



FROMAGES FERMERS LACTIQUES

## Conception extérieure des locaux d'affinage

Cette fiche concerne la conception des locaux d'affinage pour les parois en contact avec l'extérieur. Seuls des rappels seront faits sur ce qui concerne l'implantation et l'orientation de la fromagerie car cela ne concerne pas uniquement les locaux d'affinage. En production lactique fermière, le plus souvent la salle de fabrication est utilisée pour le ressuyage, puis les locaux d'affinage proprement dits sont le séchoir et le hâloir. Nous traiterons dans cette fiche essentiellement du séchoir et du hâloir car la conception de la salle de fabrication est plutôt destinée aux étapes de caillage et d'égouttage (son dimensionnement est abordé dans la fiche conception intérieure).

La présente fiche se concentre sur les éléments de la construction qui sont essentiels pour le bon déroulement de l'affinage, à savoir surtout l'isolation thermique des parois en contact avec l'extérieur.

Une mauvaise conception des pièces d'affinage aura des conséquences néfastes durant toute la durée d'utilisation de la fromagerie : difficultés à maintenir la température et l'hygrométrie technologique, consommations excessives d'énergie...

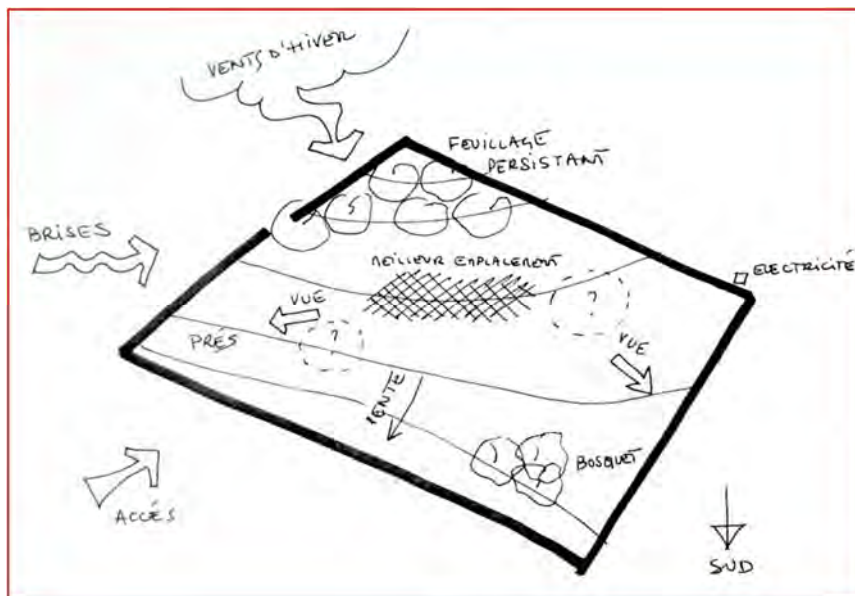
Cette fiche est complétée par d'autres fiches intitulées « Conception intérieure des locaux d'affinage » et « Les équipements de climatisation des locaux d'affinage ».

Pour une approche plus détaillée de la construction ou la rénovation d'un atelier de transformation, il est utile de se référer à l'ouvrage « la Fromagerie à la Ferme » (Anglade et Centre Fromager de Carmejeane, 2011).

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.

**La Réglementation Thermique 2012 (RT2012) : uniquement pour les bâtiments d'habitation ou une partie du bâtiment allouée à l'habitation.** De tous les secteurs économiques, celui du bâtiment est le plus gros consommateur d'énergie en France (42,5% de l'énergie totale finale). La facture annuelle de chauffage augmente avec la hausse du prix de l'énergie. Afin de réduire les dépenses énergétiques et les impacts environnementaux liés, le Grenelle de l'Environnement a mis en place un cadre pour réduire les consommations énergétiques des bâtiments. Grâce à la RT 2012, il est prévu de diviser par 3 la consommation énergétique des constructions neuves. La RT 2012 concerne l'habitat construit à partir de 2015, elle ne s'applique pas aux fromageries. Dans le cadre de la loi Grenelle 1, la RT 2012 a pour objectif de limiter la consommation des bâtiments neufs en énergie primaire (seuil de 50 kWh en énergie primaire par m<sup>2</sup> et par an).

## Implantation et orientation de la fromagerie (cas d'une construction neuve)

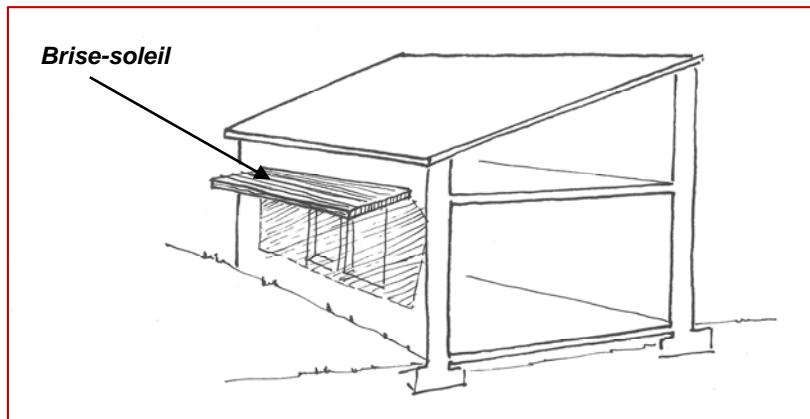


**Figure 1** : implantation de la fromagerie en fonction des éléments climatiques et du paysage  
Schéma JY. Blanchin pour fiche PEP caprins Rhône-Alpes

Pour une fromagerie, il est important de réfléchir à son orientation par rapport à la topographie du terrain, à l'accès, aux réseaux (eau, électricité, assainissement) et aux bâtiments existants (figure 1). Quelques questions auxquelles il faut répondre avant de concevoir l'emplacement de la fromagerie (fiche PEP économies d'eau et d'énergie) :

- par rapport au vent dominant : placer la fromagerie, puis le bâtiment d'élevage, la fumière et le silo ;
- au nord ou nord-est : les pièces d'affinage ou climatisées, cela crée une zone tampon par rapport aux pièces chauffées ;
- si vente à la ferme : accueil des clients, éviter d'être sous le vent de la fumière ou du silo ; par ailleurs, faciliter le stationnement et l'accès des clients vers la salle de vente ;
- ensoleillement : connaître les durées d'ensoleillement et l'angle du soleil par rapport au sol permet de mieux valoriser l'éclairage naturel, de se protéger d'éventuels éblouissements et surchauffe des locaux. Pour les fromages en salle de fabrication, éviter le soleil couchant.

