

Bilan thermique

Le bilan thermique du chai est l'évaluation des puissances en chaud et en froid, cuve par cuve, jour par jour, nécessaires pour respecter les meilleures conditions thermiques choisies par le vinificateur pour chaque opération œnologique.

Ces puissances à installer peuvent être très variables d'un chai à un autre et dépendent de très nombreux facteurs :

- Type de raisin : blanc, rouge ou les deux
- Opérations œnologiques à effectuer
- Rythme d'apport journalier
- Matériaux et volumes des cuves
- Volume total vinifié et volume par opération unitaire
- Durée de chaque opération et temps d'utilisation quotidien des machines
- Températures ambiantes (années chaudes ou années froides) ou souhaitées.

Il faut donc prendre tous ces paramètres en compte lorsqu'on désire établir un bilan thermique de chai digne de ce nom. Les estimations globales, à partir du seul volume de récolte, ne peuvent satisfaire ni le souci de la qualité ni le souci de saine gestion d'un vinificateur. A la suite de plusieurs années d'observations, mesures et études pratiques, nous pouvons proposer une méthode générale adaptable à chaque cas.

Il convient de répondre précisément aux questions qui définissent parfaitement les problèmes à résoudre et permettent à l'utilisateur de comparer et choisir objectivement la solution la plus adaptée à son chai :

- Quel est le planning des vendanges ?
- Quelles sont les caractéristiques de la cuverie ?
- Quels sont les besoins thermiques ?
- Quel sont les équipements thermiques disponibles ou à prévoir ?

1. Planning des vendanges

Le planning des vendanges permet d'établir approximativement l'apport de vendanges au cuvier suivant les différents cépages de l'exploitation. Elle met en évidence le phénomène de "pointe de récolte".

Tableau 10 : Exemple d'un planning des vendanges

BLANCS	1ère semaine	2ème semaine	3ème semaine	4ème semaine	Apport hL
Sauvignon	⊗⊗⊗⊗⊗⊗	⊗⊗⊗⊗⊗⊗	⊗⊗⊗⊗⊗⊗	⊗⊗⊗⊗⊗⊗	150 hL/jour
Muscadelle	⊗⊗⊗⊗⊗⊗	⊗⊗⊗⊗⊗⊗	⊗⊗⊗⊗⊗⊗	⊗⊗⊗⊗⊗⊗	/jour
Sémillon	⊗⊗⊗⊗⊗⊗	⊗⊗⊗⊗⊗⊗	⊗⊗⊗⊗⊗⊗	⊗⊗⊗⊗⊗⊗	150 hL/jour
Merlot blanc	⊗⊗⊗⊗⊗⊗	⊗⊗⊗⊗⊗⊗	⊗⊗⊗⊗⊗⊗	⊗⊗⊗⊗⊗⊗	/jour
Colombard	⊗⊗⊗⊗⊗⊗	⊗⊗⊗⊗⊗⊗	⊗⊗⊗⊗⊗⊗	⊗⊗⊗⊗⊗⊗	/jour
Ugni-blanc	⊗⊗⊗⊗⊗⊗	⊗⊗⊗⊗⊗⊗	⊗⊗⊗⊗⊗⊗	⊗⊗⊗⊗⊗⊗	/jour
ROUGES	1ère semaine	2ème semaine	3ème semaine	4ème semaine	Apport hL
Cot (Malbec)	⊗⊗⊗⊗⊗⊗	⊗⊗⊗⊗⊗⊗	⊗⊗⊗⊗⊗⊗	⊗⊗⊗⊗⊗⊗	/jour
Merlot noir	⊗⊗⊗⊗⊗⊗	⊗⊗⊗⊗⊗⊗	⊗⊗⊗⊗⊗⊗	⊗⊗⊗⊗⊗⊗	250 hL/jour
Cabernet franc	⊗⊗⊗⊗⊗⊗	⊗⊗⊗⊗⊗⊗	⊗⊗⊗⊗⊗⊗	⊗⊗⊗⊗⊗⊗	/jour
Cabernet Sauvig.	⊗⊗⊗⊗⊗⊗	⊗⊗⊗⊗⊗⊗	⊗⊗⊗⊗⊗⊗	⊗⊗⊗⊗⊗⊗	250 hL/jour

⊗ : jour ⊗ : jour d'apport

Remarque : Cette grille visualise l'étalement des apports de vendange. Il est donc aussi faux de raisonner sur le volume total que sur un volume moyen journalier.

