, je renvoie à M. de Vergnette une caisse de vin chauffé pendant une demi-heure à 64 degrés, et il est convenu entre nous qu'il en fera la dégustation à de longs intervalles, par comparaison avec le même vin non chauffé, afin que nous soyons bien fixés l'un et l'autre sur la valeur de mon procédé. Mais je me hâte d'ajouter que nos études ont été entièrement indépendantes, et que, dans aucune de mes lettres, déjà nombreuses, je n'ai indiqué le moins du monde à M. de Vergnette ma manière d'opérer. C'est dans sa propre expérience qu'il a puisé les idées qui l'ont conduit à expérimenter l'influence de la température sur le vin. L'Académie sait que M. de Vergnette-Lamotte avait déjà, avec beaucoup de succès, employé le froid et la congélation à l'amélioration des vins, et je suis heureux de voir que sa communication d'aujourd'hui assure, à certains égards, les espérances que je fondé sur le procédé de conservation que je viens d'avoir l'honneur de communiquer occasionnellement à l'Académie. »

INTRODUCTION

un peu d'histoire..... Retour au XIX^{ème} siècle

Alfred De Vergnette de Lamotte (1806 – 1886)

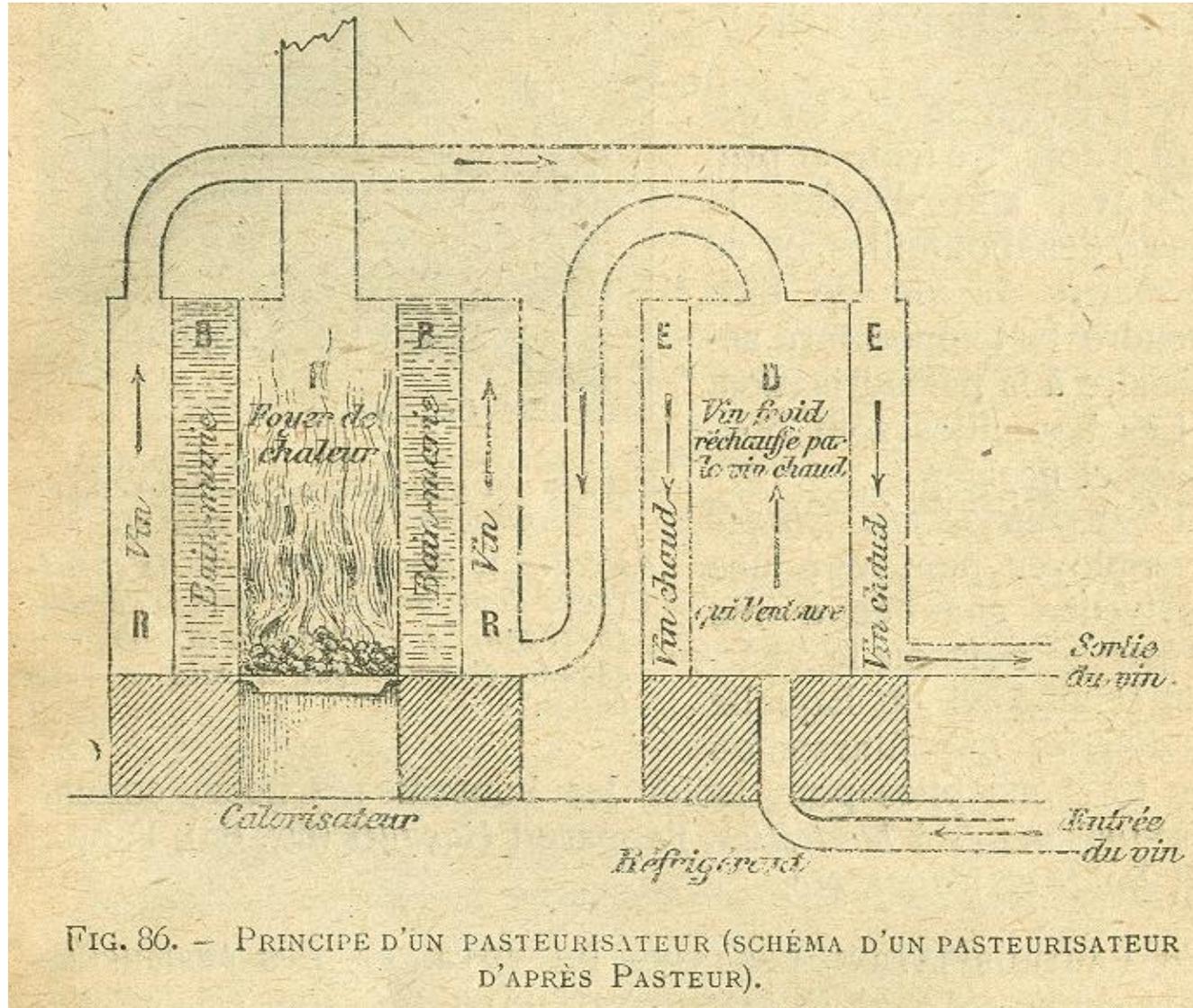


20 ans avant Pasteur...

1846 : l'ingénieux vicomte chauffe du vin de 1840. Il constate qu'au final, il est parfaitement conservé, alors même que du vin la même année et du même cru, non chauffé est atrocement altéré. Louis Pasteur, « celui de la rage », venu chez Vergnette constater l'extraordinaire résultat de ses expériences, s'empresse de les reprendre... à son compte exclusif.