En fonction du climat, une orientation sud, sud-est est à privilégier. Il est assez facile de se protéger d'une surchauffe due au soleil par un débord de toit ou un brise-soleil qui créera de l'ombre sur le mur de façade et protégera les ouvertures (figure 2).



**Figure 2** : débord de toit ou brise-soleil – Schéma JY. Blanchin, Institut de l'Élevage

S'il est envisagé d'utiliser tout ou partie d'un bâtiment existant, il est important d'en faire un diagnostic technique (solidité, réseaux, démolitions...). Dans tous les cas, la fromagerie doit être conçue de plain-pied.

Dans de rares cas on concevra une fromagerie à deux niveaux, ce qui n'est pas conseillé (talus, cave enterrée...). Penser d'emblée au monte-charge pour les fromages sur grilles ou caisses ; ne pas risquer de tomber dans les escaliers avec grilles de fromages et bottes glissantes !

(exemple : cave pour fromages à Pâte Pressée Non Cuite (PPNC) sans ouverture au bout du bâtiment, séchoir naturel au 2<sup>ème</sup>, hâloir lactique en sous-sol car bâtiment ancien et côte à côte avec la chèvrerie donc pas extensible)

## **UNE FROMAGERIE C'EST POUR TOUTE LA VIE !!!**

**Il est très important de visiter plusieurs fromageries avant de se lancer concrètement dans son projet !**

Quelques repères de coûts d'aménagement d'atelier fromager fermier :

Pour l'aménagement d'un atelier de transformation d'une surface de l'ordre de 150 à 200 m<sup>2</sup>, et permettant la transformation quotidienne de 100 à 300 litres de lait, le coût d'adaptation du bâtiment peut être évalué entre 60 à 70 000 € et celui des équipements de 25 à 30 000 €.

Le coût inclut les travaux constructifs pour l'adaptation du bâti existant et les équipements nécessaires à son fonctionnement. Les coûts sont basés sur des travaux sans auto-construction et pour des équipements neufs (valeur 2014).

Source : *Référentiel des coûts raisonnés de construction et de rénovation des bâtiments d'élevage de ruminants* – édition 2015, Idele/MAAF

# Isolation

## Pourquoi isoler ?

Dans les locaux d'affinage, le fromage respire (figure 3). 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 ( $\text{NH}_3$ , 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, renouvellement de l'air et teneur en gaz de l'air.

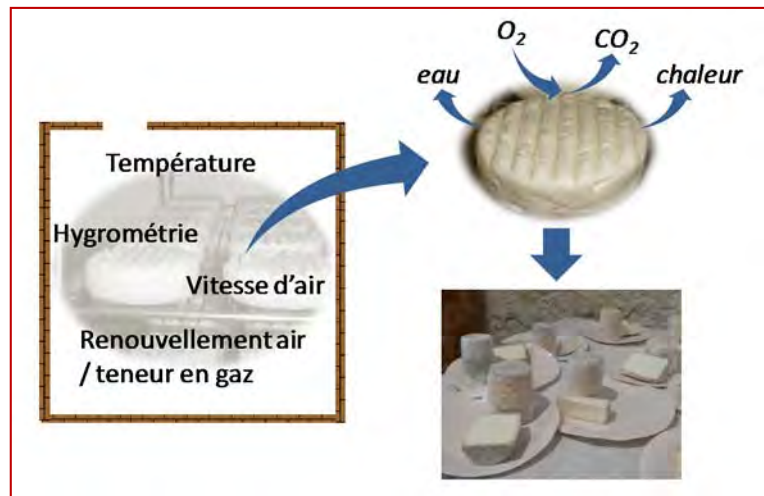


Figure 3 : le fromage respire

Une bonne isolation permet de mieux maintenir la température et l'hygrométrie souhaitées sans avoir à trop refroidir ou chauffer, c'est-à-dire en limitant les consommations d'énergie et les dégagements indirects de gaz à effet de serre des équipements de climatisation, des radiateurs, ... De plus, si le groupe froid se déclenche trop souvent pour maintenir une température plus basse qu'à l'extérieur, cela va avoir tendance à sécher les fromages. La barrière de l'isolation permet de maintenir plus facilement la forte hygrométrie généralement souhaitée au hâloir. Elle empêche les migrations de gaz et participe à la propreté de l'air. L'isolation limite la condensation sur les parois, en évitant ainsi la dégradation des murs, des huisseries et du matériel et le dépôt de flores indésirables sur ces derniers (*Mucor* notamment). En haute hygrométrie, la température de surface de la paroi doit être la plus proche possible de la température de salle car l'air au contact va se refroidir, avec :

- un risque éventuel de condensation,
- une modification de l'hygrométrie au voisinage de cette paroi (mur et plafond).

L'influence de la température de paroi est également valable en été, la condensation en moins. Sur les grandes caves mal isolées, il n'est pas rare de trouver une hétérogénéité dans l'hygrométrie, entre le centre de la salle et les zones proches des parois.

