



FROMAGES FERMIERS LACTIQUES

Les équipements de climatisation des locaux d'affinage

Cette fiche fait le point sur un certain nombre de connaissances théoriques nécessaires à ceux qui sont amenés à concevoir, rénover et faire équiper des locaux d'affinage. Complétés dans d'autres fiches, ces éléments leur permettront d'optimiser le dialogue avec le climaticien (frigoriste) qui est le seul capable de dimensionner et d'installer les équipements de climatisation.

La conception des équipements de climatisation est un enjeu important lors de la création d'une fromagerie.

Une mauvaise conception des équipements de climatisation aura des conséquences néfastes durant toute la durée de vie de cet équipement : consommation d'énergie excessives, séchage trop intense des fromages (perte d'eau donc de poids = moins de fromage vendu), hétérogénéité des fromages dans la pièce (et donc temps passé à déplacer ou à trier les fromages), difficulté à piloter de manière correcte l'hygrométrie et la température...

Il est très important de bien choisir « l'homme de l'art » (climaticien) spécialement qualifié pour équiper des locaux de fromagerie, qui saura comprendre les besoins du fromager et les traduire en un équipement performant. De même il est important de ne pas vouloir économiser sur l'investissement initial : la qualité des produits donc le revenu du producteur en dépend, ainsi que son confort de travail !

Note : le frigoriste installe des appareils permettant de retirer de la chaleur ; le climaticien installe des appareils pour conditionner l'air : le chauffer, le refroidir, l'humidifier...

Les données présentées dans cette fiche sont issues du programme de recherche LACTAFF, où des enquêtes et suivi d'affinage ont été conduits dans 49 fermes dans les 6 grandes régions françaises produisant des fromages fermiers lactiques au lait de chèvre. Ces enquêtes étaient ciblées sur des fromages de type palet de taille intermédiaire (de 0,5 à 1,2 litres de lait par fromage). Des expérimentations au laboratoire et en ferme expérimentale ont permis de compléter les données issues des enquêtes.

Pourquoi climatiser les locaux d'affinage ?

Les fromages respirent

Dans les locaux d'affinage, le fromage respire (figure 1). Les processus enzymatiques et les fermentations microbiennes qui se déroulent tout au long de l'affinage consomment de l'oxygène et dégagent du dioxyde de carbone, de l'eau et de la chaleur, ainsi que d'autres composés volatils (NH_3 , éthanol...). Pour pouvoir maîtriser et orienter ces phénomènes chimiques et biologiques, il est nécessaire de maîtriser l'ambiance des locaux : **température, hygrométrie, vitesse d'air et/ou ventilation / brassage de l'air, renouvellement de l'air et teneur en gaz**. Il s'agit de maintenir une ambiance stable et indépendante des conditions extérieures. Cette ambiance permettra :

- d'obtenir la qualité organoleptique souhaitée pour le fromage (texture, développement de la microflore de surface, goût...),
- de limiter la freinte (= perte de poids) par évaporation d'eau : pour les fromages lactiques, la freinte est nécessaire au séchage et une freinte minimale continue aussi en affinage. Cependant si elle est trop importante, elle fait perdre de la matière (masse de fromage), provoque un dessèchement de la croûte et fait augmenter la teneur en sel sur eau du fromage et a donc ainsi une action concrète sur l'aspect et la texture des fromages.

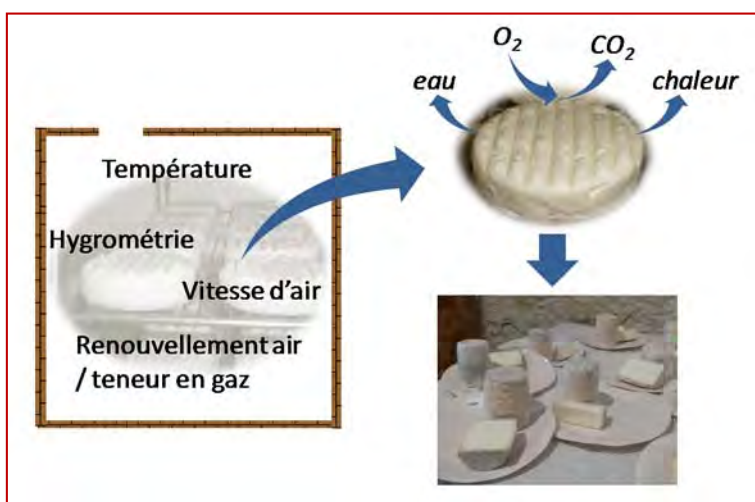


Figure 1 : le fromage respire

Une bonne isolation est le premier élément nécessaire à une bonne maîtrise de l'ambiance dans les locaux d'affinage (voir fiche « Conception extérieure des locaux d'affinage »). Afin de ne pas subir les conditions météorologiques extérieures et l'effet des températures fixées dans les pièces voisines, des équipements de climatisation permettront de refroidir/réchauffer l'air ambiant, voire de lui retirer ou de lui ajouter de l'eau. L'objectif est d'avoir une température et une hygrométrie stables dans ces pièces.

La quantité d'eau libre (disponible pour les réactions chimiques et l'évaporation) sur la quantité d'eau totale dans le fromage est appelée a_w . L' a_w en surface des fromages est influencée par les conditions d'ambiance (et les conditions physico-chimiques, taux de sel...) et influence à son tour le développement des microflore de surface. Par exemple en cas de panne du climatiseur, la température augmente. On peut assister alors à une accélération des phénomènes enzymatiques à l'intérieur du fromage, qui libèrent de l'eau qui va réhumidifier la croûte et changer ainsi l' a_w de surface, modifiant donc le développement des microflore de surface.

Le cas particulier des caves enterrées (voir aussi la fiche « conception extérieure des locaux de fromagerie ») :

Dans certaines caves enterrées présentant naturellement l'hygrométrie souhaitée, il est difficile de se passer d'équipements de climatisation afin de pouvoir maîtriser la température tout au long de l'année quelle que soit la température extérieure. En effet, les fromages produisent de la chaleur qu'il faut évacuer. De plus l'aération/ventilation de ces caves est parfois insuffisante (accumulation de gaz).

POURQUOI EST-IL RENTABLE D'INVESTIR DANS SES ÉQUIPEMENTS DE CLIMATISATION (BIEN DIMENSIONNÉS) ?

- une perte de poids excessive des fromages du fait d'équipements de climatisation mal dimensionnés, même si on vend à la pièce, c'est une moindre quantité de fromage vendus et en AOP le risque de ne pas être dans les poids minimum requis,
- ne pas pouvoir maintenir une température et hygrométrie souhaitées ou avoir une forte hétérogénéité dans la pièce engendreront du travail en plus pour le fromager,
- une moindre qualité de produit, des problèmes de séchage ou d'affinage, ou trop d'irrégularités c'est un risque commercial et donc un risque pour la pérennité de l'exploitation.

Néanmoins un équipement de climatisation ne pourra fonctionner de façon optimale que dans une pièce correctement isolée !

Comment conditionner l'air des locaux d'affinage ?

La lecture de cette partie pourra être complétée par la lecture des annexes qui rappellent un certain nombre de connaissances théoriques sur l'air.

On appelle **conditionnement d'air** l'ensemble des opérations élémentaires de traitement de l'air dont le but est de maintenir constantes ses caractéristiques : température, hygrométrie et composition chimique de l'air (La fromagerie à la ferme).

Structure d'un système de conditionnement de l'air

Différents dispositifs associés permettent le **CONDITIONNEMENT de l'air** de la pièce à climatiser (figure 2 et photo 1) :

- La batterie froide : refroidit l'air, avec pour conséquence de lui retirer de l'eau par condensation sur sa surface,
- La batterie chaude : réchauffe l'air après le passage sur la batterie froide pour le ramener à la température de consigne, ce qui a pour conséquence de baisser son hygrométrie et de lui permettre de capter plus d'eau,
- Le ou les ventilateur(s) : font circuler l'air sur le conditionneur d'air et dans la pièce,
- L'humidificateur : ajoute de l'eau à l'air (rare chez les producteurs fermiers).

L'air de reprise est celui qui arrive sur le conditionneur d'air, l'air de soufflage est celui qui est soufflé sur les fromages.

En fromagerie à la ferme, les systèmes de conditionnement d'air les plus basiques, notamment dans les hâloirs, sont souvent uniquement composés d'une batterie froide, les autres éléments ne sont pas toujours présents.

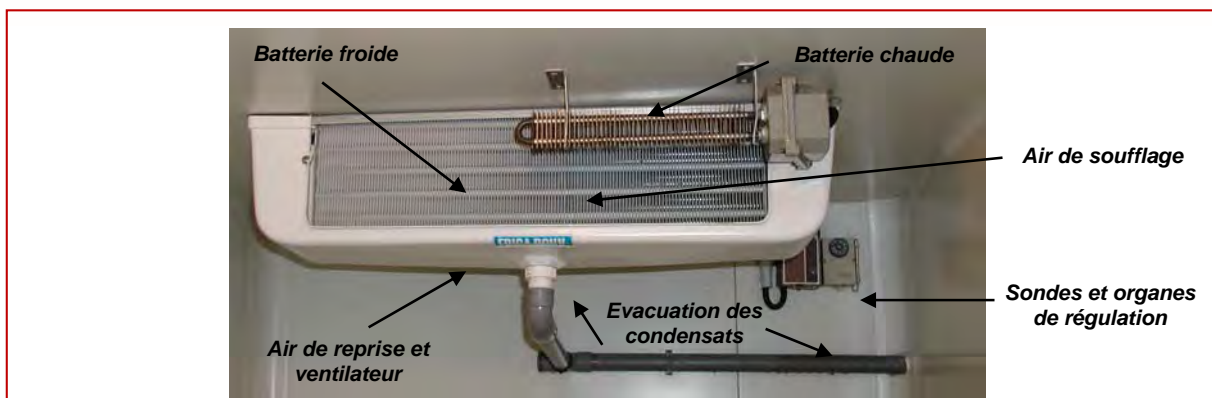


Photo 1 : système de conditionnement de l'air – Source : A. Michel, Actalia, Centre de Carmejeane

La durée de vie de ces équipements est d'environ une quinzaine d'années mais cette durée peut être très variable : lors des enquêtes en ferme, certains groupes avaient 25 ou 30 années de fonctionnement et 10 à 15 ans étaient des « âges » courants.