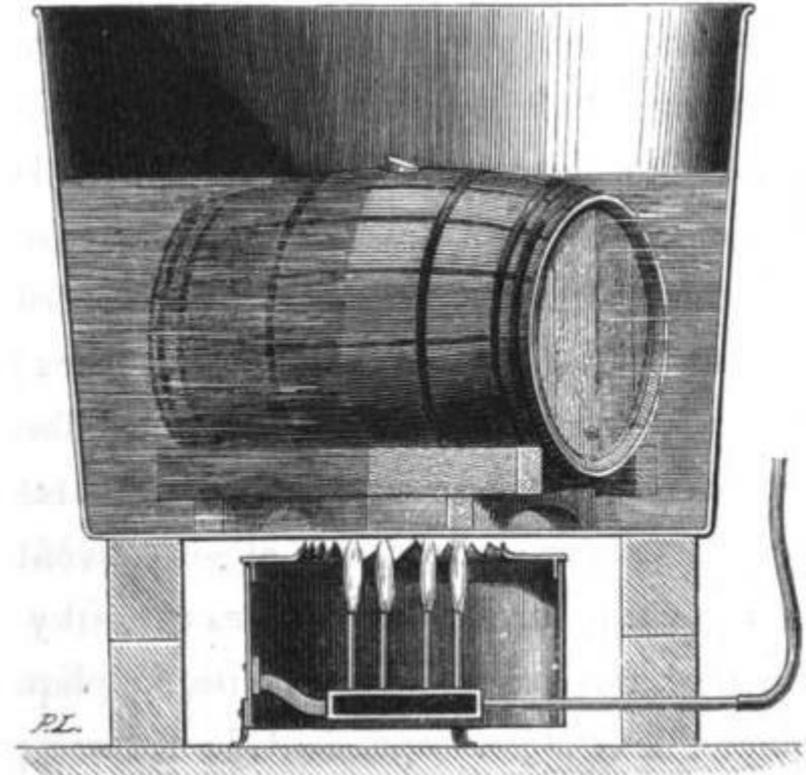
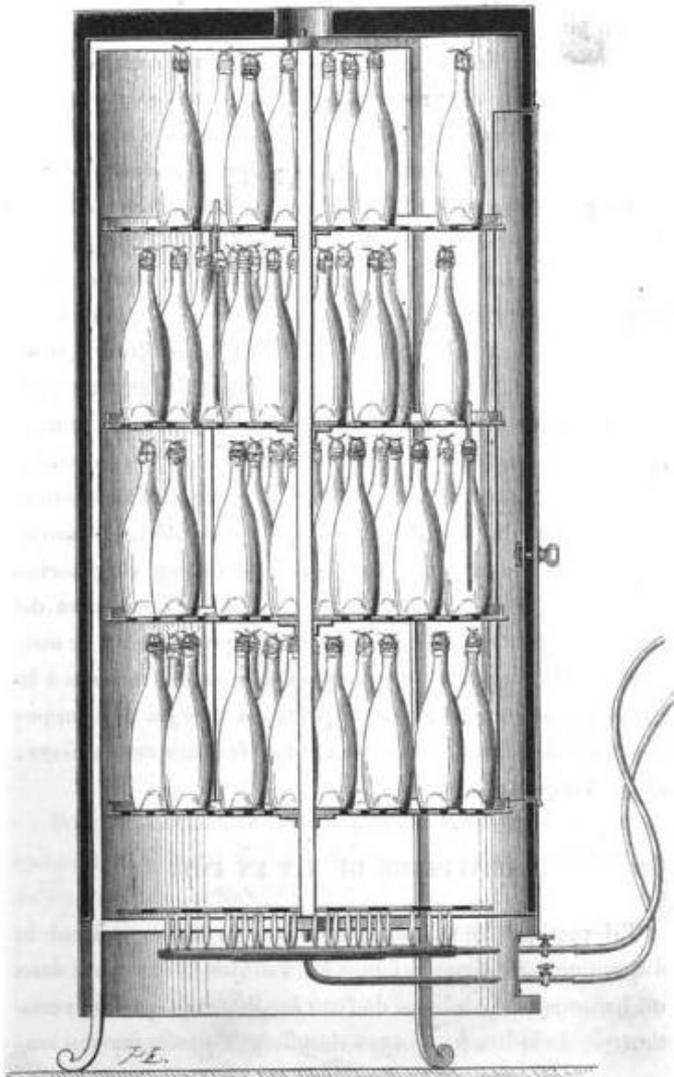
INTRODUCTION

un peu d'histoire..... Retour au XIX^{ème} siècle....



INTRODUCTION

un peu d'histoire..... Retour au XIX^{ème} siècle



INTRODUCTION

Procédés couramment employés pour obtenir la stabilisation micro-biologique

→ **Filtration** = micro-filtration / Traitement Physique

→ **Sulfitage** = Traitement chimique

TOXICITE DU SO₂ :

- présent légalement dans l'alimentation (conservateur E 220 à E 227) et le vin...
- action toxique sur l'estomac
- ↑ des caries dentaires par son rôle décalcifiant
- allergies graves (personnes déficientes en sulfite oxydase)
- maux de tête (excès dans le vin)

LIMITATION DES DOSES DE SO₂ :

- dose journalière acceptable = 0,7 mg/kg de poids corporel ≈ 50 mg pour une personne adulte,
- doses maximales de SO₂ total (mg/l) lors de la vente au consommateur :

	Substances réductrices < ou = 5 g/l	Substances réductrices > 5 g/l
Vins rouges	150 mg/l	200 mg/l
Vins blancs ou rosés	200 mg/l	250 mg/l
Vins blancs doux spéciaux	300, 350 et 400 mg/l	

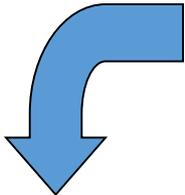
INTRODUCTION

→ **Relative toxicité du SO₂** : la C.E.E. → textes législatifs visant à réduire les doses maximales d'utilisation

REDUCTION DU SO₂ EN ŒNOLOGIE... et le pH des vins !

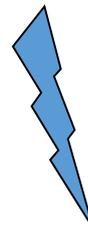
Importance du pH :

Doses de SO ₂ (mg/l) pour une activité semblable		
à pH = 3,2	vin acide	10
à pH = 3,5	vin peu acide	20
à pH = 3,8	vin souple	40
Certains vins de syrah atteignent des pH =4		



Conséquences pratiques :

- ① + facile de stabiliser un vin en pays froid avec des raisins plus acides
- ② vins de pH = 4 avec températures de vinification et de conservation élevées → favorables au développement microbien



Tendance actuelle :

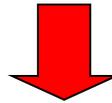
- ① Réchauffement climatique = le pH des vins finis augmente
- ② Vins bio.... élaborés avec le minimum d'intrants

INTRODUCTION

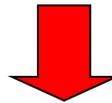
PROCEDES DE STABILISATION :

différentes méthodes disponibles pour élaborer et conserver des vins avec peu de SO₂

- ① **chimiques** = dicarbonate de diméthyle (DMDC, E242), ...
- ② **physico-chimiques** = collages, ...
- ③ **biologiques** = qualité sanitaire de la vendange, levures
- ④ **physiques** = soutirages, filtration classique, filtration sur membrane, filtration tangentielle, centrifugation, chaleur, froid,...



l'œnologue doit privilégier les procédés physiques pour répondre aux objectifs fixés (limpidité, stabilité, coût)



le traitement thermique du vin (pasteurisation) permet de limiter l'utilisation du traitement chimique (ajout de SO₂)

- traitements thermiques peu représentés dans la technologie du vin car longtemps mal pratiqués : on peut correctement appliquer un traitement thermique au vin sans incidences graves

INTRODUCTION

réduire les doses de SO_2 : C.E.E., vins moelleux, ...

Troubles microbiologiques en bouteille : levures, bactéries, refermentations, ...

Vins instables après filtration sur membrane : microcristaux de tartre

Vins qui colmatent les filtres à membranes : vins visqueux, riches en extraits, en poly-saccharides, traités à la gomme arabique

LE TRAITEMENT THERMIQUE DU VIN
problèmes rencontrés – solutions :

Vins de garde

Vins jaunissant après ouverture de la bouteille : activité des polyphénoloxydases

Vin à l'exportation : pays éloignés (Japon, ...)

