

Décembre 2016

Compte rendu 00 16 403 037

Département Qualité des Elevages et des Produits

Service Santé et bien-être des ruminants, qualité des produits laitiers : **Sabrina RAYNAUD**

Département techniques d'élevage et environnement

Service productions laitières : **Yves LEFRILEUX**

Domaine transversal systèmes d'information et traitement de données

Service DATA'STAT : **Elodie DOUTART, Leïla ALAOUI-SOSSE, Carlos LOPEZ**

Effets des paramètres d'ambiance dans les locaux d'affinage sur la qualité des fromages en conditions expérimentales au laboratoire et en locaux pilotes

Action 2 du projet « Qualité des fromagers fermiers lactiques : locaux et maîtrise de l'affinage (LACTAFF) » - Projet Casdar 1270



FNEC
Fédération Nationale
des Éleveurs de Chèvres

FNPL
FÉDÉRATION
NATIONALE
DES PRODUCTEURS
DE LAIT

PEP

ctfc

Centre Fromages
SFB
de Bourgogne

AGRICULTURES
& TERRITOIRES
CHAMPAIGNES
FRANCO-ALSACIENNES

FRESYCA

re

AGRICULTURES
& TERRITOIRES
CORSE
D'AGRICULTURE
RÉGIONALE

MRE
MONTAGNE
RÉGIONALE
DE L'ESTERRE

ACTALIA

Chèvre de Savoie

Liberté • Équité • Fraîcheur
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

MINISTÈRE
DE L'AGRICULTURE
DE L'AGRIALIMENTAIRE
ET DE LA PÊCHE

Lycée
de l'Université
EMILIA ENSIMC

ENILBIO
Poligny

INRA
SCIENCE & IMPACT

STRICK ANGLAISE

CONDIA
L'expertise en métricités

Claire
BÄRTSCHI

agroParisTech

AIR QUALITY
PROCESS

Estives du Béarn
Fromages & Laiteries

REBLOCHON
DE SAVOIE

avec la contribution financière
du conseil d'agriculture agricole
départementale de Savoie

Effets des paramètres d'ambiance dans les locaux d'affinage sur la qualité des fromages en conditions expérimentales au laboratoire et en locaux pilotes

Action 2 du projet «QUALITE DES FROMAGES FERMIERS LACTIQUES : LOCAUX ET MAITRISE DE L’AFFINAGE (LACTAFF) » Projet casdar 1270

Compte-rendu numéro 16 403 037

Cette étude a été réalisée dans le cadre du programme Innovation et Partenariat, et a bénéficié du soutien financier Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt. Elle a été conduite par l'Institut de l'Elevage, le Pôle d'Expérimentation et de Progrès Caprins de la région Rhône Alpes (PEP caprins Rhône Alpes), la Chambre d'Agriculture de Bourgogne (Centre Fromager de Bourgogne), Languedoc Roussillon Elevage, la Chambre d'Agriculture de l'Hérault, la Chambre d'Agriculture du Cher (Centre Technique Fromager Caprin de la région Centre), la MRE PACA (avec l'appui d'ACTALIA centre de Carmejane), la FRESYCA, l'INRA UMR GMPA Grignon, l'INRA – unité QUAPA Clermont-Ferrand, l'ISBA - ENILbio de Poligny et l'ENILIA-ENSMIC.

Le présent rapport a été rédigé par Y. Lefrileux (Institut de l'Elevage), D. Picque et M.-N. Leclercq-Perlat (INRA GMPA Versailles-Grignon), P.-S. Mirade et J.-M. Auberger (INRA QuaPa Clermont-Theix), A. Dorléac et M.-J. Pradal (station caprine expérimentale du Pradel EPLEFPA), S. Morge (PEP caprins Rhône Alpes), Y. Gaüzere et J. Birkner (ENILBIO Poligny), E. Doutart, L. Alaoui-Sosse, C. Lopez et S. Raynaud (Institut de l'Elevage).