4. Equipements disponibles ou à prévoir

Les tableaux suivants recensent les différents équipements à prévoir.

Tableau 13 : Type d'échangeurs par cuve

Nbre	Volume cuve hL	Matériau cuve	Type d'échangeur à prévoir ¹	Traitement de surface ²

¹ Serpentin, radiateur, drapeau, ceinture, ... ² Polissage électrolytique

Tableau 14 : Equipements par opérations

Opérations Oenologiques	Type d'équipement à prévoir *	Temp. fluide caloporteur (°C)
Refroidissement moûts blanc		
Stabulation liquide blanc		
Macération pelliculaire blanc		
Thermovinification rouge		
Macération à froid rouge		
Chauffage vendange rouge		
Refroidis. Vendange rouge		
Fermentation rouges		
Fermentation blancs		
Macération finale à chaud rouge		
Maintien en macération		
Refroidissement rouge		
Fermentation malo		
Pré stabilisation		
Stabilisation tartrique		
Autres :		

* Refroidisseur-Réchauffeur, cuve de traitement thermique, tour de refroidissement, réchauffeur à gaz, cane chauffante, CO₂ ...

ou

(Groupe de froid ou chaudière) + Echangeurs multitubulaire, coaxial, à plaques...

ou

(Groupe de froid ou chaudière) + Echangeurs serpentin, radiateur, drapeau, ceinture ...

A partir de ce questionnaire et d'un métré précis du cuvier, le fournisseur ou le bureau d'étude peut effectuer un bilan thermique et fournir un devis détaillé poste par poste de l'installation. Il n'existe pas de solution standard satisfaisant l'extrême diversité des besoins.

5. Les unités thermiques

Les calculs de thermique (production et échange de chaud et de froid) font appel à quelques unités légales et usuelles relatives à l'énergie, c'est-à-dire aux quantités de chaleur, ou à la puissance, c'est-à-dire aux quantités de chaleur par unité de temps.

Les unités légales sont : (Système International : S.I.) :

- Unités d'énergie : **le joule (j)**
- Unités de puissance : **le watt (W)** : 1 W = 1 J/sec et le kilowatt (kW) = 1000 watts

On utilise aussi parfois comme unité d'énergie le **watt heure (W/h)** ou le kilowatt heure (kW/h) correspondant à l'énergie mise en jeu pendant 1 heure pour une puissance de 1 watt ou 1 kilowatt.

Les unités usuelles -et non légales- couramment utilisées sont :

- Unités d'énergie : **la calorie (cal)** qui est la quantité d'énergie nécessaire pour élever de 1°C la température de 1 g d'eau, à 15°C, à la pression normale ; plus couramment que la calorie, on utilise la kilocalorie (kcal) correspondant à l'élévation de 1°C de 1 kg d'eau (=1000 cal) ; la thermie (th) également utilisée, correspond à l'élévation de 1°C d'une tonne d'eau (= 1000 kcal = 1000000 cal).
- Unités de puissance : **la kilocalorie heure**, c'est-à-dire le nombre de kilocalories mises en jeu pendant 1 heure pour une énergie de 1 kcal (1 kcal/h = 1.164 W).
- Pour les refroidissements, on utilise parfois la **Frigorie (frig)** et la **frigorie/heure (Frig/h)** correspondant respectivement à l'absorption de 1 kcal et de 1 kcal/h (1 frig/h = 1.164 W).

Remarques :

Habituellement on assimile la capacité thermique massique du moût et du vin à celle de l'eau (1 kcal/kg/°C). On introduit ainsi une erreur par excès puisque la chaleur spécifique d'un moût à 200 g sucres/l est d'environ 0,886 kcal/kg/°C et celle du vin correspondant (11,4 % vol) de 0,866 kcal/kg/°C.

En revanche on assimile la masse volumique du moût à celle de l'eau (1000 kg/m³). On introduit ainsi une erreur par défaut puisque la masse volumique d'un moût à 200 g sucres/l est d'environ 1090 kg/m³. Autrement dit le produit **Cp * p pour un moût est égal à 1090 * 0.886 = 970 kcal/m³/°C. Dans les calculs suivants nous prendrons la valeur de 1000 kcal/m³/°C pour ce produit ou 1 kcal/l/°C**

Compte tenu des usages encore en vigueur en œnologie pratique, nous utiliserons les unités "usuelles" organisées autour de la calorie et non du joule et leur conversion en W.