Vins pauvres en germes : moins de 10 à 30 germes par bouteille

Contrats avec les firmes françaises et étrangères : vins stables au minimum 2 ans

PLAN

- Introduction
- **Action de la chaleur sur les éléments du vin**
- Les lois de la destruction thermique des micro-organismes
- Le traitement thermique du vin dans la pratique
- Choix d'un pasteurisateur – choix d'une technique
- Exemple d'unités de traitements thermiques dans le monde du vin
- Conclusion

ACTION DE LA CHALEUR SUR LES ELEMENTS DU VIN

① DESTRUCTION DES MICROORGANISMES

- destruction des levures et des bactéries

② ACTION SUR LES OXYDASES (enzymes néfastes au vin)

☞ catalysent la consommation d'oxygène (× 5 à 10 fois + élevée)

→ laccase (raisins pourris) }
tyrosinase (raisins sur-mûris) } Altération de la qualité du vin par oxydation accélérée
= jaunissement voire une casse brune

↳ la chute de la matière colorante est accélérée même lorsque l'activité des oxydases est réduite

LACCASE

- résistante au SO₂ dans le moût - 8 à 10 g/hl de SO₂ dans un vin pour éviter le jaunissement
- optimum de fonctionnement à 45 – 50 °C et à pH compris entre 3 et 5 (pH du vin)
- détruite vers 70 °C
- enzyme soluble : non éliminée lors du collage, sauf partiellement par la bentonite

TYROSINASE

- plus sensible au SO₂ et aux collages que la laccase
- même comportement que la laccase mais plus résistante à la chaleur → détruite par des températures plus élevées

② ACTION SUR LES OXYDASES (enzymes néfastes au vin)

LIPOXYGENASE

- ☞ catalyse la fixation d'oxygène sur les lipides membranaires (acides gras insaturés en C18)
 - les peroxydes obtenus sont clivés en aldéhydes C6
 - les aldéhydes C6 sont réduits en alcools correspondants par l'alcool deshydrogénase du raisin
- ⇒ responsable de goûts herbacés**

- enzyme à action très rapide
- doit être détruite par SO₂ et par les thermo-traitements

PEROXYDASE

- ☞ jouent un rôle dans le métabolisme oxydatif des composés phénoliques
 - *cf* hyperoxygénation des moûts blancs pour provoquer le brunissement
- maximum d'activité à pH = 5,4 mais encore 50 % d'activité à pH = 4
 - Inactivation à 55 °C si le pH est < 3,3 et à 70 °C si le pH = 4
 - enzyme résistante aux doses de SO₂ de 6 g/hl

② ACTION SUR LES HYDROLASES (enzymes bénéfiques au vin)

ENZYMES PECTOLYTIQUES

- ☞ catalysent l'hydrolyse des chaînes pectiques :
 - hydrolyse nécessaires à la destruction de la parois cellulaire des baies, notamment pour l'extraction de la couleur et l'amélioration de la filtrabilité
 - NB: dans un vin difficile à filtrer, laisser agir l'enzyme avant tout traitement thermique (thermovinification)
- maximum activité à la température de 40 °C
- détruites à la température de 70 °C

BÊTA-GLUCOSIDASE

- ☞ responsable de la libération des arômes (linalol, géraniol, alcools tri-terpéniques, ...) de leurs précurseurs (glucosides)
- utile dans l'élaboration des vins blancs (Sauvignon, Gewurztraminer) ou des vins liquoreux (Muscat)
- maximum activité à la température de 45 à 55 °C et à pH = 5,0
- détruite à une température > à 70 °C

② ACTION SUR LES HYDROLASES (enzymes bénéfiques au vin)

PROTÉASES

- ☞ responsables de l'hydrolyse des liaisons peptidiques : action sur les protéines et les polypeptides → libération des acides aminés
 - jouent un rôle dans la production des arômes des vins blancs vieillissants sur lies de levures, en particulier les champagnes
- actives à pH acide (pH = 2) d'où une activité de 40 à 60 % dans les moûts suivant le pH, et une activation par le SO₂ (acide) entre 25 et 50 mg/l
- température optimale d'activité entre 50 et 55 °C
- sensibles à une pasteurisation à 70 °C mais conservation d'activité au delà de 80 °C

③ ACTION SUR LES PROTEINES

- ☞ chauffage à température élevée (70 °C pendant 30 min) → coagulation des protéines naturelles contenues dans les vins blancs et certains rosés
 - ⇒ chauffage = traitement de la stabilité protéique (Ribereau-Gayon)
- NB : l'emploi de la bentonite dans l'élaboration des vins blancs → stabilisation des protéines qui précipitent à chaud et à froid

④ ACTION SUR MICROCRISTAUX DE TARTRE

- ☞ chauffage → dissolution des microcristaux de bitartrate de potassium
 - après passage au froid, un vin filtré peut contenir des microcristaux qui serviront de « germes de recristallisation » de tartre en bouteille.
 - ⇒ Le traitement thermique dissout et élimine donc ces germes.

⑤ ACTION SUR L'ACIDE METATARTRIQUE

- ☞ A.M.T. = ester de l'acide tartrique obtenu par chauffage
 - utilisé (10 g/hl maximum) pour éviter la précipitation de tartre dans les vins non traités au froid.
- Son action est réduite si la température de stockage du vin en bouteille est élevée mais ⇒ **la flash pasteurisation ne diminue pas l'activité de l'A.M.T.**

⑥ ACTION SUR LA VITAMINE B1 (thiamine) :

- la thiamine (activateur de FA...), très résistante à la chaleur, n'est pas diminuée par les traitements thermiques

⑦ ACTION SUR LES COLLOÏDES DU VIN ET LA STABILITE

- phénomènes de protection colloïdales par le chauffage du vin (Ribereau-Gayon, 1977)

0 = vin limpide 10 = trouble fort	I	II	III	IV
	Collage	Chute du kaolin	Casse cuivrique	Durée de la mousse en secondes
Témoin	1	4	10	6
Chauffe	10	9	2	35
Ultra filtre	0	2	10	5
Ultra filtre et chauffe	10	7	2	31
Chauffe et ultra filtre	0	2	10	6

- Témoin / Chauffé : collage et sédimentation des particules (chute du koalin) + difficile, casse cuivrique faible et persistance de la mousse

⇒ **Le traitement thermique fait naître de colloïdes protecteurs et rend le vin plus stable**

- vin ultra-filtré : limpide, casse cuivrique maximale et mousse de courte durée

➔ **Une filtration trop serrée peut :**

- enlever une partie de la trame colloïdale et faire perdre sa stabilité au vin
- favoriser les re-précipitations de tartre
- augmenter le risque de casses ferriques et cuivreuses

➔ **De préférence, le chauffage doit être effectuée après collage et filtration**

⑧ ACTION SUR LES ELEMENTS VOLATILS DU VIN

PERTES EN ALCOOL :

☞ Flash pasteurisation : perte = 0,03 % pour des vins secs titrant 12 à 13 %

NB: un pompage avec aération peut faire perdre 0,05 ° en moyenne et jusqu'à 0,15 ° pour un pompage trop rapide en région chaude

ACTIONS SUR LE SO₂ LIBRE :

☞ le chauffage augmente le SO₂ libre par libération du SO₂ combiné :