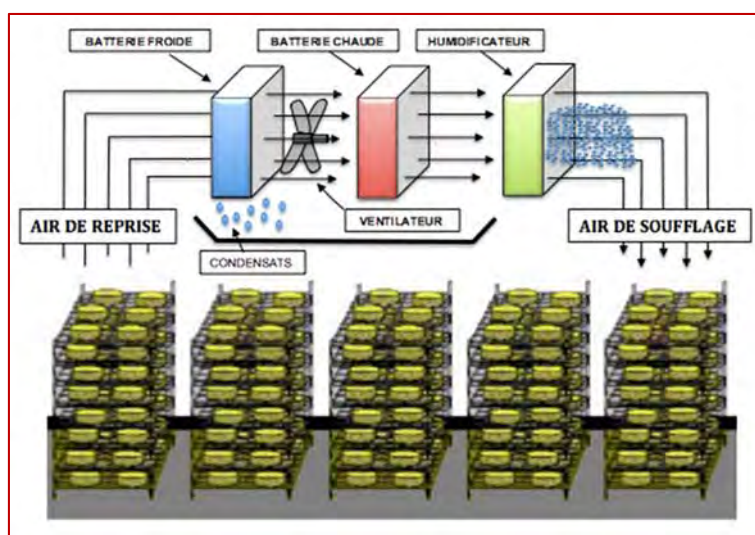


Figure 2 : les éléments d'un système de conditionnement de l'air – Source : cours P. Jean, ENILIA ENSMIC

La batterie froide

C'est l'élément de base du système de conditionnement de l'air.

Description générale

Il s'agit généralement d'un échangeur tubulaire à ailettes. La batterie froide a deux rôles : elle permet de refroidir l'air de la pièce et en refroidissant elle permet aussi de retirer de l'eau à l'air par condensation de la vapeur d'eau à la surface de ses ailettes (figure 3). Le matériau constituant l'échangeur peut être :

- du cuivre,
- du cuivre galvanisé,
- du cuivre recouvert d'une pellicule d'or,
- de l'acier inoxydable : le plus robuste, facile à entretenir et résistant à la corrosion.

Pour les nouveaux appareils, le cuivre est à éviter, notamment pour les tuyaux (fuites suite à la corrosion).

Les ailettes sont fragiles, attention lors du nettoyage !

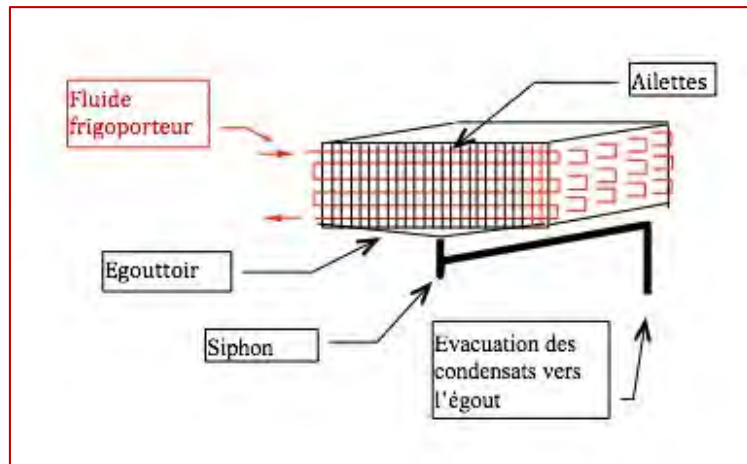


Figure 3 : schéma général d'une batterie froide – Source : cours P. Jean, ENILIA ENSMIC

La puissance frigorifique de cet échangeur est la caractéristique principale de la batterie froide. Elle représente la chaleur retirée à l'air par cet échangeur pendant un temps donné (24h en général). Elle se choisit en général à partir du bilan thermique établi sur 24h, avec le plus souvent un temps de fonctionnement du groupe de 8 à 16h. En détente directe, on parle du Coefficient Optimum de Performance du groupe frigorifique (COP). Ce Coefficient permet de connaître la consommation électrique du groupe frigorifique sur 24 heures (voir encadré).

Pour l'utilisateur fromager, ce qui importe, c'est la différence de température entre le fluide de l'échangeur et l'air ambiant de la pièce à climatiser car elle détermine l'humidité relative du local. C'est le **DELTA T** (ou Δt). En effet, plus l'écart de température est important, plus la vapeur d'eau de l'air ambiant se condense sur la batterie froide. Plus l'écart est important, plus le refroidissement est efficace mais ce n'est pas forcément le plus intéressant en fromagerie, car un écart important va entraîner le séchage du fromage. Les écarts généralement admis sont présentés dans le tableau 1 ; les valeurs les plus faibles sont difficiles à atteindre avec un appareil en détente directe (fluide frigorigène dans la batterie froide).

Tableau 1 : écart de température généralement admis entre la température de l'air du local et le fluide frigorigère pour une humidité relative donnée (Source : la fromagerie à la ferme)

Humidité relative désirée en %	90	85	80	75	70
Ecart en °C (DELTA T)	5	7	9	12	16

Détente directe ou indirecte

Le fluide qui échange avec l'air de la pièce dans la batterie froide peut être, suivant les solutions choisies :

- un fluide frigorigène (installation frigorifique à détente directe),
- de l'eau glacée ou glycolée préalablement refroidie par un groupe frigorifique (installation frigorifique à détente indirecte).

La détente directe est un système où l'on « fabrique » le froid dans la pièce à refroidir. En détente indirecte, il y a une centrale de production et d'accumulation de froid (eau glycolée ou glacée), puis un système de transport du froid (pompes et canalisations) dans les pièces à refroidir.

En technologie lactique en fromagerie fermière, les équipements de climatisation utilisés sont majoritairement à détente directe, sauf pour de très grandes installations. Détente directe ou indirecte ont chacune des avantages et des inconvénients (tableau 2). Par la suite, nous ne traiterons que des équipements à détente directe.

CALCUL CONSOMMATION ENERGETIQUE

Il convient de commencer par définir deux notions paradoxalement proches mais éloignées à la fois. Il s'agit de la puissance consommée et de puissance produite, la première définit la puissance nécessaire au fonctionnement d'un système mécanique, alors que la seconde représente la puissance restituée par ce même système.

On peut alors définir un « rendement » comme étant le rapport de la puissance restituée par le système sur celle fournie à ce dernier. Ainsi tous les systèmes mécaniques possèdent un rendement ; il est de l'ordre de 85% pour les moteurs électriques asynchrones contre 20% pour celui des moteurs à explosion de nos voitures.

Les machines frigorifiques ont quant à elles un rendement supérieur à 100%, on parlera alors de Coefficient Optimum de Performance (COP). Habituellement le COP rencontré sur les machines frigorifiques classiques, avec échangeur air-air, est de l'ordre de 3 mais peut monter jusqu'à 5. Cela signifie que la puissance absorbée par le compresseur électrique se transforme pour donner une puissance frigorifique 3 fois plus grande avec un COP de 3. Cette valeur est déterminée avec des tests dans des conditions optimales qui ne sont pas forcément celles rencontrées en fromagerie.

Le coefficient de performance est une valeur propre à chaque appareil, il est donné par le constructeur lors de la mise en route. Au fil du temps, ce coefficient diminue du fait de la dégradation du matériel ou de la diminution des performances d'un des éléments constitutifs d'un système de conditionnement d'air. De ce fait, pour maintenir une puissance frigorifique stable, il est nécessaire de fournir plus de puissance au compresseur, d'où une consommation électrique accrue.

Pour assurer une performance optimum du matériel, il est aussi nécessaire d'entretenir correctement chaque élément qui le compose.

Ainsi :

$$\text{Puissance frigorifique} = \text{COP} \times \text{Puissance électrique du compresseur}$$

La puissance frigorifique du compresseur est mentionnée dans le devis du climaticien, ce qui permet de calculer la puissance électrique, en prenant soit un COP moyen de 3, soit le COP mentionné dans le devis. A cela il faut éventuellement ajouter la consommation de la résistance électrique (batterie chaude).

Si on considère que le compresseur fonctionne 16h sur 24h dans une journée :

Consommation annuelle (en kW.h) = puissance électrique du compresseur * 16h * 365j

Soit en prenant environ 0,15 € pour 1kW.h...

Des consommations électriques ont été mesurées pendant une année pour le hâloir et le séchoir à la ferme caprine du lycée agricole de Davayé et à la ferme caprine expérimentale du Pradel EPLEFPA. Des valeurs moyennes pour la transformation de 400 litres de lait sont présentées dans le tableau suivant :

	Davayé	Pradel
Séchoir	Séchoir dynamique (5,2m ² et 12,5m ³) 26,3 kWh / j	Séchoir tournant avec deux évaporateurs et 4 gaines de soufflage (8,2m ² et 20,4m ³) 59 kWh / j
Hâloir	Hâloir dynamique (6,8m ² et 16,3m ³) 20,1 kWh / j	Hâloir statique (7,6m ² et 19m ³) 1,1 kWh / j

Tableau 2 : principe général de fonctionnement et avantages et inconvénients des machines frigorifiques à détente directe et indirecte

	Détente directe	Détente indirecte
Principe	L'air à refroidir échange de la chaleur directement avec le fluide frigorigène.	L'air à refroidir échange de la chaleur avec un fluide intermédiaire, celui-ci étant refroidi grâce au fluide frigorigène du groupe frigorifique.
Fluide de l'échangeur (fluide intermédiaire)	Fluide frigorigène : R12 (interdit), R22 (en voie d'interdiction), R134a...	Eau glacée, eau glycolée...
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Obtention de basses températures, • Bon rendement, • Simple et peu coûteux à l'installation. 	<ul style="list-style-type: none"> • Moindres variations de la température et de l'humidité (et de la ventilation) quand le groupe se déclenche, donc meilleure régularité d'affinage des fromages • Forte hygrométrie plus facile à obtenir car sèche moins, • Centralise la production de « froid » qui peut ensuite être utilisé à différents endroits (différentes pièces), • Possibilité de stocker de l'eau ou de l'eau glycolée refroidie (moindre coût de fonctionnement si production de froid en heures creuses EDF).
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Assèche l'air, difficile de maintenir une hygrométrie élevée, • Le gros écart de température entre le fluide frigorigène et l'air entraîne des variations brutales de température quand la régulation se met en marche, • Si plusieurs pièces à climatiser, plusieurs machines donc maintenance accrue, • Pas de stock de « froid ». 	<ul style="list-style-type: none"> • Investissement plus élevé, installations plus complexes, • Selon le système, le rendement peut être plus faible en raison des fluides intermédiaires.
Investissement	<ul style="list-style-type: none"> • En dynamique : 3 000 à 8 000 € • En statique : 5 000 à 15 000 € 	<ul style="list-style-type: none"> • De 50 000 à 100 000 € ; cet investissement ne devient intéressant qu'à partir de 300 kg de pâte molle fabriquée tous les jours (N. Enjalbert, Air Quality Process, communication personnelle)

Lors de 49 enquêtes en fermes dans 6 régions dans le cadre du programme CASDAR LACTAFF, aucun évaporateur à détente indirecte n'a été observé en transformation lactique, sans doute pour des raisons de coût et de dimension des équipements.