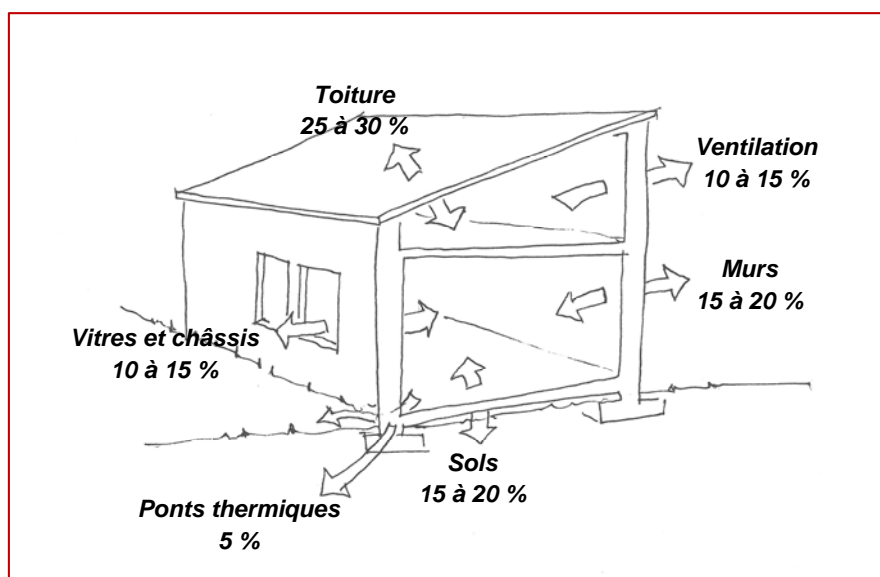
De plus il existe un risque de dysfonctionnement des équipements de climatisation dans des locaux mal isolés : moins l'isolation est efficace, et plus le système de climatisation doit compenser. Ce qui signifie que la régulation du système va dépendre en grande partie des déperditions. En cas d'amplitude thermique importante, le système de climatisation va fonctionner non pas pour le produit, mais pour « l'enveloppe » du produit :

- beaucoup de froid en été, avec séchage potentiel important,
- en contrepartie, besoin de chaud en hiver, avec un risque de manque de séchage,
- en mi saison, risque de grands coups de froid et/ou chaud.

## Quelle(s) partie(s) isoler ?

Dans une construction neuve, il est fortement conseillé d'isoler plafonds, murs et sols. En rénovation, le schéma (figure 4) montre que les pertes thermiques les plus importantes se font par le toit : c'est la première zone à isoler si nécessaire, suivie ensuite des murs et du sol (plus difficile à mettre en œuvre en rénovation). Les huisseries (portes et fenêtres) jouent aussi un rôle important dans la performance énergétique du bâtiment. Elles doivent être isolées et correctement posées, notamment si elles donnent sur l'extérieur ou entre deux pièces ayant des conditions d'ambiance très différentes. Dans les locaux de séchage et d'affinage, le choix retenu est de ne réaliser aucune fenêtre (sauf cas particulier d'une

baie vitrée installée pour les visites, dans ces cas-là la partie vitrée ne doit pas donner sur l'extérieur, mais sur une salle déjà tempérée, par exemple un couloir, la salle de vente...).



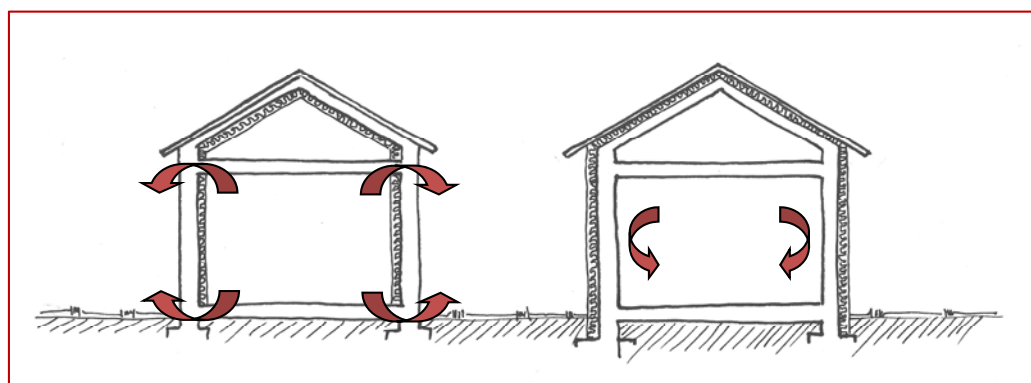
**Figure 4** : échange en énergie en fonction des parois d'une construction  
*Schéma JY. Blanchin, Institut de l'Élevage*

Les caves enterrées présentent l'avantage de ne pas nécessiter d'isolation si elles sont surmontées par une grande épaisseur de terre ou de pierres (plus d'un mètre) et/ou si une construction elle-même isolée se trouve au-dessus. Elles présentent l'inconvénient, dans le cas où elles sont en sous-sol, par rapport aux conditions de travail de devoir régulièrement emprunter des escaliers. Le renouvellement d'air est également parfois insuffisant.

## Comment isoler ?

### Isolation intérieure ou extérieure ?

Que ce soit pour une construction neuve ou en rénovation, la question du positionnement de l'isolant des parois extérieures est importante. Il peut être appliqué sur les murs de chaque pièce à l'intérieur du bâtiment (isolation intérieure), ou comme un manteau sur le bâtiment, sur les murs extérieurs et sous le toit (isolation extérieure) (figure 5). Chacune de ces solutions présente des avantages et des inconvénients (tableau 1).



**Figure 5** : traitement des ponts thermiques par la réalisation d'une isolation extérieure  
*Schéma JY. Blanchin, Institut de l'Élevage*



**Tableau 1 : avantages et inconvénients de l'isolation intérieure ou extérieure d'une fromagerie**

	<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
Isolation intérieure	<p>Plus facile à réaliser en auto-construction, une pièce après l'autre quelle que soit la saison (mauvais temps ou grosses chaleurs).</p> <p>Permet de conserver l'architecture extérieure et l'esthétique des façades (patrimoine, contrainte architecturale...).</p>	<p>Dans l'existant, enlève de la surface aux pièces.</p> <p>Plus difficile d'éviter les ponts thermiques (trappes et éléments traversant les parois, liaisons façades et planchers, menuiseries extérieures, équipements électriques).</p> <p>Le câblage électrique ne doit pas être encastré dans l'isolant (assurer la continuité de l'isolation).</p>
Isolation extérieure avec une protection (crépis, bardage bois ou autre)	<p>Permet de conserver ou de recréer une unité architecturale.</p> <p>Limite les ponts thermiques.</p> <p>Permet de résoudre les problèmes d'étanchéité de la façade.</p> <p>Les travaux ne perturbent pas le travail en fromagerie lors d'une rénovation.</p> <p>Protège les murs extérieurs.</p> <p>Favorise l'inertie thermique des matériaux « intérieurs » sol, mur, plancher.</p>	<p>Plus cher.</p> <p>Plus difficile à réaliser en auto-construction.</p> <p>Attention à la continuité de l'isolant avec les fenêtres et les portes.</p> <p>Les travaux ne peuvent pas être réalisés en cas de grand froid ou de grosses chaleurs.</p>