VIN SEC A.O.C COTES DU ROUSSILLON - 12° 6		
	SO ₂ libre	SO ₂ total
Entrée pasteurisateur Vin à 18° C	26	99
Sortie pasteurisateur Vin à 18°C. Vin en bouteille	35	96
Vin pasteurisé Bouteille après 8 jours	25	97
Pasteurisateur A.P.V 72°C x 20 secondes		

L'augmentation du SO₂ libre renforce l'efficacité du traitement thermique

PERTES DE GAZ CARBONIQUE :

- variable selon le type de vin, la température du vin, la température ambiante, les modèles de pompes, les systèmes de pasteurisation
- pertes de 50 à 180 mg de CO₂/l

⑨ ACTION SUR LES SUCRES :

- ☞ le fructose est plus sensible à la chaleur que le glucose
 - toutefois, un traitement thermique bien fait est sans incidence sur le fructose
- les « goûts de cuit » peuvent être dus à une pasteurisation trop forte ou d'un mauvais nettoyage où les dépôts se forment et caramélisent
- la mesure de l'hydroxyméthylfurfural (HMF = réaction de Maillard entre sucre et AA) et la dégustation permettent de vérifier le choix correct d'une température

⑩ ACTION CONJUGUEE DE LA TEMPERATURE ET DE L'OXYGENE :

- ☞ La chaleur augmente la constante cinétique de consommation de l'oxygène dans le vin
- Vin sec (et vin rouge) : doit être travaillé lors de ses traitements de stabilisation sous couverture de SO_2 → éviter l'oxydation des polyphénols, la modification de la couleur et du goût ⇒ élevage en milieu réducteur
- Vin doux (Madère) : procédé impliquant un chauffage à l'air à 45 – 55 °C pour accélérer le vieillissement oxydatif avec une certaine caramélisation (procédé de la Estufa)

PLAN

- Introduction
- Action de la chaleur sur les éléments du vin
- **Les lois de la destruction thermique des micro-organismes**
- Le traitement thermique du vin dans la pratique
- Choix d'un pasteurisateur – choix d'une technique
- Exemple d'unités de traitements thermiques dans le monde du vin
- Conclusion

MICRO-ORGANISMES INDESIRABLES POUVANT ETRE RENCONTRES DANS LE VIN

☞ indésirables dans le vin fini car pouvant altérer le vin après les fermentations

Levures	Aérobies	Fleur = vin en vidange, vin eventé, bouchage défectueux
	Anaérobies	Amas dits « voltigeurs » = dans les vins secs
	Anaérobies	Refermentation (<i>S. bayanus</i>) = dans vins liquoreux, vins troubles + CO ₂
	Aérobie - Anérobie	Odeur d'écurie due aux Ethyls et vinyl-phénols = <i>Brettanomyces</i>
Bactéries	Aérobies	Piqûre acétique = goût de vinaigre
	Anaérobies	Piqûre lactique (lactobacille) = sur les vins liquoreux
	Anaérobies	Tourne = vin aigre, malodorant / Amertume = vin aigre, goût défectueux / Graisse = vin filant, huileux
Moisissures	Ne se multiplient pas dans le vin mais apportent des goûts défectueux (cuves, fûts moisis), reflet d'une hygiène défectueuse.	

→ Germes totaux : ensemble des levures, bactéries et moisissures contenu dans 1 ml ou 1 l de vin.

NB : effet positif des levures dans le vieillissement (« vins jaunes » du Jura, Xéres)²²

DEFINITIONS

Pasteurisation → Pauvre en germe → Stérilisation

PASTEURISATION :

Procédé de stabilisation biologique consistant à détruire les microorganismes du vin par un traitement à la chaleur
(travaux de Appert en 1800 et Pasteur en 1866)

MISE EN BOUTEILLE PAUVRE EN GERMES :

- Tendance actuelle car « l'alcool ne tue pas tout » : certaines levures (et bactéries) se multiplient encore à 20 ° alcool
- Moins de 10 à 30 germes par litre obtenus avec une grande hygiène :
SO₂+ acide sorbique + filtration ou centrifugation + traitements par la chaleur

STERILISATION :

Traitement thermique assurant la destruction thermique de tous les germes microbiens, y compris les formes sporulées

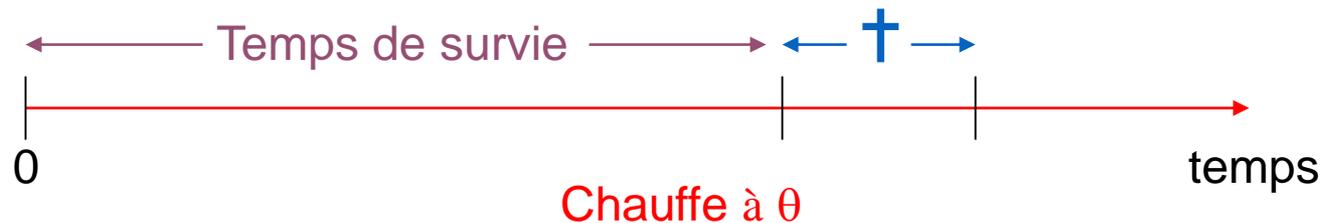
- Température de pasteurisation < de 10 °C environ à la température de stérilisation

Temps de Destruction Thermique et Thermorésistance

Temps de Destruction Thermique TDT :

☞ temps nécessaire pour détruire une population de concentration donnée, à une température (θ) donnée, à un pH donné

→ Temps de traitement le + long qui permet la survie de la cellule > TDT > temps le + court qui tue la cellule



→ Pour une population donnée, le **TDT va dépendre** :

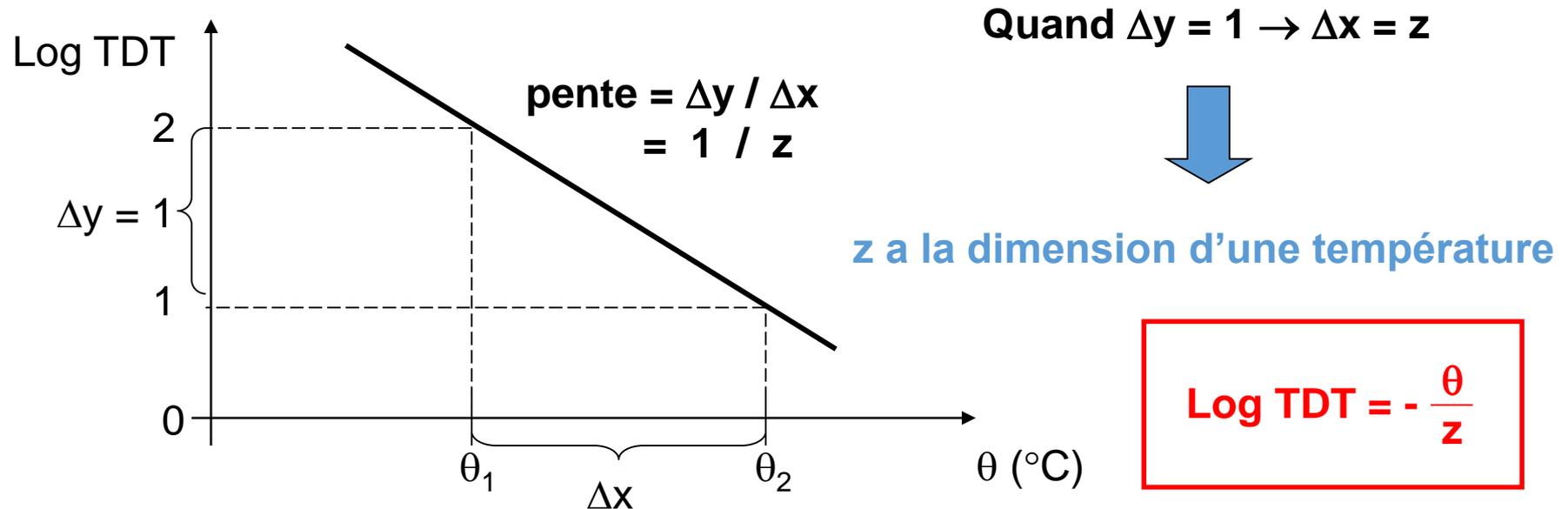
- de la **concentration initiale en micro-organismes**
- du **type de micro-organisme**
- La pasteurisation : peut réduire la population de 5 à 6 puissance
- Le « zéro germe » n'existe pas :
 - 0 germe dans un litre de vin possible mais
 - 1 germe dans 10, 100 ou 1000 l de vin