6. Echange global par les parois des cuves

L'échange global d'énergie à travers une paroi de cuve est caractérisé d'après la formule ci-dessous, par le coefficient global d'échange K.

La puissance d'échange fait intervenir ce coefficient dans sa formule : **Qe = K x S x Dt**

Qe = puissance (en kcal/h)

Dt = écart moyen de température (en °C)

S = surface d'échange (en m²)

K = coefficient global d'échange (en kcal/h/m²/°C)

Exemple : Echange thermique par les parois d'une cuve inox de 200 hL.

Surface d'échange de la cuve: 27 m²,

Température moût = 18°C

Température extérieure = 22°C

K = 10 kcal/h/m²/°C

Puissance d'échange = 10 x 27 x (22-18)

Qe = 1080 kcal/h = 1257 W

Ordres de grandeur de K (kcal / h / m² / °C) :

- Béton 10 cm : 4
- Bois : 5 à 7
- Polyester : 5 à 7
- Cuve isolée avec 80 mm de polyuréthane : 0.1
- Acier : 10
- Acier (cuve à l'extérieur) : 30

7. Calcul des besoins hors fermentation alcoolique

Ils concernent les opérations effectuées sur un produit qui n'est pas encore ou n'est plus en fermentation alcoolique (refroidissement ou réchauffage du moût ou de la vendange, macération finale à chaud, fermentation malolactique, stabilisation tartrique).

La puissance nécessaire à cette opération est alors calculée par la relation :

$$Q \text{ (kcal/h)} = V \times (T_f - T_i) / D$$

à partir :

- du volume maximum de produit à traiter V (L)
- de la température initiale du produit : T_i (°C)
- de la température finale que l'on souhaite : T_f (°C)
- de la durée dont on dispose pour effectuer l'opération : D (h)

Si cette opération est effectuée dans une cuve, il faut faire intervenir la puissance d'échange thermique de la cuve entre le moût ou vin et l'air ambiant par la relation :

$$Q_e \text{ (kcal/h)} = K \times S \times (T_p - T_e)$$

qui varie avec :

- la température du produit : T_p (°C)
- la température ambiante : T_e (°C)
- la surface d'échange de la cuve : S (m²)
- le coefficient global d'échange de la cuve : K (kcal/h/m²/°C)

Remarque : Q_e est négatif si T_e > T_p

On obtient ainsi la puissance à installer : **Q_{inst} = Q + Q_e (kcal/h).**

Exemple : (vinification « Blanc sec » classique)

Refroidissement d'une cuve Inox de 200 hL

$$S = 27 \text{ m}^2$$

$$K = 10 \text{ kcal/h/m}^2/\text{°C}$$

Volume de moût : 200 hL = 20000 L

Température initiale du moût : 27°C (année chaude)

Température finale : 15 °C

Température ambiante : 22 °C

Durée : 15 heures dans une cuve équipée d'un échangeur interne

$$Q = 20000 \times (15 - 27) / 15 = -16000 \text{ kcal/h} = 16000 \text{ frig/h}$$

Echange paroi :

$$Q_e = 27 * 10 * (15 - 22) = -1890 \text{ kcal/h} = 1890 \text{ frig/h}$$

$$Q_{\text{inst}} : Q + Q_e = 17890 \text{ frig/h} = 20824 \text{ W}$$

8. Calcul des besoins en fermentation alcoolique

Les besoins en fermentation dépendent à la fois de la puissance dégagée par la fermentation et des échanges entre le vin et l'air ambiant.

La puissance dégagée par la fermentation est calculée par la relation :

$$Q_f \text{ (kcal/h)} = (V \times Dt \times Vf) / D$$

à partir :

- du volume du produit : V (L)
- de l'élévation de température par % vol : Dt (°C/% vol) = 2.8 °C/% vol
- de la vitesse de fermentation : Vf (% vol/jour)
- de la durée de l'opération par jour: D (h)

Cette opération s'effectuant dans une cuve, on fait intervenir le calcul de la puissance d'échange comme dans l'exemple précédent. On obtient donc la puissance :

$$Q_{\text{inst}} = Q_f + Q_e \text{ (kcal/h)}$$

La fermentation durant plusieurs jours à une vitesse variable, on obtient ainsi chaque jour les besoins en puissance d'une cuve donnée. Les vitesses de fermentation retenues pour le calcul sont déduites des valeurs habituellement observées dans les conditions du chai.