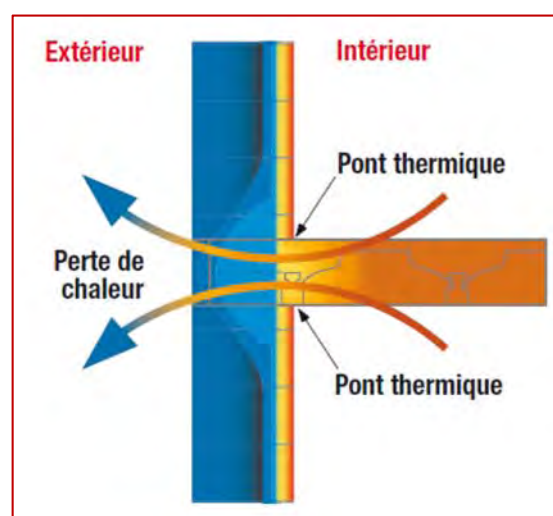
## Quelques grandes règles

Une isolation doit toujours être associée à une bonne ventilation car elle rend le bâtiment étanche aux courants d'air. Un isolant ne doit pas être posé directement sur une paroi présentant des signes d'humidité. L'isolant doit être protégé des oiseaux, rongeurs... Il est important de raisonner en parallèle de l'isolation, l'ensemble des réseaux électriques, canalisations. En effet, il faut éviter des ruptures dans les matériaux isolants lors de l'encastrement des réseaux (eau et électricité).

### Pose de l'isolant : éviter les ponts thermiques

De façon idéale, l'enveloppe isolante d'une fromagerie doit être continue et constante. Dans la pratique, il arrive que cette enveloppe isolante soit interrompue. Cet endroit de rupture est nommé pont thermique. Le pont thermique peut être lié au système constructif ou être dû à un problème de conception ou de mise en œuvre.

Les ponts thermiques se situent aux jonctions entre murs et toiture, ou murs et plancher (figure 6). Pour les éviter, il faut veiller à ce que l'isolant des murs touche celui de la toiture et du plancher pour ne laisser aucun matériau conducteur entre l'intérieur et l'extérieur de la construction.



**Figure 6** : principe du pont thermique sur l'exemple d'une jonction plancher-mur dans un bâtiment d'habitation – Source : brochure construction moderne CIM'béton n°125

## Eviter les ponts thermiques

La question des ponts thermiques est plus simple à traiter pour une construction neuve, où l'on va pouvoir assurer au maximum la continuité de la couche isolante, que dans une rénovation, où quelques ponts thermiques seront inévitables même si l'objectif sera de les minimiser.

### Quelles conséquences dans la fromagerie ?

L'existence de ponts thermiques, souvent à la jonction murs-plafond ou murs-sol et autour des portes et des fenêtres va provoquer des fuites de chaud ou de froid. La différence de température entre l'air de la pièce et la paroi à l'endroit du pont thermique étant importante, cela va entraîner une condensation, qui dégrade le mur ou le matériel, qui est un milieu de culture éventuel pour une flore indésirable et qui peut former des gouttes qui vont tomber sur les fromages (photos 1 à 4).

Ces traces de condensation sont le principal symptôme de la présence d'un pont thermique. De nouvelles méthodes sont à présent disponibles pour les détecter, comme les caméras thermiques, mais elles ne sont pas encore utilisées en routine.

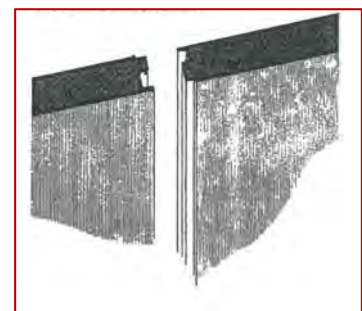


**Photos 1, 2, 3 et 4** : condensation sur un plafond ou des encadrements de portes ou baies vitrées en fromagerie : formation de gouttelettes et rouille

Source : G. Allut, CFB et S. Morge, PEP caprins Rhône-Alpes

### Pose des panneaux sandwich : comment éviter les ponts thermiques

Pour une construction en panneaux sandwichs, la continuité de l'isolation est assurée entre panneaux par un emboîtement (figure 7).



**Figure 7** : Exemple d'emboîtement de panneaux sandwichs

Pour les liaisons mur/plafond et mur/sol, il faut veiller à la continuité du matériau isolant. Par ailleurs, certains fabricants proposent des solutions de crochets entre les panneaux qui permettent un éventuel démontage.

### Choix de l'isolant et de son épaisseur

Différents critères sont à prendre en compte lors du choix d'un isolant et de son épaisseur :

- Paroi à isoler (plafond, mur, sol) ;
- Type de bâtiment à isoler ;
- Isolation intérieure ou extérieure ;
- Performance d'isolation thermique, notamment conductivité thermique (appelée lambda ( $\lambda$ ) et exprimé en Watts par mètre par Kelvin. Plus ce lambda est faible et plus grande sont les capacités isolantes du matériau), qui va permettre de déterminer l'épaisseur d'isolant qui sera nécessaire pour limiter au maximum les échanges thermiques (voir exemples de calculs dans l'encadré) ;
- Facilité de mise en œuvre et disponibilité commerciale ;
- Résistance au feu, à l'humidité, aux rongeurs..., (vérifier par rapport aux assurances) ;
- Longévité du matériau ;
- Facilité de mise en œuvre et coût ;
- Performance écologique du matériau éventuellement (voir fiche PEP et RFF) ;
- Eventuellement performance d'isolation acoustique.