Principe de fonctionnement de la machine frigorifique

Comme un réfrigérateur, une machine frigorifique est constituée de 4 appareils principaux, dont le principe de fonctionnement est présenté en figure 4 (et voir photos 2) :

- Le compresseur augmente la pression et donc la température du fluide frigorigène qui lui arrive sous forme de gaz afin de préparer son passage à l'état liquide ;
- Le condenseur est un échangeur thermique qui condense le fluide frigorigène. Il est placé à l'extérieur de la fromagerie. L'air ambiant extérieur doit alors prendre de la chaleur pour le faire passer à l'état liquide (l'air doit être frais pour pouvoir prendre la chaleur) ;
- Le détendeur baisse la pression du fluide frigorigène qui commence alors à passer à l'état de gaz et se refroidir ;
- L'évaporateur est un échangeur thermique grâce auquel le fluide frigorigène prend de la chaleur à l'air de la pièce à climatiser et ainsi le refroidit. Le fluide frigorigène a en effet besoin de prendre de la chaleur à l'air ambiant de la pièce pour se vaporiser (figure 4).



Au hâloir en particulier, pour maintenir l'hygrométrie de l'air de la salle d'affinage, l'air a besoin de prendre de l'eau. Cette eau, il va la prendre là où elle est, et principalement sur les fromages et c'est ce que l'on veut éviter en affinage.

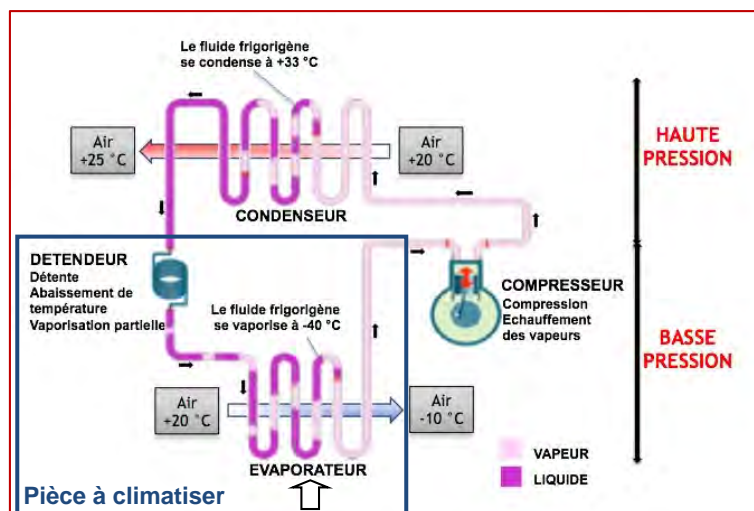
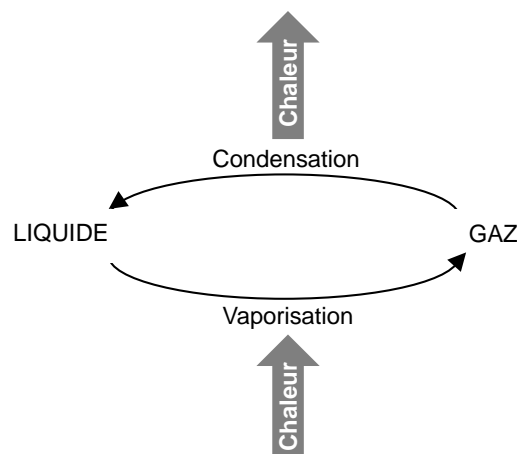


Figure 4 : schéma de fonctionnement d'une machine frigorifique – Source : cours P. Jean, ENILIA ENSMIC

Rappel sur les changements d'état :



En général seuls l'évaporateur et le détendeur sont implantés dans la pièce à climatiser en détente directe. Les autres éléments se trouvent dans un local attenant ou dans un abri protégé à l'extérieur (distance maximum de 15 m entre évaporateur et compresseur-détendeur), sans ensoleillement direct, évitant les poussières et si possible dans un courant d'air (photo 2). Il est important que le compresseur et le condenseur restent à une température pas trop élevée (pas d'orientation au sud par exemple) pour que l'air ambiant puisse prendre la chaleur du fluide frigorigène qui se condense (passe de l'état de gaz à l'état liquide), ce qui est parfois problématique en été. Sinon, le groupe frigorifique risque de fonctionner en continu inutilement et de trop refroidir et sécher les fromages.

Ces éléments doivent être pris en compte dans la conception du bâtiment : en plus des contraintes énumérées ci-dessus, ils doivent aussi être facilement accessible pour pouvoir être régulièrement entretenus (entretien par le producteur : dépoussiérage, vérification que les ailettes ne sont pas encombrées, surveillance de l'absence de fuites... ; puis entretien par le climaticien, en général une fois par an). Parfois il est nécessaire de prévoir une isolation phonique de ces éléments.



Photo 2 : compresseur

Les fluides frigorigènes

Les fluides frigorigènes ont la particularité d'avoir, sous la pression atmosphérique, une température d'ébullition très faible. Pour se vaporiser lors de l'ébullition, par exemple quand ils sont détendus, ils retirent de la chaleur de l'air dans lequel ils se trouvent. Cette propriété est utilisée pour maintenir l'évaporateur à une température inférieure à celle de l'air à refroidir.

A cause de leur contribution à l'effet de serre, nombre de ces fluides frigorigènes sont interdits ou en voie d'interdiction. Il faut donc être particulièrement vigilant lors de l'achat d'un groupe frigorifique d'occasion : si postérieurement à l'achat, le circuit présente des fuites par exemple, il ne pourra pas être rechargé. Le système devra alors subir des modifications importantes, dont le coût sera sans doute équivalent à l'achat d'une nouvelle machine frigorifique. **Il est ainsi fortement déconseillé d'acheter des installations d'occasion fonctionnant au R12 et R22. Un équipement de climatisation a été conçu pour une situation donnée dans une ferme et sa durée de vie est limitée : l'achat d'occasion est donc fortement déconseillé de façon générale (la seule exception pouvant être un équipement de climatisation d'une chambre froide de taille similaire).**

On distingue parmi les fluides frigorigènes différentes catégories de molécules :

- les chlorofluorocarbures (CFC) (R11, R12, R502) ; ils sont interdits depuis le 31 décembre 1994,
- les hydrochlorofluorocarbures (HCFC) ; certains sont en voie d'interdiction (dont le R22), ils ne sont plus produits à partir du 31 décembre 2014,
- les hydrofluorocarbures (HFC) (dont R134A et R404A) ; toujours autorisés (en voie d'interdiction pour 2020),
- les perfluorocarbures (PFC) ou hydrocarbures perfluorés,
- les hydrocarbures ou composés organiques ne faisant pas partie des catégories précédemment citées,
- les composés inorganiques comme l'ammoniac,
- le CO₂, abandonné lors de la découverte des gaz fluorés et de leurs propriétés, mais de nouveau utilisé aujourd'hui.