Numération microbienne	
1	1
10	10
100	10 ²
1000	10 ³
10 000	10 ⁴
100 000	10 ⁵
1 000 000	10 ⁶
10 000 000	10 ⁷

Temps de Destruction Thermique et Thermorésistance

Relation entre TDT et température de chauffage θ :

- ☞ Quand la température de chauffage θ augmente, le TDT diminue
 → + on chauffe et moins il faut de temps de traitement pour tuer les micro-organismes



- **z correspond à l'augmentation de température qui divise par 10 le TDT**
 - nombre de degrés nécessaire d'élévation de la température pour que le TDT soit divisé par 10 (ou une diminution de température donnant $10 \times$ TDT)

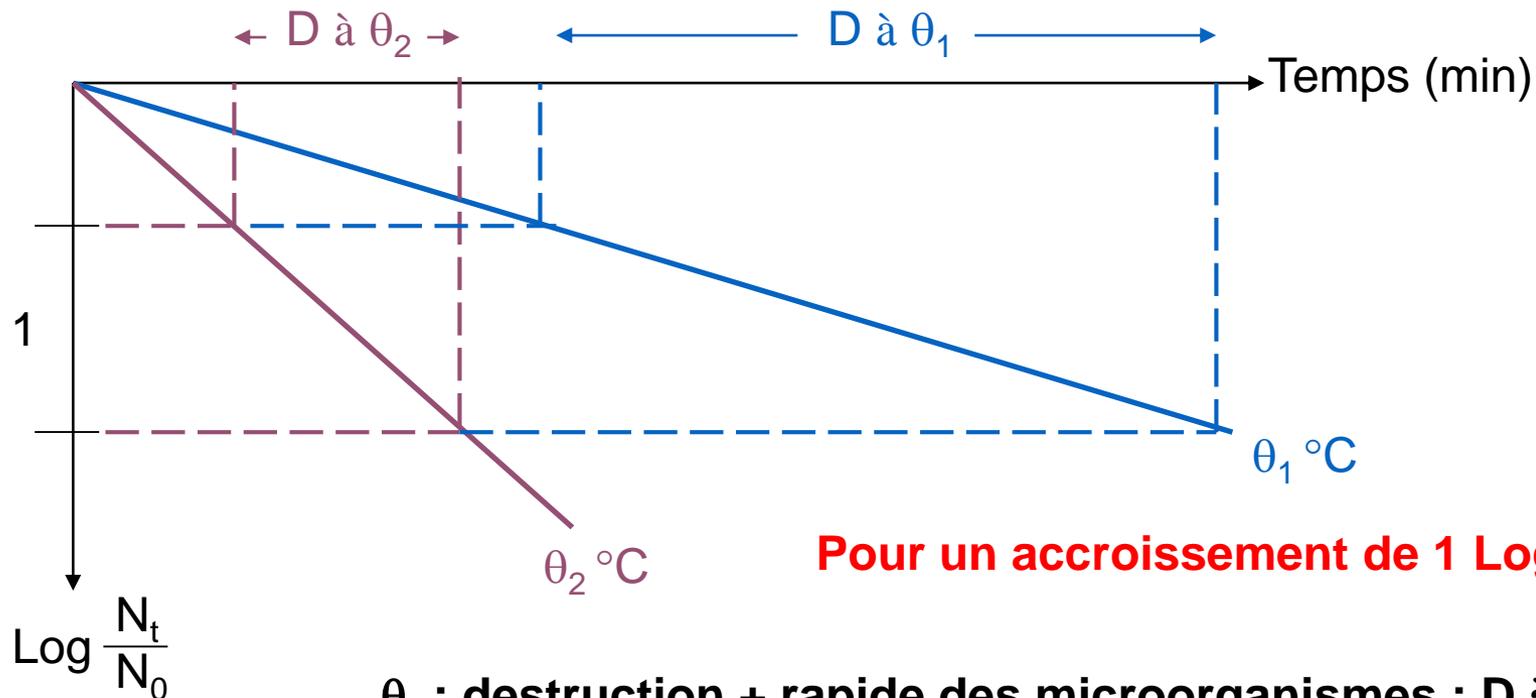
- **z caractérise la THERMORÉSISTANCE d'un micro-organisme**

Temps de Réduction Décimal D

☞ **Temps de chauffage à une température θ pour que la population initiale soit divisée par 10**

→ Pour déterminer D, on construit la courbe de survie : $\text{Log} \frac{N_t}{N_0} = f(\text{temps})$ à θ donnée

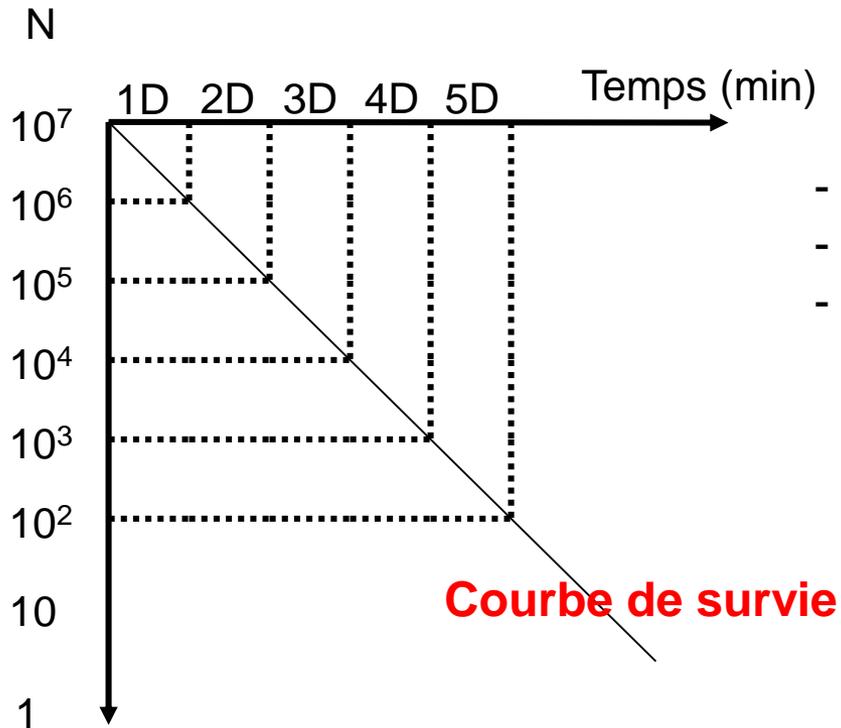
- Population initiale = N_0 UFC / ml
- Chauffage à θ °C donné pendant un temps t
- Population après chauffage N_t UFC / ml