***Du point de vue de la technologie fromagère, l'important est d'isoler au mieux, peu importe le matériau choisi. Il s'agit d'un choix personnel, économique, et environnemental...***

#### Pour aller plus loin, un exemple

##### Calcul de l'épaisseur d'isolant nécessaire pour un plafond et des murs extérieurs

Aujourd'hui rien n'oblige un fromager fermier à respecter la réglementation thermique en vigueur pour l'habitat et le tertiaire (RT 2012). Si l'on suivait les recommandations de la RT 2012, l'objectif est d'obtenir une résistance thermique R de 8 m<sup>2</sup>.K/W en toiture et combles, ce chiffre de 8 pouvant être pondéré selon la région et l'altitude de la ferme. Pour les murs, le R proposé est de 4 (pondéré selon région et altitude). Ces valeurs sont contraignantes car elles conduisent à des épaisseurs importantes d'isolant. Une méthode basée sur des références moins exigeantes que la RT 2012 est présentée ci-dessous (en négligeant les phénomènes de convection sur les parois). C'est au fromager de choisir avec son entourage technique s'il préfère se placer dans le cadre des recommandations de la RT2012 (plus cher à la construction mais moins de dépenses d'énergie en fonctionnement), ou dans le cadre de rapport qualité/prix proposé ici (échanges (et donc coût énergétique en fonctionnement) limités pour un coût de construction raisonnable).

##### Exemple de calcul dans le cadre « rapport qualité/prix » :

L'objectif est d'avoir un flux surfacique inférieur à 7 W/m<sup>2</sup> ( $\varphi$ ). Prenons l'exemple d'une toiture dont on veut isoler les combles perdus en laine de roche présentant un  $\lambda = 0,039$  W/m.K. On souhaite une température de 12°C dans le hâloir sous cette toiture, et la température en hiver descend au minimum à -5°C et en été au maximum à 35°C (soit 45°C en toiture) là où est située la fromagerie : l'écart de température maximal (écarT) entre la température souhaitée et la température extérieure est de 33°C pour le plafond et de 23°C sur les murs.

$$e = \lambda \times \text{écarT} / \varphi$$

où :

e = épaisseur de l'isolant (en m)

$\lambda$  = lambda, conductivité thermique de l'isolant (en Watts par mètre par Kelvin (W/m.K))

$\varphi$  = flux surfacique en W/m<sup>2</sup>

EcarT= écart de température maximum entre l'intérieur et l'extérieur



## Pour mémoire :

$$U = 1 / R$$

où :

U = coefficient de transmission thermique (en Watts par mètre carré par Kelvin ; W/m<sup>2</sup>.K)

R = résistance thermique (en m<sup>2</sup>.K/W)

Dans notre exemple : pour les murs :  $e = 0.039 \times (23/7) = 0.129 \text{ m}$

pour le plafond :  $e = 0.039 \times (33/7) = 0.184 \text{ m}$

Il faudra 130 mm d'épaisseur d'isolant pour les murs et 190 mm pour le plafond. Utiliser une couche d'isolant ou deux couches croisées en disposant le pare-vapeur contre le dessus du plafond (côté chaud).

Les calculs selon la RT 2012 (ne s'impose pas en fromagerie) et selon la méthode décrite ci-dessus, pour différents types de parois (murs extérieurs ou plafonds - paroi sandwich ou isolation laine de roche) sont présentés dans les tableaux suivants :

EcarT température intérieure/extérieure murs : 23°C

EcarT température intérieure/extérieure plafond : 33°C

### RT 2012 (très peu d'échanges avec le milieu extérieur)

Matériaux	Type de paroi et objectif de résistance thermique	Epaisseur e (mm)
Panneau sandwich (lambda 0,028)	Murs (résistance thermique de 4)	112
	Plafond (résistance thermique de 8)	224
Laine de roche (lambda 0,039)	Murs (résistance thermique de 4)	156
	Plafond (résistance thermique de 8)	312

### Notre compromis « rapport qualité/prix » (échanges limités pour un coût raisonnable)

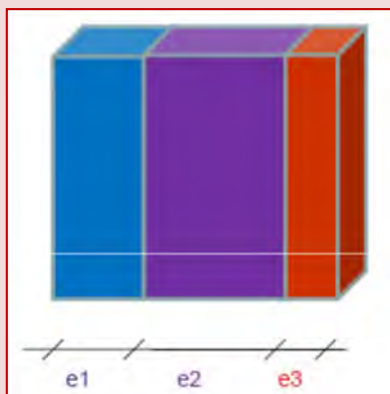
Matériaux	Type de paroi et objectif de résistance thermique	Epaisseur e (mm)
Panneau sandwich (lambda 0,028)	Murs	90
	Plafond	132
Laine de roche (lambda 0,039)	Murs	156
	Plafond	184

### La conductivité thermique ou lambda ( $\lambda$ )

C'est la quantité de chaleur par conduction W/(m.K) traversant 1 m<sup>2</sup> de paroi pour 1 mètre d'épaisseur de matériau, avec une différence de température de 1 degré entre les 2 faces de ce matériau et pendant une unité de temps donnée. Plus la valeur  $\lambda$  est petite, plus le matériau est isolant. Les isolants thermiques ont des  $\lambda$  inférieurs à 0,060 W/(m.K). La figure ci-contre illustre l'épaisseur de différents matériaux pour arriver à une résistance thermique similaire, selon leur conductivité thermique propre.



Site internet [www.toutsurlisolation.com](http://www.toutsurlisolation.com)



Pour une paroi composée de plusieurs matériaux, R se calcule à partir des lambda ( $\lambda$ ) et des épaisseurs (e) des différents matériaux (1, 2, 3) :

$$R_{\text{paroi}} = e1 / \lambda_1 + e2 / \lambda_2 + e3 / \lambda_3$$

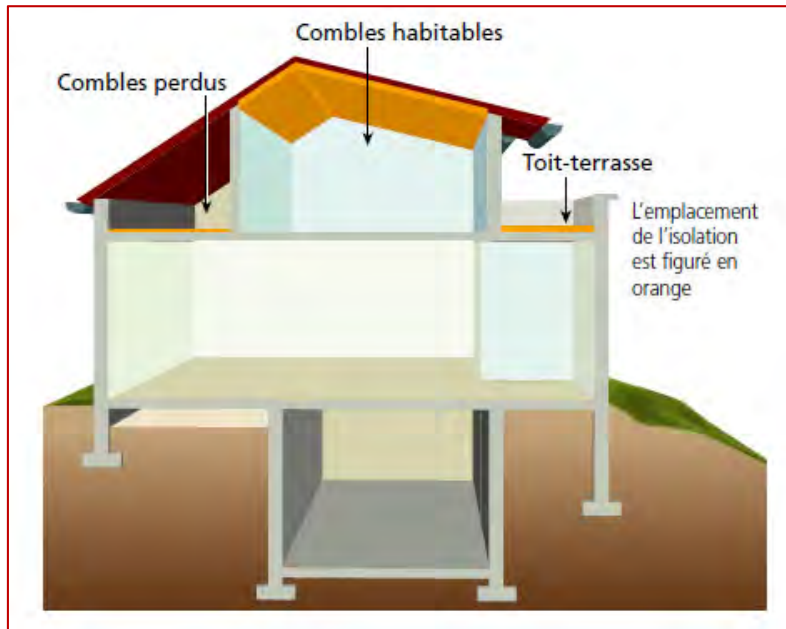
Exemple : parpaing + contre-cloison en briques puis carrelage : quel épaisseur de laine de roche mettre au milieu ? (en reprenant écart de température de l'exemple précédent)