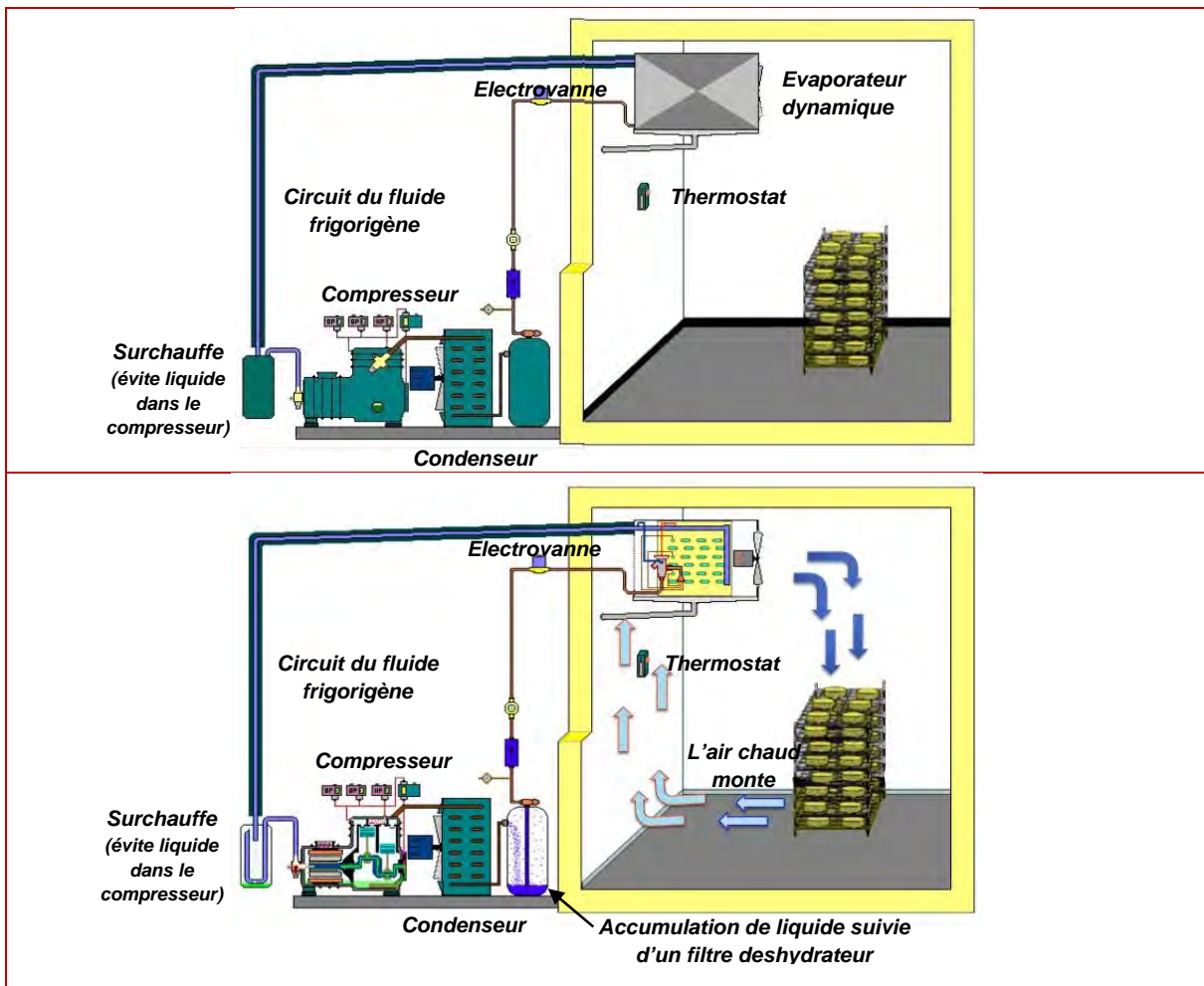
Le type de fluide frigorigène utilisé est mentionné sur le compresseur.

Différents types d'installation frigorifiques

Les figures 5 à 8 présentent les deux grands types de machines frigorifiques à détente directe (voir aussi photos 3 à 5) :

- Dynamique : l'air est ventilé sur l'installation frigorifique qui est donc de moindre taille.
- Statique : il n'y a pas de ventilateur. La circulation de l'air dans la pièce se fait uniquement par convection naturelle (l'air chaud monte). Cela nécessite une surface d'échange beaucoup plus importante pour refroidir l'air ;

Les avantages et inconvénients de ces deux types de systèmes sont répertoriés dans le tableau 4.



Figures 5 et 6 : installation frigorifique à détente directe à évaporateur dynamique boîtier fermé puis ouvert
Source : cours P. Jean, ENILIA ENSMIC



Photos 3 et 4 : évaporateur à détente directe dynamique
Source : M. Pétrier, CTFC

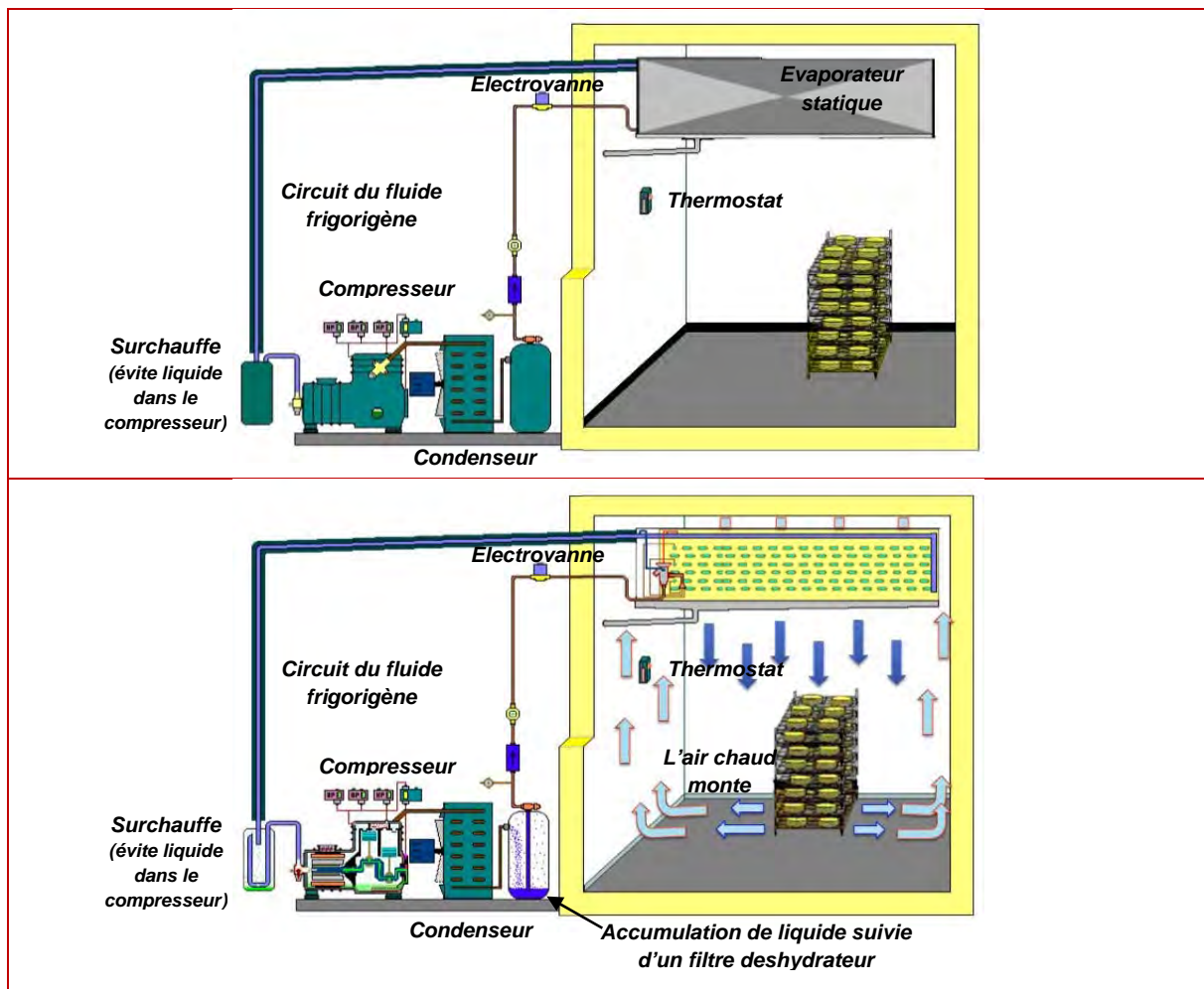
Tableau 4 : avantages et inconvénients des évaporateurs statiques et dynamiques (exemple de la détente directe)

	Avantages	Inconvénients	Précautions à prendre
Évaporateur sans ventilation : statique	<p>Sèche moins les fromages que le dynamique (pas de ventilation),</p> <p>Son delta T en général plus faible s'il est bien dimensionné lui permet de maintenir plus facilement une hygrométrie élevée.</p>	<p>Surfaces d'échanges importantes (ailettes) → encombrement, vérifier la nettoyabilité.</p> <p>Plus difficile d'obtenir des conditions d'ambiance homogènes (pas de ventilation).</p> <p>Ne convient pas pour le séchage.</p> <p>Plus coûteux que le dynamique.</p>	<p>Le séchage doit avoir été bien géré avant,</p> <p>Fixer la périodicité du nettoyage et de la maintenance.</p> <p>Ne pas surdimensionner.</p>
Évaporateur avec ventilation : dynamique	<p>Faible encombrement.</p> <p>Coût inférieur à puissance égale (moins de matériau).</p> <p>Brassage de l'air, homogénéité de l'ambiance, facilite le transfert de chaleur par convection.</p> <p>Plus faciles à nettoyer.</p>	<p>Vitesses d'air plus élevées sur les fromages : sèche plus la surface des fromages, surtout si l'hygrométrie est basse.</p> <p>Difficultés pour atteindre et maintenir une hygrométrie supérieure à 95%.</p> <p>Plus fragile, moindre durée de vie.</p> <p>L'air étant plus brassé, cela peut faciliter la dissémination de spores indésirables (bleu par exemple)</p>	<p>Fixer la périodicité du nettoyage et de la maintenance.</p>

Lors des enquêtes menées dans 49 fermes dans 6 régions, 5 fermes n'avaient pas de groupe froid au hâloir et 8 avaient un groupe froid statique. Les 37 fermes restantes avaient un groupe froid dynamique au hâloir.



Photo 5 : évaporateur à détente directe statique – Source : G. Allut, CFB



Figures 7 et 8 : installation frigorifique à détente directe à évaporateur statique boîtier fermé puis ouvert
 Source : cours P. Jean, ENILIA ENSMIC

Autres éléments du système de conditionnement de l'air en plus de la batterie froide :

La batterie chaude

Elle permet de réchauffer l'air après son passage sur la batterie froide pour le ramener à la température de consigne. La batterie chaude peut être de 3 types (figure 9) :

- une résistance électrique (photo 6),
- une partie du condenseur de la machine frigorifique (photo 7),
- un échangeur à eau chaude si celle-ci est disponible (rare) (photo 8).

En l'absence de batterie chaude, l'air risque d'être soufflé trop froid sur les fromages.