Pour un accroissement de 1 $\text{Log} \frac{N_t}{N_0}$ on a D

θ_2 : destruction + rapide des microorganismes : D à $\theta_2 < D$ à θ_1

Temps de Réduction Décimal D et courbe de survie



- Population initiale = N_0 UFC / ml
- Chauffage à θ °C donné pendant un temps t
- Population après chauffage N_t UFC / ml

$$\text{Log} \frac{N_t}{N_0} = - \frac{t}{D}$$

$$t = - D \times \text{Log} \frac{N_t}{N_0}$$



☞ + la pente est importante : + D est faible

☞ + le rapport N_0 / N_t est grand : + le nombre d'organismes initiaux est élevé
+ t est grand

☞ + la population dans le vin est importante, + il faudra prolonger le chauffage pour éliminer les micro-organismes

Temps de Réduction Décimal D et courbe de survie

COURBE DE SURVIE et POPULATION INITIALE :

- courbe de survie : variation du logarithme du nombre de survivants N en fonction du temps de chauffage à température constante
- population initiale : + elle est importante + il faut augmenter le temps de chauffage pour obtenir la population finale choisie
- Le technicien peut jouer sur : le temps de chauffage
la température de chauffage

TEMP DE REDUCTION DÉCIMAL D et THERMORÉSISTANCE z

Levures	Z en °C	D _{40°C} en min
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	4,34	65,7
<i>Saccharomyces baillii</i>	4,26	46,1
<i>Saccharomyces bayanus</i>	3,94	10,8
<i>Saccharomyces ludwigii</i>	3,23	8,5

NB : dans des matrices synthétiques et dans le vin, D_{32,5°C} et D_{55°C} pour *Brettanomyces* sp. est < à D_{32,5°C} et D_{55°C} pour *Saccharomyces cerevisiae*.

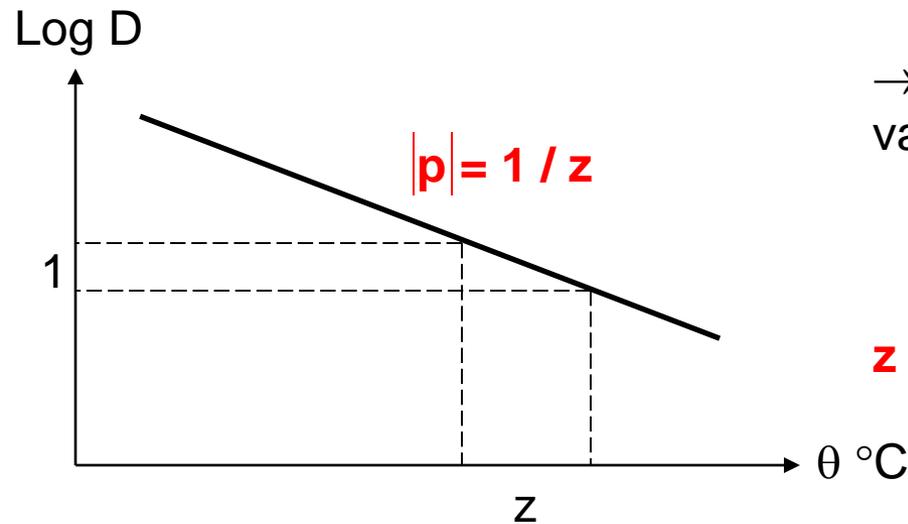
Temps de Réduction Décimal D et température θ

TDT = temps pour détruire la totalité d'une population
 = $k \times D$ (avec D, le temps de réduction décimal)

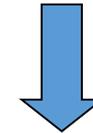
A la température θ_1 : $\log TDT_1 = - \frac{\theta_1}{z} = \log (k \times D_1)$

A la température θ_2 : $\log TDT_2 = - \frac{\theta_2}{z} = \log (k \times D_2)$

$$\left. \begin{array}{l} \text{A la température } \theta_1 : \log TDT_1 = - \frac{\theta_1}{z} = \log (k \times D_1) \\ \text{A la température } \theta_2 : \log TDT_2 = - \frac{\theta_2}{z} = \log (k \times D_2) \end{array} \right\} \log \frac{TDT_1}{TDT_2} = \frac{\theta_2 - \theta_1}{z} = \log \frac{D_1}{D_2}$$



→ L'accroissement de la température θ fait varier le log D de une unité donc D de 1/10^{ème}



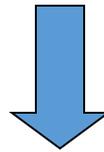
z = variation de θ qui \times ou \div D d'un facteur 10

⇒ La pente correspond à la courbe de résistance thermique

La Thermorésistance (z)

Détermination pratique :

- ① Choisir le micro-organisme cible dans le vin
- ② Dénombrer la population initiale N_0
- ③ Construire pour chaque température θ la courbe de survie : $\log \frac{N_0}{N_t} = f(\text{temps})$
- ④ Construire la courbe de résistance thermique : $\log D = f(\theta)$
et calculer sa pente et son inverse. On a alors $z = 1/p$



Avec z, on peut classer les micro-organismes suivant leur tolérance à la chaleur :
+ z est faible + le micro-organisme est thermosensible

Facteur influant sur la thermorésistance :

- dépend :
- du type de micro-organismes = espèce et souche,
 - de l'âge des micro-organismes
 - de la température de croissance des micro-organismes
 - de la nature du vin = ° alcool, sucres résidues, pH, SO_2 , sels, résidus de pesticides, ...