Exemple : vinification en blanc sec

$$S = 27 \text{ m}^2$$

$$K = 10 \text{ kcal/h/m}^2/\text{°C}$$

Volume de moût : 200 hL = 2000 L

Température de fermentation : 18°C

Vitesse de fermentation : hypothèse de 12 jours de fermentation sur un moût à 12 % vol

Température ambiante moyenne : 22°C

Durée : 24h/24 dans une cuve équipée d'un échangeur interne

Les puissances nécessaires par jour pour cette cuve sont données par le tableau suivant :

Vf	Qf frig/h	Qe frig/h	Qinst frig/h	Qinst W
0.5	1167	1080	2247	2616
0.5	1167	1080	2247	2616
0.5	1167	1080	2247	2616
1	2333	1080	3413	3973
2	4667	1080	5747	6690
2	4667	1080	5747	6690
2	4667	1080	5747	6690
1	2333	1080	3413	3973
1	2333	1080	3413	3973
0.5	1167	1080	2247	2616
0.5	1167	1080	2247	2616
0.5	1167	1080	2247	2616

9. Calcul des besoins pour le cuvier

Il concerne un ensemble de cuves en fermentation alcoolique simultanément. Il fait intervenir :

- La puissance liée au refroidissement des moûts
- La puissance liée à la fermentation
- Le rythme d'apport de vendange et donc le rythme de remplissage du cuvier (hL/jour)
- La durée des vendanges
- Le nombre, la surface d'échange et le matériau des cuves à traiter

Puissance refroidissement

Puissance maîtrise fermentation

Rythme d'apport : 200 hl/jour

Durée de l'apport : 10 jours

Nombre de cuves : 10 (de 200 hl)

La puissance thermique nécessaire pour le cuvier en fermentation correspond chaque jour au cumul des puissances thermiques développées simultanément par chaque cuve.

La puissance nécessaire pour le cuvier est égale au cumul journalier maximum.

Ce calcul est effectué dans le tableau suivant :

jours	refroidissement du moût	Cuve										Cumul frig/h	Cumul W
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	17890											17890	20824
2	17890	2247										20137	23439
3	17890	2247	2247									22384	26055
4	17890	2247	2247	2247								24631	28670
5	17890	3413	2247	2247	2247							28044	32643
6	17890	5747	3413	2247	2247	2247						33791	39333
7	17890	5747	5747	3413	2247	2247	2247					39538	46022
8	17890	5747	5747	5747	3413	2247	2247	2247				45285	52712
9	17890	3413	5747	5747	5747	3413	2247	2247	2247			48698	56684
10	17890	3413	3413	5747	5747	5747	3413	2247	2247	2247		52111	60657
11		2247	3413	3413	5747	5747	5747	3413	2247	2247	2247	36468	42449
12		2247	2247	3413	3413	5747	5747	5747	3413	2247	2247	36468	42449
13		2247	2247	2247	3413	3413	5747	5747	5747	3413	2247	36468	42449
14			2247	2247	2247	3413	3413	5747	5747	5747	3413	34221	39833
15				2247	2247	3413	3413	5747	5747	5747	5747	30808	35861
16					2247	2247	2247	3413	3413	5747	5747	25061	29171
17						2247	2247	2247	3413	3413	5747	19314	22481
18							2247	2247	2247	3413	3413	13567	15792
19								2247	2247	2247	3413	10154	11819
20									2247	2247	2247	6741	7847
21										2247	2247	4494	5231
22											2247	2247	2616

10. Récapitulatif

En période de vendanges les puissances nécessaires maximum en :

- refroidissement des moûts : 17890 frig/h
- maîtrise des fermentations : 32.500 frig/h le 10ème jour

Vont s'additionner pour donner une puissance globale de :

$$Q_{inst} = 52000 \text{ frig/h} = 60600 \text{ W}$$

Si on observe le cumul cuvier sur le tableau général, les puissances de pointe n'excèdent pas 3 ou 4 jours. Il faut malgré tout maîtriser cette pointe ou bien alors diminuer le rythme d'apport.