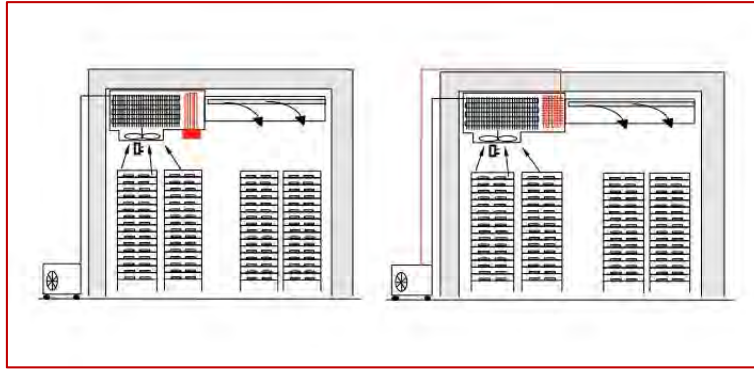


Figure 9 : deux types de batteries chaudes : partie du condenseur (à droite) ou résistance électrique (à gauche)
 Source : cours P. Jean, ENILIA ENSMIC

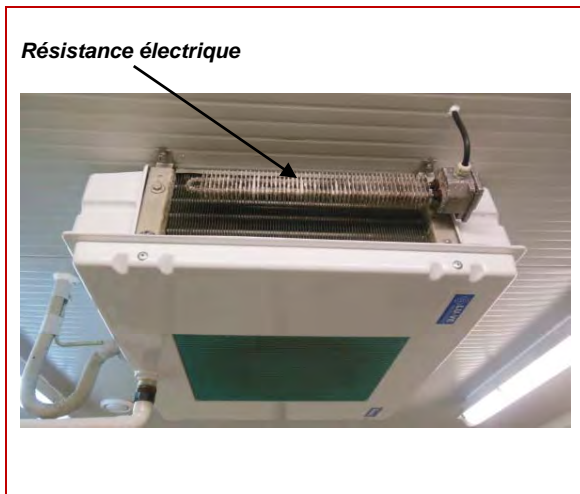


Photo 6 : batterie chaude sous forme de résistance devant un évaporateur dynamique
 Source : A. Chabanon, FRESYCA

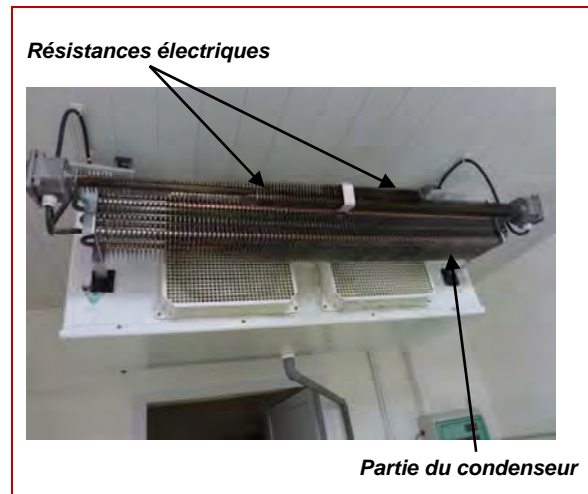


Photo 7 : batterie chaude partie condenseur et résistances électriques
 Source : M. Pétrier, CTFC

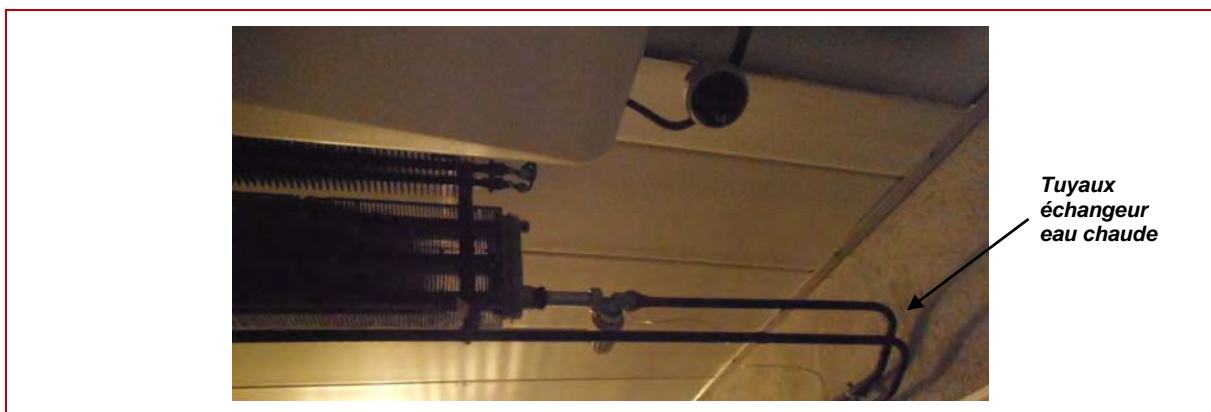


Photo 8 : batterie chaude formée d'un échangeur à eau chaude (eau à 50°C) dans un séchoir
 Source : S. Morge, PEP caprins Rhône-Alpes

La présence d'une batterie chaude est incontournable au séchoir car on a besoin de retirer de l'eau des fromages. L'air ayant été déshumidifié sur la batterie froide et réchauffé sur la batterie chaude peut alors capter plus d'eau lorsqu'il arrive sur les fromages.

Au hâloir les évaporateurs statiques ne comportent quasiment jamais de batterie chaude ni d'humidificateur. Au hâloir, la batterie chaude permet une meilleure maîtrise de l'ambiance si elle est parfaitement dimensionnée et qu'elle est associée à un système d'humidification. En l'absence de système d'humidification (figure 2 page 4) et/ou si elle n'est pas parfaitement dimensionnée ainsi que la batterie froide, elle sera sans doute responsable d'un séchage excessif des fromages. Si le choix est quand même fait d'installer une batterie chaude sans humidificateur (qui prendra donc de l'eau aux



Photo 9 : radiateur d'appoint dans un hâloir – Source : M. Pétrier, CTFC

fromages), il faut impérativement prévoir de pouvoir l'éteindre (prévoir un interrupteur à la conception) si besoin (notamment si les fromages sont trop secs). Une batterie chaude peut-être constituée d'un radiateur mural ou mobile (photo 9) mais ce système présente des inconvénients : conditionnement d'air moins fin (il n'est pas à côté de la batterie froide), notamment avec un évaporateur statique, coût pas forcément inférieur et problème de la durée de vie dans le milieu humide du hâloir (rouille...).

En l'absence d'humidificateur et de batterie chaude, un éventuel hygostat sert uniquement à pouvoir diminuer l'hygrométrie si cette dernière est trop élevée en pilotant la batterie froide afin de déshumidifier l'air ambiant.

L'humidificateur

Cet équipement n'est pas toujours présent, il ne présente d'intérêt qu'au hâloir. Il peut s'agir d'un humidificateur intégré à l'évaporateur (photo 10), ou d'un système indépendant, par exemple fixé sur le mur ou posé au sol (photos 11 et 12). La présence d'un humidificateur impose la présence d'une régulation basée sur l'hygrométrie en plus de la régulation basée sur la température.

On parle de « vapeur chaude » quand l'eau est vaporisée dans l'air par chauffage par une résistance et de « vapeur froide » quand l'eau est « brumisée » en très fines gouttelettes par des ultra-sons.



Photo 10 : humidificateur sur l'évaporateur dans un hâloir
Source : S. Morge, PEP caprins Rhône-Alpes



Photos 11 et 12 : différents modèles d'humidificateurs externes à l'évaporateur dans un hâloir
Source : A. Chabanon, FRESYCA et C. Reynaud, Actalia-Produits Laitiers

Ces dispositifs sont délicats à installer et à entretenir en production fermière. Notamment il faut disposer d'eau adoucie car ces dispositifs sont très sensibles à l'entartrage, ce qui impose une centrale de traitement de l'eau ou alors un réservoir tampon dont il faut assurer le remplissage par de l'eau adoucie du commerce (dont la qualité bactériologique doit être assurée, surtout si vapeur froide), et le nettoyage et l'entretien pour éviter tout risque sanitaire ou technologique lié à la stagnation d'eau. Il faut aussi amener de l'air comprimé s'il faut alimenter des buses.

L'humidificateur s'installe normalement après la batterie chaude s'il est intégré à l'évaporateur, sauf dans certains systèmes où il peut être installé en amont de la batterie froide.

Le ou les ventilateur(s) et autres moyens de diffusion de l'air

Le ou les ventilateurs permettent de brasser l'air, donc d'homogénéiser l'ambiance. Dans les installations avec évaporateur statique, la circulation de l'air se fait surtout par convection naturelle.

Le ventilateur intégré à l'évaporateur permet de forcer l'air à passer dans le conditionneur d'air pour être traité. **Il est fortement recommandé de lui adjoindre un variateur de tension permettant de faire varier le débit selon la charge du local en fromages (photo 14). Dans les enquêtes, seulement 10 exploitations avaient un variateur de vitesse des ventilateurs au hâloir.**

Le ou les ventilateurs ne sont pas toujours présents : si le système de climatisation ne comporte pas de ventilateur, on parle d'un système « statique » (photo 5), l'air circule uniquement par convection dans la pièce avec des vitesses d'air très faibles sur les fromages. Si le ou les ventilateur(s) est(sont) présent(s), on parle d'un système dynamique (photo 13 ; si le ou les ventilateur(s) souffle(nt) l'air dans une seule direction, on parle d'un appareil « simple flux » ; si des ventilateurs soufflent dans deux directions, on parle d'appareil « double flux ».



Photo 13 : Ventilateurs de reprise dessous un évaporateur dans un séchoir avec un faux plafond conduisant l'air soufflé
Source : M. Pétrier, CTFC



Photo 14 : variateur de vitesse permettant de faire varier la vitesse de rotation des ventilateurs sur la batterie froide, permettant de faire varier leur débit et ainsi agir sur le taux de brassage de l'air en fonction de la charge du hâloir
Source : M. Teinturier, FRESYCA

Ventilateurs indépendants



Photo 15 : ventilateur additionnel indépendant dans un séchoir
Source : S. Morge, PEP caprins Rhône-Alpes

Le principal inconvénient des ventilateurs additionnels d'appoint (photo 15) est le risque de séchage trop important en surface des fromages, il faut donc respecter une certaine distance entre le ventilateur et les fromages.