D'après le rapport de stage d'Eugénie Le Jan, stagiaire UMT Compiègne-INRA. Nous remercions le personnel de l'INRA, de l'ENILBIO et de la station du Pradel ayant conduit les expérimentations.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
ACTION 2-1 EXPERIMENTATIONS AU LABORATOIRE (INRA)	3
OBJECTIFS ET METHODOLOGIE	3
RESULTATS : ETUDE DU SECHAGE	5
<i>Conditions de réalisation</i>	5
<i>Analyse globale des pertes de poids</i>	6
<i>Influence de la vitesse de l'air</i>	7
<i>Influence de la température de l'air</i>	9
<i>Influence de l'humidité relative de l'air</i>	9
<i>Apparence des fromages</i>	10
<i>Conclusion sur le séchage en cellules expérimentales</i>	12
RESULTATS : ETUDE DE L'AFFINAGE	13
<i>Conditions de réalisation</i>	13
<i>Analyse des fromages à J0</i>	13
<i>Effet de la température et de l'humidité relative sur l'ACTIVITE RESPIRATOIRE, LA COMPOSITION PHYSICO-CHIMIQUE ET LA QUALITE ORGANOLEPTIQUE DES FROMAGES en fonction du temps d'affinage</i>	15
<i>Effet du CO₂ sur l'ACTIVITE RESPIRATOIRE, LA COMPOSITION PHYSICO-CHIMIQUE ET LA QUALITE ORGANOLEPTIQUE DES FROMAGES en fonction du temps d'affinage</i>	22
ACTION 2-2 EXPERIMENTATIONS EN FROMAGERIES EXPERIMENTALES (PRADEL ET POLIGNY)	25
EXPERIMENTATIONS AU PRADEL	25
<i>Problématique & Objectifs de l'expérimentation</i>	25
<i>Matériels & Méthodes</i>	26
<i>Déroulé de l'expérimentation</i>	32
<i>Résultats obtenus</i>	35
<i>Discussion</i>	44
<i>Conclusions des expérimentations au Pradel</i>	46
EXPERIMENTATIONS A POLIGNY	47
<i>Protocole</i>	47
<i>Résultats</i>	48
CONCLUSIONS	55

INTRODUCTION

En fromageries fermières transformant le lait de chèvre, la principale destination du lait cru est en technologie pâte molle mixte à dominante lactique. Certaines des caractéristiques associées à la qualité de ces fromages (le goût, l'odeur, l'aspect, la texture) se développent essentiellement durant l'étape d'affinage¹ (Eck A. et al, 1997). Mais les acteurs de la filière fermière constatent qu'en matière d'affinage de fromages lactiques, les locaux sont parfois mal conçus, leurs équipements peu adaptés, et que l'on manque de consignes sur l'itinéraire technologique à suivre. Des études de la filière ont porté sur les étapes d'ensemencement, d'acidification, de moulage des fromages fermiers à technologie mixte à dominante lactique, mais pas sur l'affinage. Les pratiques d'affinage sont ainsi empiriques et varient d'une exploitation à l'autre. Les exploitants et les techniciens qui les accompagnent manquent de références techniques pour avoir une compréhension fine des facteurs influençant la qualité des fromages, et en résoudre les problèmes.

La maîtrise de la qualité des fromages de chèvre lactiques est décisive pour la santé économique des fermes. En effet, les producteurs fermiers vivent de la vente de leurs fromages. La qualité et, dans certains cas, la régularité des fromages fidélisent leur clientèle. Elles conditionnent la vente des fromages, et en conséquence, le maintien et la progression des revenus de l'éleveur, et donc la pérennité de l'exploitation.