Voir tableau de calcul en annexes ; dans cet exemple il faudrait environ 110 cm de laine de roche pour isoler correctement cette paroi

## Isolation des différentes parois

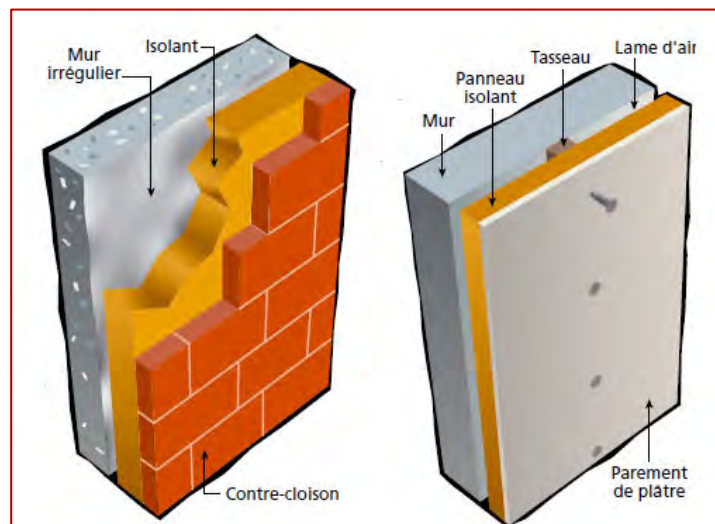
### Isolation des combles et des toitures

L'isolant peut se poser sous le toit si l'on veut aménager les combles ou ce qui est le plus courant pour une fromagerie, sur le sol des combles perdus voire un toit-terrasse (figure 8). L'isolation peut aussi être posée au plafond avec un faux plafond. Si deux couches d'isolant sont nécessaires, elles seront posées en les croisant. Un seul pare-vapeur est nécessaire, il se situe côté plafond (pas de pare-vapeur entre les deux couches d'isolant et au-dessus de ces dernières).



**Figure 8** : différents types d'isolations des combles et des toitures – Source : brochure ADEME

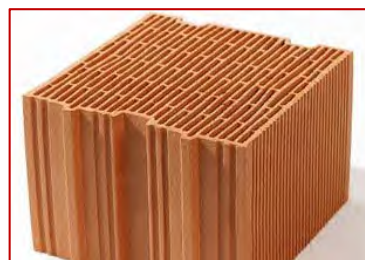
### Isolation des murs



**Figure 9** : Isolation par l'intérieur des murs extérieurs : cloison de doublage ou complexe isolant collé  
Source : brochure ADEME

En construction neuve, le choix peut aussi être fait d'utiliser des matériaux de construction déjà isolants par eux-mêmes : béton cellulaire, briques mono-mur... (matériaux porteurs et isolants). Ces matériaux

présentent aussi l'avantage d'avoir des propriétés d'échanges hydriques intéressants pour les caves d'affinage : simplement recouverts d'un enduit à la chaux, ils sont capables de capter et de restituer de l'eau, participant ainsi à maintenir constant le taux d'hygrométrie de la pièce. Cependant en technologie lactique ces produits sont peu employés bruts car les fromages lactiques sont particulièrement sensibles aux contaminants (*Mucor...*) et ces revêtements sont plus difficiles d'entretien (repeindre régulièrement...).



**Photo 5** : brique mono-mur  
Source : site internet [www.deco.fr](http://www.deco.fr)

Paroi strictement étanche	Paroi « respirante »
Imperméable à l'air	Permet des échanges gazeux
Pas de régulation hygrométrique	Régule l'humidité ambiante, l'absorbe et la restitue
Nécessite une ventilation mécanique contrôlée / ouverture des portes suffit pour un petit local	Ventilation naturelle à travers les parois, à compléter une ventilation naturelle ou mécanique

Une solution de construction qui présente l'avantage d'être rapide : panneaux modulaires dits « sandwich », par exemple montés en épaisseur 100 à 130 mm pour le plafond et 80 à 100 mm pour les murs (voir encadré sur le calcul de l'épaisseur d'isolant) dont les avantages et inconvénients sont présentés dans le tableau 2 suivant (voir photos 6 et 7) :

**Tableau 2** : avantages, inconvénients et précautions à prendre pour une construction en panneaux « sandwich »

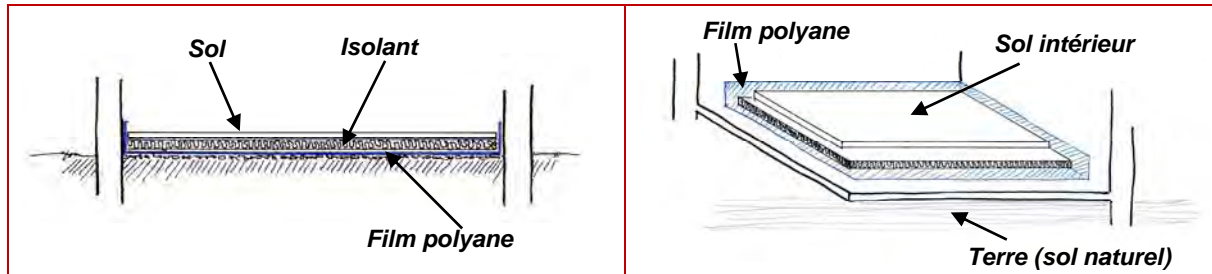
Avantages	Inconvénients	Précautions
Rapidité de la construction. Possibilité d'auto-construction. Démontage et agrandissement possible. Entretien facile. S'installent dans un bâtiment existant ou sous un hangar.	Coût selon contexte. Panneaux sandwich : m <sup>2</sup> environ 50 à 160 € HT posé (2015). Durée de vie ? Résistance à la corrosion. Craint les chocs (suivant la finition des faces : acier laqué, polymère, inox ou polyester). Joints à refaire régulièrement dans les pièces humides.	Attention lors de la pose aux angles (murs, plafond, sol), aux raccords entre les panneaux... pour préserver de bonnes capacités d'isolation et éviter les ponts thermiques (voir la partie « éviter les ponts thermiques » à la fin de la présente fiche. De plus en cas de pose sur du carrelage au sol, il faut protéger le bas du panneau de l'humidité au sol (lors du lavage par exemple). Eviter les panneaux non lisses pour les murs.