Remarque : Certaines configurations d'installation comportant des longueurs de tuyauterie importantes non isolées et des échangeurs « ceinture » ou « double enveloppe » peuvent générer des pertes thermiques non négligeables dans l'air ambiant.

Il convient donc d'évaluer ces pertes thermiques afin de les intégrer dans la puissance à installer (voir chapitres « [Distribution des fluides](#) » et « [Echangeur interne](#) »).

Le tableau 3 permet de visualiser l'ensemble des opérations pouvant faire appel à un traitement thermique.

Tableau 3 : Les opérations de maîtrise des températures

Chaud (C) Froid (F)	Opération Oenologique	Intérêt oenologique		Puissance nécessaire	Température optimum	But de l'opération	Contraintes Oenologiques
		Bl	Rg				
1 F	Cryo-extraction	+	/	***	-5 à -10 °C	Concentre le moût par élimination d'eau sous forme de glace	xxx
2 F	Refroidissement des moûts	+++	/	***	15 à 5 °C	Facilite le débouillage des moûts de blanc	x
3 F	Macération initiale à froid	(++)	(++)	***	<=7 °C	Réduit la dissolution des tanins, favorise l'extraction	xxx
4 F	Stabulation liquide à froid	+++	/	**	<=7 °C	Libère les arômes fixés et les précurseurs d'arômes	x
5 C	Chauffage des moûts blancs	(+)	/	*	>=15 °C	Accélère le départ en fermentation après un refroidissement	x
6 C	Chauffage vendange rouge	/	+++	**	20 à 25 °C	Accélère le départ en fermentation	x
7 C	Thermovinification	/	(+++)	***	60 à 70 °C	Extraction de la couleur et des tanins	xxx
8 F	Refroidissement des fermentations BL	+++	/	**	16 à 20 °C	Développe les arômes de fermentation	x
9 F	Refroidissement des fermentations RG	/	+++	*	28 à 32 °C	Prévient les arrêts de fermentations et les accidents bactériens	x
10 C	Chauffage des fermentations BL	(++)	/	*	18 à 22 °C	Evite les fins de fermentations traînantes	x
11 C	Chauffage des fermentations RG	/	+++	**	28 à 32 °C	Favorise l'extraction de la couleur, des tanins, des arômes	x
12 C	Chauffage postfermentaire	/	(++)	***	40 à 50 °C	Extraction des tanins après fermentation alcoolique	xxx
12b C	Maintien en macération	/	(++)	**	30 à 35 °C	Extraction des tanins après fermentation alcoolique	xx
13 C	Fermentation Malo-Lactique	/	+++	*	20 à 22 °C	Favorise le développement des bactéries lactiques	x
14 F	Mutage des vins blancs liquoreux	+++	/	**	<10 °C	Ralentit l'activités des levures (avant/après SO ₂)	xx
15 C	Idem	++	/	**	50 à 70 °C	Détruit les levures (avant/après SO ₂)	xx
16 F	Pré-stabilisation biologique	++	++	**	5 à 10 °C	Détruit et précipite les levures et bactéries	x
17 F	Stabilisation colloïdale	/	+++	**	5 à 10 °C	Précipite la matière colorante instable	x
18 F	Stabilisation tartrique	+++	(+++)	***	-5 à 0 °C	Précipite le bitartrate de potassium	xx
19 F C	Elevage des vins	+++	+++	*	15 à 20 °C	Maîtrise l'oxydoréduction et le développement bactérien	x
20 C	Tirage à chaud	(+)	(+)	***	40 à 60 °C	Détruit les levures et bactéries	xxx

Intérêt oenologique :	/	sans intérêt	Puissance nécessaire :	*	faible	Contraintes oenologiques :	x	faibles
	+	peu intéressant		**	moyenne		xx	moyennes
	++	intéressant		***	importante		xxx	importantes
	+++	très intéressant						
	()	Intérêt relatif . Ne s'applique que dans certaines conditions						

Remarques :

Ces températures optimales et les estimations de puissance sont ici strictement indicatives et doivent être modulées région par région, année par année, cuve par cuve. La maîtrise des températures ne doit pas être un élément de standardisation des vins mais, au contraire, un outil précieux de personnalisation.

Copyright MatéVi. Toute reproduction totale ou partielle des contenus est strictement interdite. Pour pouvoir les diffuser, contactez-nous.