La Thermorésistance (z)

Thermorésistance et type de microorganismes :

Levures	Z en °C
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	4,34
<i>Saccharomyces baillii</i>	4,26
<i>Saccharomyces bayanus</i>	3,94
<i>Saccharomyces ludwigii</i>	3,23

Thermorésistance et age des micro-organismes :

→ exemple de mesure de la thermorésistance de levures à divers stades de culture

Nombre de jours de culture	D _{40°C} en min
1	2,4
7	8,0
14	21,9

☞ + les cellules sont âgées, + elles sont thermorésistantes

La Thermorésistance (z)

Thermorésistance et éthanol :

→ exemple de mesure de la thermorésistance d'un même vin ajusté à 3 TAV

TAV	D _{40°C} en min
11	50,1
12	33,6
13	23,1

☞ + le TAV augmente, + la souche est thermosensible

Thermorésistance et sucres :

→ exemple de mesure de la thermorésistance en fonction de la [sucre]

[sucre] g/L	D _{42°C} en min
<2	2,74
48	4,43
96	7,20

☞ + la [sucre] augmente, + la souche est thermorésistante

La Thermorésistance (z)

Thermorésistance et pH :

→ exemple de mesure de la thermorésistance en fonction du pH

pH	D _{40°C} en min
3,0	6,0
3,4	12,8
3,8	20,8

☞ + le pH augmente, + la souche est thermorésistante

QUELQUES REGLES BIOLOGIQUES PRATIQUES :

- + il y a de micro-organisme et + la stérilisation est difficile
- micro-organismes en amas (*Oenococcus oeni*) difficiles à détruire
- les levures sont en général + faciles à détruire
- certaines bactéries sont très résistantes à la chaleur
 - Bactéries acétiques = 55-60 °C / Bactéries lactiques = 60-70 °C
- les cellules jeunes sont plus faciles à inactiver que les vieilles
- Facteurs abaissant la thermo-résistance : alcool, SO₂, tanins, pH bas (< 2,5)
- Facteurs favorisant la thermo-résistance : sucre, pH élevés
- Destruction des oxydases : à haute température avec montée rapide
- Eviter l'entrée d'oxygène dans les vins avant la pasteurisation

LES CALCULS DANS LA PRATIQUE

→ Dans la pratique :

→ différents micro-organismes co-existent (\neq z)

→ on réalise des essais de traitement thermique dans une cellule 50 mL au chauffage homogène

⇒ **Objectif = proposer un traitement thermique efficace et suffisant sans être excessif**

La Vitesse de Destruction Biologique (VDB_{θ}) :

→ Correspond à la vitesse de destruction biologique à la température θ
= mesure de l'efficacité d'une température

→ + l'efficacité de la température θ est grande ⇒ + la VDB_{θ} est grande
⇒ - le temps de chauffage sera grand

→ la VDB_{θ} est inversement proportionnelle à D_{θ} :

$$VDB_{\theta} = \frac{1}{D_{\theta}}$$

LES CALCULS DANS LA PRATIQUE

UNITE DE PASTEURISATION (U.P.) :

- Pasteur : le chauffage d'une bouteille de vin au bain-marie à 60 °C suffit à tuer tous les « ferments de maladie » en évitant toute altération ultérieure, sans modifier les qualités du vin et son évolution au vieillissement (Ribereau-Gayon et Peynaud, 1977)

1 U.P.₆₀ = Chauffage correspondant à une durée d'une minute à 60 °C

Le nombre d'Unité de Pasteurisation (U.P.) :

→ correspond à l'efficacité globale du traitement pendant un certain temps t

$$\text{U.P.} = \text{VDB}_\theta \times t$$

1 U.P.₆₀ = 1 × 1 minute → pour un chauffage d'1 minute, VDB₆₀ = 1

LES CALCULS DANS LA PRATIQUE

Calculer la Vitesse de Destruction Biologique à une température \neq de 60 °C :

$$\left. \begin{aligned} \text{Log } \frac{\text{TDT}_1}{\text{TDT}_2} &= \frac{\theta_2 - \theta_1}{z} = \log \frac{D_1}{D_2} \\ \text{et } \text{VDB}_\theta &= \frac{1}{D_\theta} \end{aligned} \right\} \text{Log } \frac{\text{VDB}_2}{\text{VDB}_1} = \frac{\theta_2 - \theta_1}{z}$$

$$\text{Log } \frac{\text{VDB}_\theta}{\text{VDB}_{60}} = \frac{\theta - 60}{z} = \log \frac{\text{VDB}_\theta}{1} = \frac{\theta - 60}{z} \Rightarrow \log \text{VDB}_\theta = \frac{\theta - 60}{z} \quad \text{NB : } \text{VDB}_{60} = 1$$

$$\text{VDB}_\theta = 10^{\left(\frac{\theta - 60}{z} \right)}$$

Calculer le nombre d'U.P. pour pasteuriser un vin à température constante :

$$\text{U.P.} = \text{VDB}_\theta \times t \Rightarrow \text{U.P.} = 10^{\left(\frac{\theta - 60}{z} \right)} \times t \quad \text{Nombre d'U.P. à } 60 \text{ °C}$$

LES CALCULS DANS LA PRATIQUE

Calculer le nombre d'U.P. pour pasteuriser un vin à température variable :

- ☞ Dans la pratique :
- ❶ montée en température
 - ❷ maintien de la température dans le chambreur
 - ❸ descente en température

⇒ Le calcul doit intégrer ces variations de la température du vin

$$\text{U.P.} = 10^{\left(\frac{\theta - 60}{z}\right)} \times t$$

$$\text{U.P.} = \int_{t_0}^t \text{VDB}_{\theta} \times dt$$

Temps	Température
t_0	θ_0
$t_0 + \Delta t$	$\theta = \theta_0 + \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \times (t - t_0)$

$$\text{U.P.} = \int_{t_0}^t 10^{\frac{\left(\theta_0 + \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \times (t - t_0)\right) - 60}{z}} \times dt$$

LES CALCULS DANS LA PRATIQUE

Calculer le nombre d'U.P. pour pasteuriser un vin à température variable :

$$\text{U.P.} = \int_{t_0}^t 10^{\frac{\left(\theta_0 + \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \times (t-t_0) \right) - 60}{z}} \times dt$$

$$\text{U.P.} = 10^{\frac{\theta_0 - 60}{z}} \times \int_{t_0}^t 10^{\left(\frac{1}{z} \times \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \times (t-t_0) \right)} \times dt \longrightarrow e^{2,303 \times \frac{1}{z} \times \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \times (t-t_0)}$$

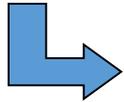
$$\text{U.P.} = 10^{\frac{\theta_0 - 60}{z}} \times \left(\frac{z}{2,303} \times \frac{\Delta t}{\Delta\theta} \times e^{\left(\frac{2,303}{z} \times \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \times (t-t_0) \right)} \right)_{t_0}^t$$

NB sur le calcul de primitive: $e^{a \times t} \longrightarrow \frac{1}{a} \times e^{a \times t}$

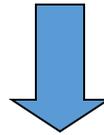
LES CALCULS DANS LA PRATIQUE

Calculer le nombre d'U.P. pour pasteuriser un vin à température variable :

$$\text{U.P.} = 10^{\frac{\theta_0 - 60}{z}} \times \left(\frac{z}{2,303} \times \frac{\Delta t}{\Delta \theta} \times e^{\left(\frac{2,303}{z} \times \frac{\Delta \theta}{\Delta t} \times (t - t_0) \right)} \right)_{t_0}^t$$