**Photos 6 et 7** : les deux façades visibles de la fromagerie de la station caprine expérimentale du Pradel EPLEFPA en Ardèche : panneaux sandwich sous un hangar bois (date de réalisation : 1989). Les parois donnant sur l'extérieur ont une épaisseur de 80 mm

## Isolation du sol (planchers bas)

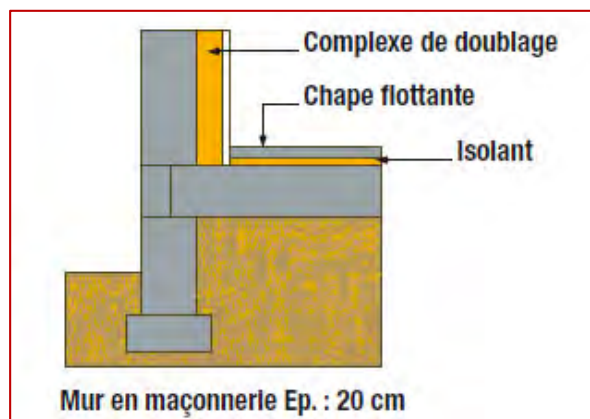
Isolation du sol : attention aux remontées d'eau. S'il existe des remontées d'eau par capillarité, il faudra creuser et installer une couche drainante associée à un film plastique avant d'isoler (figures 10 et 10 bis). Les isolants utilisés pour le sol doivent être qualifiés pour cet usage (résistance à la compression...).



**Figures 10 et 10 bis** : pose de films de polyane pour éviter les remontées d'eau par capillarité avant d'isoler un plancher bas. D'après intervention P. Anglade JTK 2010  
*Schéma JY. Blanchin, Institut de l'Élevage*

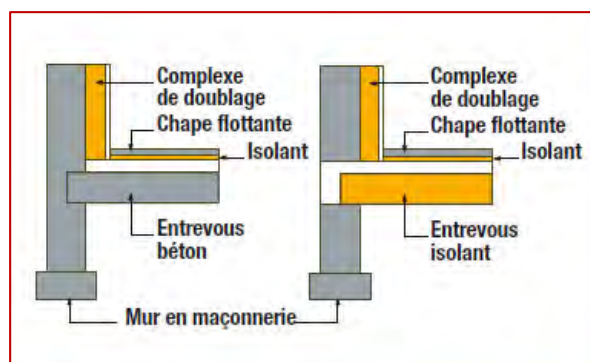
Deux cas de figure pour l'isolation des sols (figures 11 et 12) :

**Sol sur terre-plein** : en construction neuve, des plaques isolantes peuvent être posées sur un film d'étanchéité avant le coulage de la dalle béton. En rénovation, l'isolant devra être placé directement sur la dalle existante avant de la recouvrir d'une chape flottante (qui entraînera une sur-élévation du plancher).



**Figure 11** : isolation pour plancher bas sur terre-plein – Source : brochure construction moderne CIM'béton n°125

**Sol sur vide sanitaire ou local non chauffé** : si l'espace est accessible, l'isolant peut se poser sous-face du plancher. S'il ne l'est pas, l'isolation se fait encore par-dessus.



**Figure 12** : système d'isolation pour plancher bas sur vide sanitaire  
Source : brochure construction moderne n°125

# Sources

- ADEME, 2008. Améliorez le confort de votre maison, l'isolation thermique. Brochure 32 pages.
- Anglade P., 2010. Locaux de transformation. Atelier aux journées des techniciens produits laitiers fermiers organisés par l'Institut de l'Élevage.
- Anglade P. et Centre Fromager de Carmejjane, 2011. La Fromagerie à la Ferme. Editions Centre Fromager de Carmejjane & Méthodes et Communication, 206 pages.
- APCA, 2012. Bordereau des prix unitaires en bâtiments agricoles. 110 pages.
- Blanchin J.Y., Michel A., Mundler L., 2012. Les matériaux de construction de fromagerie. 7<sup>ème</sup> Rencontres du Fromage Fermier en région PACA – 11 octobre 2012. 4 pages.
- Centre d'Information sur le ciment et ses applications, 2007. Les réponses constructives du béton à la RT2005. Brochure construction moderne n°125, p.15-22.
- GIE caprin de Franche-Comté, 1992. Fromagerie fermière : guide pratique pour la concevoir et l'aménager. 30 pages.
- Le Mens P., 1985. Guide pratique pour la conception et l'aménagement des fromageries fermières. ITOVIC, 135 pages.
- Leroy Merlin, 2013. Le grand guide 2013 rénovation/construction. 578 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.
- Mille, 2015. Référentiel des coûts raisonnés de construction et de rénovation des bâtiments d'élevage de ruminants. Edition 2015, Idele/MAAF, 233 pages. [diffusion restreinte au Ministère et aux conseillers bâtiment]
- Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement, 2011. Réglementation Thermique 2012 : RT 2012, un saut énergétique pour les bâtiments neufs. 8 pages. Site internet : [rt-batiment.fr](http://rt-batiment.fr)
- PEP caprins Rhône-Alpes, 2012. Connaissance des locaux d'affinage en fabrication fromagère fermière de type lactique. Rapport de fin d'étude. 50 pages.
- PEP caprins Rhône-Alpes, 2011. Concevoir et aménager une fromagerie économe en énergie et en eau. Fiche « en détails... ». 4 pages.
- PEP caprins Rhône-Alpes, 2010. Quelques repères sur l'éco-construction en élevage caprin. Fiche « en détails... ». 6 pages.
- PEP caprins Rhône-Alpes, 2007. Le séchage des fromages lactiques. Plaquette 8 pages.
- Système D, 2014. Dossier isolation par l'extérieur, revue Système D, janvier 2014, p. 26-48.