L'air peut aussi être soufflé dans une gaine textile (rare en production lactique caprine à la ferme) (photo 16). La gaine textile présente l'intérêt d'homogénéiser l'ambiance de la pièce tout en envoyant sur les fromages de l'air avec des vitesses d'air très faibles. La conception de ces gaines (taille des ouvertures notamment) est à déterminer selon les objectifs produits. Elles doivent cependant être régulièrement entretenues (machine à laver) ; elles ne sont pas adaptables sur de nombreux types d'évaporateurs rencontrés en production fermière. Une certaine hauteur de plafond est aussi nécessaire pour installer cette gaine. Il existe aussi des gaines plastiques (cas d'un séchoir tournant par exemple, voir photos 17 et 18) ou des gaines métalliques.



Photo 16 : gaine textile de soufflage de l'air dans une cave PPNC
 Source : S. Raynaud, Institut de l'Élevage



Photos 17 et 18 : gaine plastique de soufflage d'air dans un séchoir tournant (en blanc à gauche de la photo)
 Source : S. Morge, PEP caprin Rhône-Alpes

Le récupérateur de chaleur

Il s'agit d'un dispositif optionnel. Il peut s'agir de l'utilisation d'une partie du condenseur comme batterie chaude (nécessite de sur-dimensionner le groupe) Ou plusieurs condenseurs peuvent être regroupés au même point pour produire ensemble de la chaleur.

Il a un coût lors de son installation mais permettra d'économiser ensuite sur les consommations électriques (1,7 € par jour environ d'économie d'électricité dans l'exemple de la figure 10). Dans le cas où le condenseur remplace au moins en partie la résistance électrique faisant office de batterie chaude (photo 7 et figure 9), une économie sera réalisée sur le coût de cette résistance.

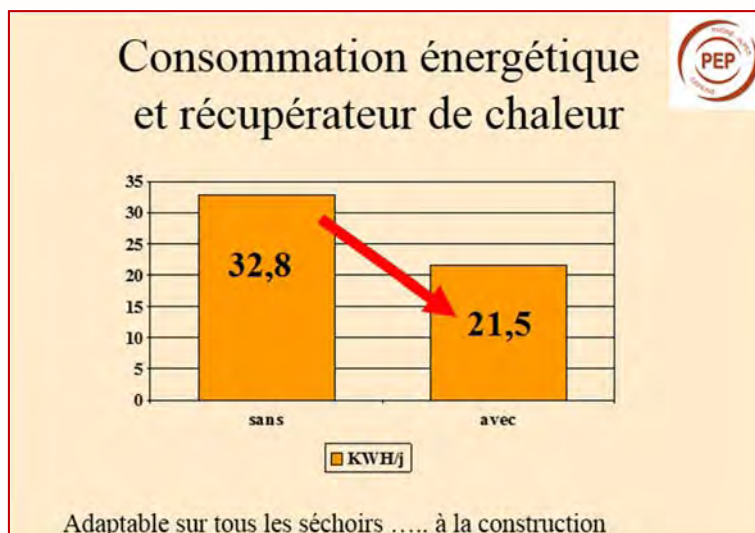


Figure 10 : diminution de la consommation d'énergie électrique permise par un récupérateur de chaleur, résultats enquêtes en fermes et expérimentations par le PEP caprins Rhône-Alpes

La régulation

Il existe différents types de régulation pour les équipements de climatisation, selon le nombre de paramètres sur lesquels on peut jouer (température et/ou hygrométrie par exemple), et selon si ces régulations sont combinées ou pas (figure 11).

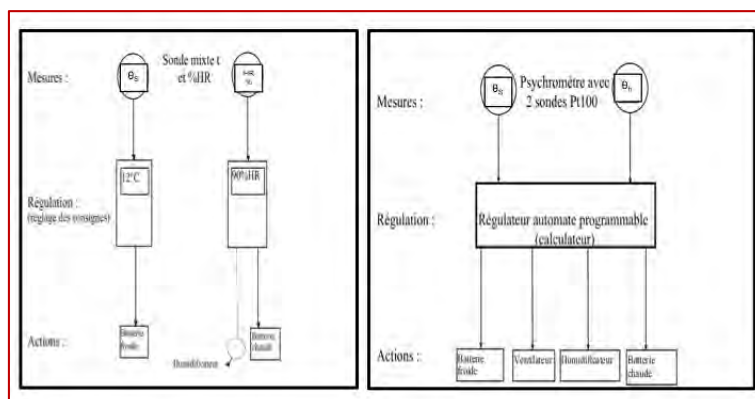


Figure 11 : différents types de régulation du fonctionnement de l'équipement de climatisation (noter que la mesure de l'hygrométrie avec un psychromètre pour de la régulation est rare dans des ateliers fermiers)
Source : cours P. Jean, ENILIA ENSMIC

Le processus de régulation comporte 3 grandes étapes :

- la mesure de la ou des grandeur(s) à réguler par une ou des sondes (température, hygrométrie...). L'emplacement de ces sondes est à choisir judicieusement, de préférence au plus près des fromages et surtout dans le flux d'air venant de l'évaporateur. Le niveau de précision des sondes est à réfléchir : soit très précises et donc chères, soit moins précises mais moins chères. Ces sondes, notamment pour l'hygrométrie, doivent être régulièrement vérifiées et étalonnées (s'adresser au vendeur ou au fournisseur des sondes).
- la régulation proprement dite qui s'appuie sur la comparaison entre la grandeur mesurée et la consigne précédemment donnée pour cette grandeur (avec une plage de tolérance autour de la température de consigne). Les organes de régulation sont généralement inclus dans une armoire de commande dont la place est à définir à la construction de la fromagerie (notamment savoir si elle est dans la pièce ou à l'extérieur de celle-ci – photos 19 à 21). La régulation peut

se faire séparément pour chaque grandeur (le plus courant dans des installations à la ferme), ou alors de façon conjointe, ce qui nécessite un calculateur plus complexe,

- si la mesure s'écarte suffisamment de la consigne, une action est mise en place : par exemple, déclenchement de la batterie froide si la température est trop élevée... Un procédé automatique est nécessaire, chaque élément peut être piloté : batterie froide, batterie chaude, ventilateur(s), humidificateur.

La régulation est pilotée non seulement avec une température (ou hygrométrie...) de consigne, mais aussi la plage de variation (hystérésis) que l'on tolère avant que le système de climatisation ne se mette en marche ou ne s'arrête (figure 12). Il faut donc que la plage de variation ne soit pas trop réduite afin de limiter les déclenchements/arrêts du groupe froid (ce qui n'est pas favorable à sa durée de vie). L'inverse n'est pas bon non plus pour les fromages car les soumet à des variations importantes de température (ou hygrométrie). Il est important que cette plage de régulation puisse être réglée par l'utilisateur, et notamment modifiée selon les conditions extérieures.

Lorsque la température extérieure est comprise dans cette plage de variation, le groupe risque de ne pas se déclencher → dans ce cas-là il faut régler cette plage de variation.

Ex : 12°C de température de consigne avec plage de +/- 2°C. Si la température extérieure est de 13,5°C → le groupe froid ne se met jamais en route et la température de la pièce reste à 13,5°C → nécessite par exemple de réduire la plage de variation à +/- 1°C.

Avant le réglage se faisait à l'aide d'un tournevis, maintenant les systèmes plus récents sont équipés d'un menu électronique (parfois avec des clés) dans lequel on règle les paramètres « dif » (pour différentiel statique) ou « hys » (hystérésis).

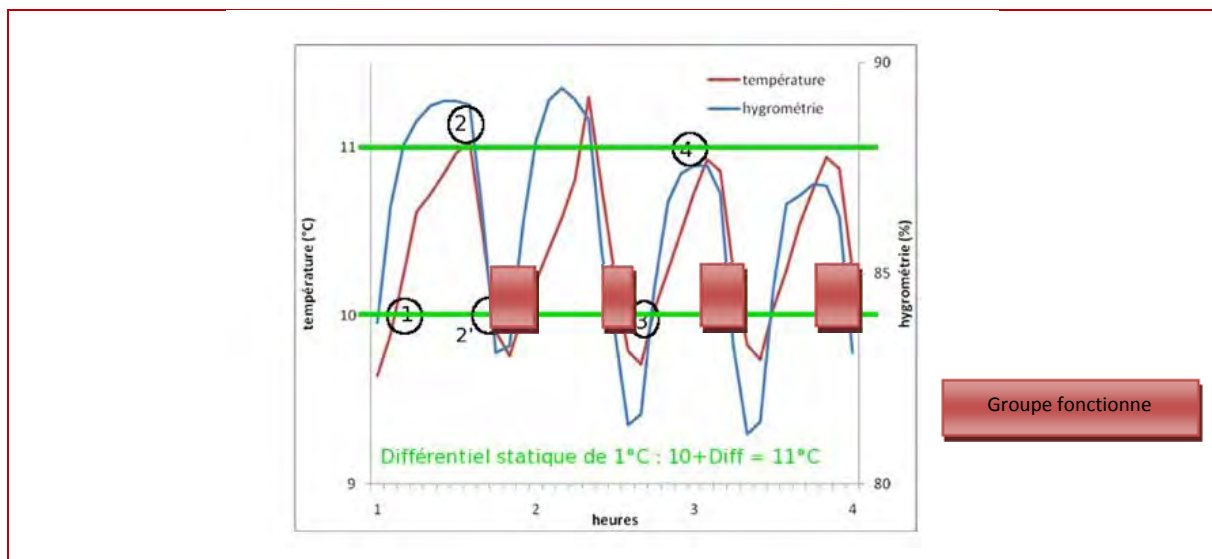


Figure 12 : évolution de la température et de l'hygrométrie durant 4h dans un des hâloirs de la station expérimentale caprine du Pradel EPLEFPA

Dans cet exemple, la consigne de température est réglée à 10°C et le différentiel statique à 1°C. Ces réglages impliquent que le thermostat commande le déclenchement de la batterie froide quand la température atteint 11°C et l'arrête quand la température arrive à 10°C, température de consigne. Par contre, l'arrêt de la batterie froide n'est pas instantané et l'air continue donc à se refroidir et peut être responsable de séchage des fromages.