❶ Calcul à t / ❷ Calcul à t₀ / ❸ = ❶ - ❷



$$\text{U.P.} = 10^{\frac{\theta_0 - 60}{z}} \times \frac{z}{2,303} \times \frac{\Delta t}{\Delta \theta} \times \left(e^{\frac{2,303}{z} \times \Delta \theta} - 1 \right)$$

Nombre d'U.P. à 60 °C

LES CALCULS DANS LA PRATIQUE

Vitesse de destruction biologique à différentes températures des valeurs Z de 4,00 à 4,50 °C pour une température de référence de 60 °C

θ °C	VDB 4,00 °C	VDB 4,25 °C	VDB 4,50 °C	T °C	VDB 4,00 °C	VDB 4,25 °C	VDB 4,50 °C
40	1.10^{-5}	2.10^{-5}	$3,6.10^{-5}$	63	5,62	5,08	4,64
41	$1,8.10^{-5}$	$3,4.10^{-5}$	6.10^{-5}	64	10	8,73	7,74
42	$3,2.10^{-5}$	$5,58.10^{-5}$	1.10^{-4}	65	17,8	15	12,92
43	$5,6.10^{-5}$	1.10^{-4}	$1,7.10^{-4}$	66	31,6	25,8	21,5
44	1.10^{-4}	$1,7.10^{-4}$	$2,8.10^{-4}$	67	56,2	44,4	35,9
45	$1,8.10^{-4}$	3.10^{-4}	$4,6.10^{-4}$	68	100	87,3	77,4
46	$3,2.10^{-4}$	$5,1.10^{-4}$	$7,7.10^{-4}$	69	178	131	100
47	$5,6.10^{-4}$	$8,7.10^{-4}$	$1,3.10^{-3}$	70	316	225	167
48	1.10^{-3}	$1,5.10^{-3}$	$2,2.10^{-3}$	71	562	387	278
49	$1,8.10^{-3}$	$2,6.10^{-3}$	$3,6.10^{-3}$	72	1000	666	464
50	$3,2.10^{-3}$	$4,4.10^{-3}$	$6,0.10^{-3}$	73	1780	1145	774
51	$5,6.10^{-3}$	$7,6.10^{-3}$	$1,0.10^{-2}$	74	3160	1970	1290
52	1.10^{-2}	$1,3.10^{-2}$	$1,7.10^{-2}$	75	5620	3380	2150
53	$1,8.10^{-2}$	$2,3.10^{-2}$	$2,8.10^{-2}$	76	10000	5820	3590
54	$3,2.10^{-2}$	$3,9.10^{-2}$	$4,6.10^{-2}$	77	17800	10000	5990
55	$5,6.10^{-2}$	$6,7.10^{-2}$	$7,7.10^{-2}$	78	31600	17200	10000
56	0,1	0,11	0,13	79	56200	29550	16700
57	0,18	0,20	0,22	80	100000	50800	27800
58	0,32	0,34	0,36	81	$1,78.10^5$	$8,73.10^4$	$4,64.10^4$
59	0,56	0,58	0,6	82	$3,16.10^5$	$8,73.10^4$	$4,64.10^4$
60	1	1	1	83	$5,62.10^5$	$2,58.10^5$	$1,29.10^5$
61	1,78	1,72	1,67	84	$1,00.10^6$	$2,58.10^5$	$1,29.10^5$
62	3,16	2,96	2,78	85	$1,78.10^6$	$7,63.10^5$	$3,59.10^5$

$$VDB = 1 / D$$



VDB ↑ avec T °C

$$VDB = 10^{(\theta-60)/Z}$$

→ Micro-
organisme
facile à détruire
(Z = 4,00 °C) →
 $VDB_{72\text{ °C}} =$
 $1000 \times VDB_{60\text{ °C}}$

LES CALCULS DANS LA PRATIQUE

- Nombre d'U.P. = Vitesse de Destruction Biologique × temps de pasteurisation

Tableau donnant le nombre d'U.P. correspondant à une pasteurisation d'1mn à la température indiquée

θ °C	U.P.	T °C	U.P.	T °C	U.P.	T °C	U.P.	T °C	U.P.
46	0,01	53	0,1	60	1	67	10	74	100
46,5	0,012	53,5	0,12	60,5	1,2	67,5	12	74,5	119
47	0,014	54	0,14	61	1,4	68	14	75	139
47,5	0,016	54,4	0,16	61,5	1,6	68,5	16,5	75,5	166
48	0,019	55	0,19	62	1,9	69	19	76	196
48,5	0,023	55,5	0,23	62,5	2,3	69,5	23	76,5	231
49	0,027	56	0,27	63	2,7	70	27	77	268
49,5	0,032	56,5	0,32	63,5	3,2	70,5	32	77,5	320
50	0,037	57	0,37	64	3,7	71	37	78	373
50,5	0,045	57,5	0,45	64,5	4,5	71,5	45	78,5	445
51	0,052	58	0,52	65	5,2	72	52	79	519
51,5	0,062	58,5	0,62	65,5	6,2	72,5	62	79,5	620
52	0,072	59	0,72	66	7,2	73	72	80	720
52,5	0,086	59,5	0,86	66,5	8,6	73,5	86	80,5	860

(Z = 7 °C)

$$\begin{aligned} \text{Nombre d'U.P.}_{60^{\circ}\text{C}} &= \text{VDB} \times \text{temps de pasteurisation (min)} \\ &= 10^{(\theta - 60)/z} \times (z / 2,303) \times (\Delta t / \Delta \theta) \times (e^{[2,303 / z \times \Delta \theta]} - 1) \end{aligned}$$

LES CALCULS DANS LA PRATIQUE

CALCUL DU NOMBRE D'U.P. SANS TABLES

pour $Z = 4,50 \text{ }^{\circ}\text{C}$, on utilise : $\text{U.P.} = 1,669^{(\theta_{\text{c}} - 60)}$

avec T, la température, U.P. en U.P. 60 et une durée de 1 min

Exemple de 60 à 80 °C (Z = 4,50 °C)			
θ	$\theta - 60 = n$	$1,669^n$	U.P. 60
60	0	1,669	1
62	2	$1,669^2$	2,78
63	3	$1,669^3$	4,64
64	4		7,75
65	5		12,95
66	6		21,61
67	7		36,0
68	8		60,2
69	9	$1,669^9$	100,4
70	10		167
71	11		279
72	12		467
73	13		779
74	14		1301
75	15		2177
76	16		3624
77	17		6050
78	18	$1,669^{18}$	10097
79	19		16852
80	20	$1,669^{20}$	28127

pour $Z = 7 \text{ }^{\circ}\text{C}$, on utilise :
 $\text{U.P.} = 1,39^{(\theta_{\text{c}} - 60)}$

Nombre d'U.P.		
T °C	Théorie Calcul précis	Calcul approché
60	1	1
67	10	10,02
74	100	100,50
75	139	139
76	196	194
77	268	269
78	373	375
79	519	521
80	720	724
81	1000	1007
Z = 7 °C / micro-organismes thermo-résistants		