# Annexe

Les valeurs concernant la conductivité thermique peuvent être légèrement moins bonnes que celles données par les fabricants car il s'agit de valeurs par défaut. Pour un même matériau, les caractéristiques peuvent être différentes d'un fabricant à l'autre. Il est donc judicieux de se référer au document technique du fabricant pour avoir une valeur plus précise.

	Masse volumique $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Conductivité thermique $\lambda$ (W/mK)
<b>Matériaux d'isolation</b>		
Polystyrène expansé	30 à 300	0,038
	15 à 30	0,042
	7 à 15	0,050
Polystyrène extrudé	20 à 30	0,028
Polyuréthane (panneaux)	30	0,030
Polyuréthane (mousse)	27 à 60	0,032
Laine de verre	40 à 150	0,039
	15 à 40	0,041
	7 à 15	0,050
Laine de roche	40 à 200	0,045
	25 à 40	0,044
	15 à 25	0,050
Verre cellulaire	140 à 180	0,057
	110 à 140	0,051
Vermiculite	75 à 130	0,05 à 0,08
Panneaux de bois mou	40 à 55	0,040
Panneaux de bois (mi-dur)	160	0,050
Laine de cellulose	20 à 30	0,043
Liège expansé	100 à 150	0,049
Panneaux de chanvre	20 à 30	0,039
Panneaux en lin semi-rigide	30 à 35	0,037
Laine de coton en rouleaux	20	0,040
Laine de mouton	20 à 50	0,050
	10 à 20	0,055
<b>Matériaux de construction à isolation répartie</b>		
Béton cellulaire	775 à 825	0,29
Béton cellulaire	575 à 625	0,21
Béton cellulaire	375 à 425	0,14
Béton de chanvre	400 à 450	0,11
Brique alvéolée (monomur)	700 à 750	0,12
Terre-paille	300 à 400	0,11
<b>Autres matériaux</b>		
Parpaing de ciment	850 à 950	0,9
Brique de terre cuite pleine	2 300 à 2 400	1,04
	1 600 à 1 700	0,64
Pisé	1 770 à 2 000	1,1

## Tableau de calculs d'épaisseur d'isolant pour un plafond de fromagerie

ISOLATION DU PLAFOND D'UN HALOIR A FROMAGES						
Données				Calculs		
Composition de la paroi	Conductivité $\lambda$ (W/mK)	Epaisseur $e$ (mm)	Température $\theta$ (°C)	Résistance thermique $R$ (m <sup>2</sup> K/W)	Coefficient de transmission thermique $U$ (W/m <sup>2</sup> .K)	Flux thermique surfacique $\varphi$ (W/m <sup>2</sup> )
Air intérieur			12			
Polyuréthane (Paroi sandwich)	0,028	60	PAROI  $\Delta\theta = 23 \text{ °C}$	2,14	0,47	10,73
	0,028	80		2,86	0,35	8,05
	0,028	90		3,21	0,31	7,16
Murs RT2012 (BBC)	0,028	112		4,00	0,25	5,75
Plafond RT2012 (BBC)	0,028	224		8,00	0,13	2,88
Laine de roche	0,039	40		1,03	0,98	22,43
	0,039	100	2,56	0,39	8,97	
	0,039	130	3,33	0,30	6,90	
Murs RT2012 (BBC)	0,039	156	4,00	0,25	5,75	
Plafond RT2012 (BBC)	0,039	312	8,00	0,13	2,88	
Air extérieur			35			

 Flèche verte : option recommandée dans l'exemple

## Tableau de calcul d'épaisseur d'isolant (laine de roche) pour une paroi composée de plusieurs matériaux

ISOLATION D'UN HALOIR A FROMAGES ( e isolant, R, U en fonction de Flux thermique surfacique )								
Données			Calculs					
Composition de la paroi composée	Conductivité $\lambda$ (W/mK)	Epaisseur e (mm)	Ecart de Température $\theta$ (°C)	Résistance thermique des matériaux R (m²K/W)	Proportion par rapport à la résistance totale de la paroi (%)	Résistance thermique totale de la paroi R paroi (m²K/W)	Coefficient de transmission thermique de la paroi U (W/m².K)	Flux thermique surfacique $\phi$ (W/m²)
Air intérieur 12 °C			$\Delta\theta = 23$ °C			3,3	0,3	7 (fixe)
Carrelage en grès	1,20	10		0,008	0 %			
Enduit ciment	0,80	13		0,02	0 %			
Briques creuses	sans	50		0,10	3 %			
Laine de roche ( comme isolant )	0,039	112		2,88	88 %			
Parpaing de 25 cm	sans	250		0,26	8 %			
Crépi de 2,5 cm	0,8	25		0,03	1 %			
Air extérieur 35 °C								

$R_{isolant} = R_{Avec. isolant} - R_{Sans. isolant}$	$R_{Avec. isolant} = \frac{\Delta\theta}{\phi}$	$U = \frac{1}{R}$
$e_{isolant} = R_{isolant} \times \lambda$	$R_{Sans. isolant} = \sum R$	

**Collection :** L'Essentiel

**Equipe de rédaction :** Jean-Yves BLANCHIN (Institut de l'Elevage), Patrick JEAN (ENILIA ENSMIC), Patrick ANGLADE (CFF Patrick Anglade), Antoine MICHEL, Catherine REYNAUD (ACTALIA Centre de CarneJane), Agnès CHABANON, Mélissa TEINTURIER (FRESYCA), Yves GAÜZERE (ENILBIO Poligny), Nicolas ENJALBERT (Air Quality Process), Yves LEFRILEUX, Jacques CAPDEVILLE,

**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<sup>ème</sup> trimestre 2016 © Tous droits réservés à l'Institut de l'Elevage