Notons sur ce schéma que l'hygrométrie de l'air varie avec la température de façon un peu décalée : lorsque la batterie froide est en marche, de l'eau se condense à sa surface, l'hygrométrie diminue donc conjointement à la température.

Ce système de régulation entraîne des variations de la température de la pièce qui sont visibleS sur la figure 13 (figure issue d'enquêtes en ferme programme LACTAFF).

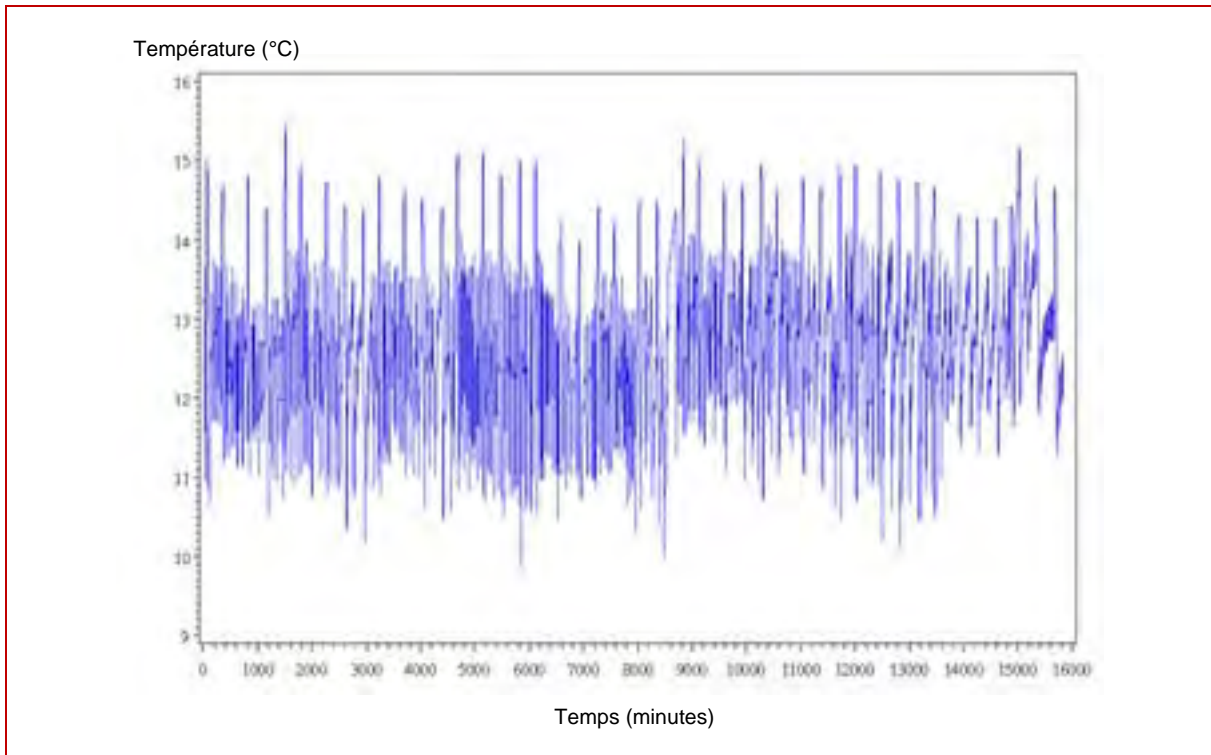


Figure 13 : enregistrement de la température dans un local d'affinage pendant une dizaine de jours (en abscisse le temps en minutes, en ordonnée la température)



Photos 19 à 21 : armoires de commande – Source : A. Chabanon, FRESYCA

Il faut également signaler l'importance du positionnement des sondes de mesure dans les caves (photo 22). Elles ne sont pas toujours représentatives de la température au niveau des fromages car peu de fromages en cave. C'est valable pour la température et l'hygrométrie. En général elles sont en l'air sur l'évaporateur, alors que l'on veut connaître la température au niveau au milieu des fromages.

Indépendamment des sondes de régulation des équipements de climatisation, l'ajout d'un thermomètre, voire aussi d'un psychromètre (voir annexe) additionnel près des fromages peut donner des indications intéressantes pour le fromager.

AERATION / VENTILATION/BRASSAGE DE L'AIR

Toutes les pièces n'ont pas besoin d'une aération, et lorsqu'il y en a une, elle ne doit pas nécessairement fonctionner de façon continue. Un séchoir ou un hâloir jusqu'à 20-30 m³ peut ne pas avoir d'aération, car les ouvertures de porte suffisent à renouveler l'air de la pièce.

Une sortie d'air haute peut-être prévue dans ces pièces et être équipée de telle façon qu'elle ne soit ouverte que si besoin (trappe ou "ventelle").

Ne pas utiliser de Ventilation Mécanique Contrôlée (VMC) centralisée pour les différentes pièces de la fromagerie car les besoins d'extraction d'air ne sont pas les mêmes selon les pièces. Mieux vaut utiliser un extracteur, incontournable par exemple en laverie (débit de 20 à 35 volumes par heure de renouvellement d'air).



Photo 22 : sonde de mesure pour la régulation des équipements de climatisation (hygromètre capacitif)
Source : C. Reynaud, Actalia Produits Laitiers

Déshumidificateur additionnel



Photo 23 : déshumidificateur externe dans un hâloir
Source : A. Chabanon, FRESYCA

Il s'agit d'un dispositif qui permet de palier à une insuffisance de séchage des fromages au séchoir (photo 23).

CHOIX DE LA SOLUTION TECHNIQUE : L'AVIS D'UN CLIMATICIEN (NICOLAS ENJALBERT, AIR QUALITY PROCESS)

Témoignage des recommandations aux producteurs par un professionnel de la climatisation des locaux d'affinage

Le système de climatisation mis en place peut être très basique.

Mais il faut comprendre 2 choses :

- Si on complexifie le système, ce n'est que dans le but de gagner en régularité et en qualité de production.
- Les éléments additifs (résistance, humidification, air neuf) doivent être correctement dimensionnés car ils peuvent générer plus de problèmes que ceux qu'ils sont supposés résoudre.

Résistance électrique :

- Elle peut servir à chauffer la salle en hiver,
- Elle peut être utilisée pour forcer un séchage (le froid vient compenser le chaud et on vient condenser sur la batterie froide).

Dans tous les cas, elle doit être dimensionnée sur la base d'un bilan thermique. L'installateur doit fournir un moyen de limiter son fonctionnement (thermostat, ou plusieurs étages de résistances).

Mal dimensionnée, elle peut entraîner une instabilité permanente dans la régulation, avec le froid qui court après le chaud et inversement (soit de grands coups de froids ou de chaud qui vont sécher et abîmer les produits).

Humidification :

Il faut bien comprendre qu'un fromage qui a perdu de l'eau ne la récupère jamais.

L'humidification ne sert pas à humidifier un produit, mais à compenser un séchage excessif d'une climatisation.

Cela ne fonctionne que si le besoin est « ponctuel » ou limité (par exemple durant l'été).

Si le besoin en humidification est permanent et important, c'est que le système de climatisation n'est pas adapté.

Quel que soit le système employé, il est nécessaire de prendre certaines précautions :

- L'eau doit être traitée (tartre, bactéries, moisissures...),
- Si de l'air comprimé est utilisé, il faut le filtrer (niveau bactéries),
- Si le système d'humidification est placé à l'aspiration du climatiseur, l'humidification ne franchira pas la batterie : le système est inopérant,
- En cas de batterie statique, le risque est d'avoir une zone humide avec sol et fromages mouillés, et le reste sec.

Si le système est mis au soufflage, il doit être de qualité suffisante pour éviter d'entraîner des grosses gouttelettes d'eau susceptibles de mouiller les fromages.

Variateur de fréquence :

Faire varier le débit du climatiseur peut être une bonne solution pour le fromager car cela lui apporte à moindre frais :

- Une part de flexibilité en termes de vitesse d'air et de brassage,
- La possibilité de brider éventuellement les effets d'une installation avec une puissance excessive.

Gaine textile :

Une gaine textile peut apporter une part d'homogénéité en bridant les vitesses en harmonisant un peu mieux les flux d'air dans la salle.

Cependant elle doit être judicieusement dimensionnée :

- 1) Poreuse, elle ne permettra pas de vitesses d'air = idéal pour un affinage très haute hygrométrie, mais peu compatible avec un séchoir ou une salle d'affinage avec des besoins de séchage,
- 2) Avec des perforations : les perforations doivent être de petite taille sous peine de ne servir à rien, voire d'amplifier les vitesses d'air en salle,
- 3) Le matériau doit résister aux hautes hygrométries, aux produits lessiviels et être lavable en machine à laver.

Le frigorifère (batterie froide) :

Sur la base d'un bilan thermique préalable correct, il faut prendre en compte les impératifs suivants :

1) Nettoyage :

- Les pas d'ailettes doivent être suffisamment importants pour permettre éventuellement un nettoyage des premiers rangs de la batterie (Attention de ne pas plier les ailettes) = dans l'idéal, 6 à 7 mm,
- Les solutions de nettoyages sont corrosives : utiliser de l'inox pour les tubes, des ailettes à minima avec un revêtement Epoxy ou équivalent (inox recommandé), une carrosserie inox ou PVC, ou à minima un revêtement Epoxy ou équivalent,
- Le cuivre est à proscrire,
- Le bac à condensat doit être amovible et isolé.

2) Le dimensionnement :

- Pour limiter les pertes d'eau, il convient pour un affinage haute hygrométrie d'avoir une température de fluide proche de la température de salle,
- Le frigorifère doit être dimensionné pour ne pas givrer : les phases de dégivrages sont des sources d'instabilité. De plus le givrage s'accélère en haute hygrométrie,
- Il faut privilégier des appareils à vitesse lente,
- Le taux de brassage doit se situer entre 15 et 40 dans l'idéal, avec une variation de vitesse.

Cas du séchoir :

Le fromager doit donner son objectif de séchage. L'installateur doit valider avec sa sélection que :

- L'appareil a la capacité de sécher (= condenser la quantité d'eau voulue aux conditions de température et d'hygrométrie données par le fromager, à charge pleine),
- Que cette simulation est valable en été comme en hiver,
- Doit rajouter le chaud éventuellement nécessaire (résistances) de manière à forcer le séchage (en tenant compte des besoins hiver également).

ANNEXES

Connaissances / définitions :

L'air humide

L'air humide

L'air ambiant contient une certaine quantité d'eau sous forme de vapeur d'eau. Cette capacité à fixer de l'eau est très utilisée pour l'ambiance des locaux d'affinage. Les climaticiens parlent d'air humide (= air sec + vapeur d'eau). La quantité de vapeur d'eau que peut fixer l'air varie selon la pression atmosphérique et la température. A la pression atmosphérique normale, plus la température de l'air est élevée, **plus il peut fixer une grande quantité d'eau à l'état de vapeur** (figure 14).

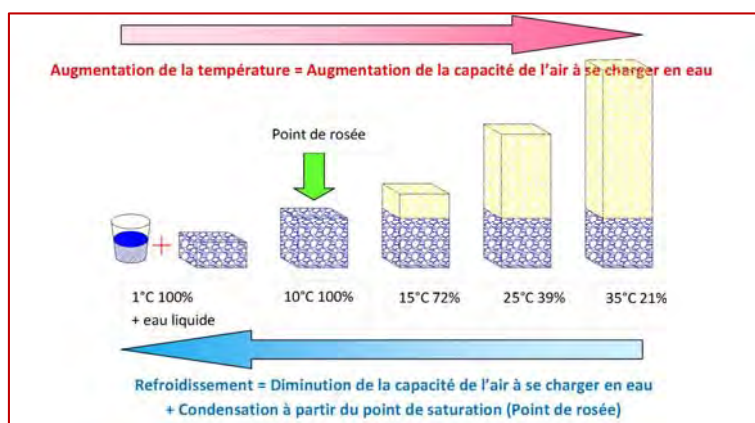


Figure 14 : quantité d'eau pouvant être fixée dans 1 kg d'air selon la température ambiante

Source : intervention de N. Enjalbert, Air Quality Process à la journée technique « Mieux gérer l'affinage des pâtes lactiques, des pâtes molles et des pâtes pressées non cuites », Profession Fromager, 17 juin 2014

L'hygrométrie :

L'hygrométrie ou humidité relative de l'air représente le rapport entre la quantité de vapeur d'eau réellement présente dans l'air (en g d'eau par kg d'air) et la quantité de vapeur d'eau maximale possible dans cet air à la même température (g d'eau/kg air). Température et hygrométrie sont ainsi intimement liées, et il faudra raisonner ensemble ces deux valeurs pour déterminer les paramètres d'ambiance dans une pièce d'affinage.

Par exemple pour le séchage, on peut faire varier la température, l'hygrométrie, la vitesse d'air et la durée de séjour des fromages dans le séchoir. On peut donc obtenir la même perte de poids avec différentes conditions d'ambiance. Pour que l'eau du fromage s'évapore, il faut que l'air puisse capter l'eau qui s'évapore ; il faut donc que l'air ne soit pas à 100% d'hygrométrie ; mais selon la température et l'hygrométrie, la quantité d'eau que l'on peut enlever à l'air ne sera pas la même.

L'outil combinant fiabilité, coût modéré et adéquation en fromagerie est un psychromètre manuel (photo 24). Le fonctionnement du psychromètre manuel est basé sur la mesure d'une différence entre température sèche et température humide de deux thermomètres placés dans un flux d'air. La température humide est lue sur un thermomètre dont le bulbe est entouré d'un linge maintenu mouillé en permanence. C'est la température d'équilibre d'une masse d'eau qui s'évapore dans l'air, dans le cas où la chaleur nécessaire à l'évaporation de l'eau n'est prélevée que sur l'air. Un abaque permet ensuite de déduire l'hygrométrie de ces deux mesures de température (des applications existent sur smartphone pour ce calcul, par exemple celle développée par Unilab). Pour plus de fiabilité, il faudrait que les thermomètres soient placés dans un flux d'air continu.



Photo 24 : psychromètre

La température de rosée ou point de rosée

C'est la température à laquelle l'air humide, refroidi sans condensation, arrive à saturation. C'est la température la plus basse à laquelle une masse d'air peut être soumise, à pression et humidité données, sans qu'il se produise une formation d'eau liquide par saturation (Wikipédia).

Ce phénomène s'observe pour la formation de la rosée du matin sur un sol froid, pour la condensation de la buée sur une vitre froide, lorsqu'un pont thermique est observé dans une pièce...

C'est ce phénomène qui retire de l'eau à l'air qui est refroidi sur une batterie froide, avec production de condensats qu'il faut évacuer.

Teneur de l'air en gaz

L'air sec au voisinage du sol est un mélange gazeux homogène (figure 15). Il est approximativement composé en fraction molaire ou en volume de :

- 78,08% de diazote ;
- 20,95% de dioxygène ;
- moins de 1% d'autres gaz dont :
 - le dioxyde de carbone 0,0399% ;
 - ...

(Wikipédia)

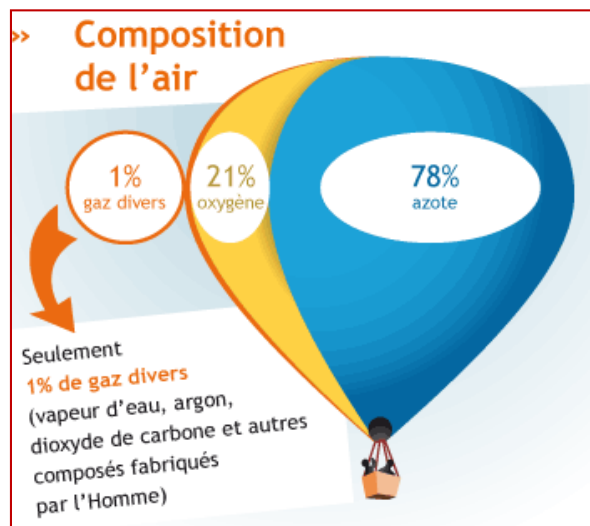


Figure 15 : composition en gaz de l'air ambiant
Source : www.atmopaca.org, site internet Air PACA

Références :

- Anglade P. et Centre Fromager de Carmejeane, 1998. La Fromagerie à la Ferme. Editions Centre Fromager de Carmejeane & Méthodes et Communication, 206 pages.
- GIE caprin de Franche-Comté, 1992. Fromagerie fermière : guide pratique pour la concevoir et l'aménager. 30 pages.
- Jean P., 2012. Intervention sur la climatisation des locaux. Séminaire interne LACTAFF, 14 février 2012.
- Le Mens P., 1985. Guide pratique pour la conception et l'aménagement des fromageries fermières. ITOVIC, 135 pages.
- Mège J., 1992. Fromages fermiers. Guide de construction des locaux. SICA CREOM, 129 pages
- Mietton B., 1998. Les fromages et leur environnement - climatisation, flux, emballage, in : Cours de fromagerie, octobre 1998. ENILBio Poligny, 19 pages.
- PEP caprins Rhône-Alpes, 2012. Connaissance des locaux d'affinage en fabrication fromagère fermière de type lactique. Publication en cours.
- PEP caprins Rhône-Alpes, 2007. Le séchage des fromages lactiques. Plaquette 8 pages.
- Raynaud S., Morge S., Pétrier M., Allut G., Barral J., Enjalbert V., Reynaud C., Michel A., Fatet E., Chabanon A., Teinturier M., Gaüzere Y., Picque D., Guillemain H., Doutart E., Alaoui-Sosse L., Mirade P.S., Jean P., Lopez C., Blanchin J.Y., Laithier C., Leroux V., Aumasson A., Montoya P., 2016. Caractérisation des conduites d'affinage à la ferme et étude des liens avec les paramètres d'ambiance des locaux et la qualité des fromages. Action 1 du projet QUALITE DES FROMAGES FERMIERS LACTIQUES : LOCAUX ET MAITRISE DE L'AFFINAGE (LACTAFF). Rapport de fin d'étude collection résultats de l'Institut de l'Elevage. *En cours de publication.*
- Vieille M., 2012. Le conditionnement de l'air des locaux en fabrication fermière. Cours ENILBIO POLIGNY.
- Vieille M., 2012. L'air humide. Cours ENILBIO POLIGNY.
- Consultation le 16 mai 2014 : www.didafrio.fr

Collection : L'Essentiel

Equipe de rédaction : Patrick JEAN (ENILIA ENSMIC), Antoine MICHEL, Catherine REYNAUD (ACTALIA Centre de Carmejeane), Agnès CHABANON, Mélissa TEINTURIER (FRESYCA), Nicolas ENJALBERT (Air Quality Process), Yves LEFRILEUX, Jacques CAPDEVILLE, Jean-Yves BLANCHIN (Institut de l'Elevage), Yves GAÜZERE (ENILBIO Poligny), Patrick ANGLADE (CFF Patrick Anglade), à partir du cours de Patrick JEAN et de l'expérience des techniciens de terrain.

Relecteurs : Guillemette ALLUT (CRAB-Centre Fromager de Bourgogne), Julie BARRAL (Languedoc Roussillon Elevage puis CA 34), Cécile LAITHIER, Coralys ROBERT (Institut de l'Elevage), Marie-Noëlle LECLERQ-PERLAT, Daniel PICQUE (INRA), Claire BÄRTSCHI

Responsables professionnels du programme : Frédéric BLANCHARD et Marc LESTY (FNEC), Eric CORNILLON (PEP Caprins Rhône-Alpes), Marc DONNEAUD (MRE PACA)

Coordination et rédaction : Marion PETRIER (CA 18 – CTFC), Sylvie MORGE (PEP Caprins Rhône-Alpes), Sabrina RAYNAUD (Institut de l'Elevage)

Mise en page : Isabelle GUIGUE (Institut de l'Elevage)

Avril 2016 - Réf. Idele : 00 16 403 009

Dépôt légal : 2^{ème} trimestre 2016 © Tous droits réservés à l'Institut de l'Élevage