L'action 2 faisant l'objet du présent rapport fait partie d'un programme CASDAR (Compte d'Affectation Spéciale « Développement Agricole et Rural ») dont la finalité est d'améliorer la maîtrise de l'affinage des fromages fermiers² de type lactique et de permettre ainsi aux producteurs de mettre sur le marché des produits de qualité régulière et spécifique, répondant aux demandes des consommateurs. Atteindre cet objectif demande une meilleure connaissance des itinéraires technologiques existants en matière d'affinage à la ferme, des pratiques des producteurs, des locaux d'affinage, de leurs équipements et leur fonctionnement, des conséquences sur la qualité des produits et un transfert des savoirs vers les producteurs, les frigoristes et les techniciens fromagers. La seconde action de ce programme a eu pour objectif de mieux connaître l'influence sur la qualité des produits des conditions d'affinage.

Cette action avait pour objectif de quantifier au laboratoire les effets des paramètres d'ambiance (température, humidité relative, teneur en CO₂) sur la qualité des fromages et de valider ces résultats dans des locaux pilotes. La première partie de cette action (2-1) a permis de quantifier au laboratoire les effets des paramètres d'ambiance indépendamment les uns des autres sur l'évolution de la qualité du produit au cours des phases de séchage et d'affinage au hâloir. Pour chacun de ces essais, les valeurs des paramètres d'ambiance retenues pour bâtir les plans d'expériences ont été choisies sur la base des résultats des enquêtes en ferme de l'action 1. La deuxième partie (2-2) a permis de vérifier sur quelques combinaisons de paramètres d'ambiance que la maîtrise de ces derniers est possible à l'échelle de locaux pilotes comparables à des locaux fermiers, et que cette maîtrise permet d'observer les mêmes effets que ceux observés au laboratoire sur la qualité des produits.

La phase de ressuyage ayant souvent lieu en salle de fabrication, il est difficile d'en piloter les paramètres d'ambiance, c'est pourquoi les expérimentations ont porté uniquement sur les phases de séchage et d'affinage au hâloir. Afin de limiter les plans d'expérience à mettre en œuvre sur la durée limitée du projet, la première phase expérimentale au laboratoire n'a porté que sur un type de fromage lactique : un fromage de type Picodon.

¹ On entendra par « affinage », toutes les étapes de la transformation partant du démoulage jusqu'à la commercialisation.

² Dans ce projet, on entend par fromages fermiers des fromages fabriqués « selon les techniques traditionnelles par un producteur agricole ne traitant que les laits de sa propre exploitation sur le lieu même de celle-ci » (décret fromage du 27 avril 2007, N° 2007-628).

ACTION 2-1 EXPERIMENTATIONS AU LABORATOIRE (INRA)

OBJECTIFS ET METHODOLOGIE

Cette action avait pour objectif de quantifier les effets des paramètres d'ambiance (température, humidité relative, vitesse d'air, teneur en CO₂) sur la qualité des fromages à l'échelle du laboratoire et de valider ces résultats dans des locaux de production.

Les valeurs des paramètres d'ambiance retenues pour définir les plans d'expériences ont été choisies sur la base des résultats des enquêtes et suivis de l'action 1. La deuxième partie en locaux de production a permis de vérifier que la maîtrise de quelques combinaisons de paramètres d'ambiance est possible et que cette maîtrise permet d'observer les mêmes effets que ceux observés sur la qualité des produits au laboratoire.

La phase de ressuyage ayant souvent lieu en salle de fabrication, il est difficile d'en piloter les paramètres d'ambiance, c'est pourquoi les expérimentations ont porté uniquement sur les phases de séchage et d'affinage au hâloir.

La première phase expérimentale au laboratoire a porté sur un type de fromage lactique fabriqués à la station caprine expérimentale du Pradel EPLEFPA et pris comme modèle ; le Picodon.

Les essais ont été réalisés dans des dispositifs spécifiques (figure 1) :

- 1) à l'INRA QuaPA Clermont-Ferrand-Theix, dès le ressuyage terminé, pour étudier plus en particulier l'étape de séchage,
- 2) à l'INRA GMPA Versailles-Grignon après séchage pour étudier l'étape d'affinage.

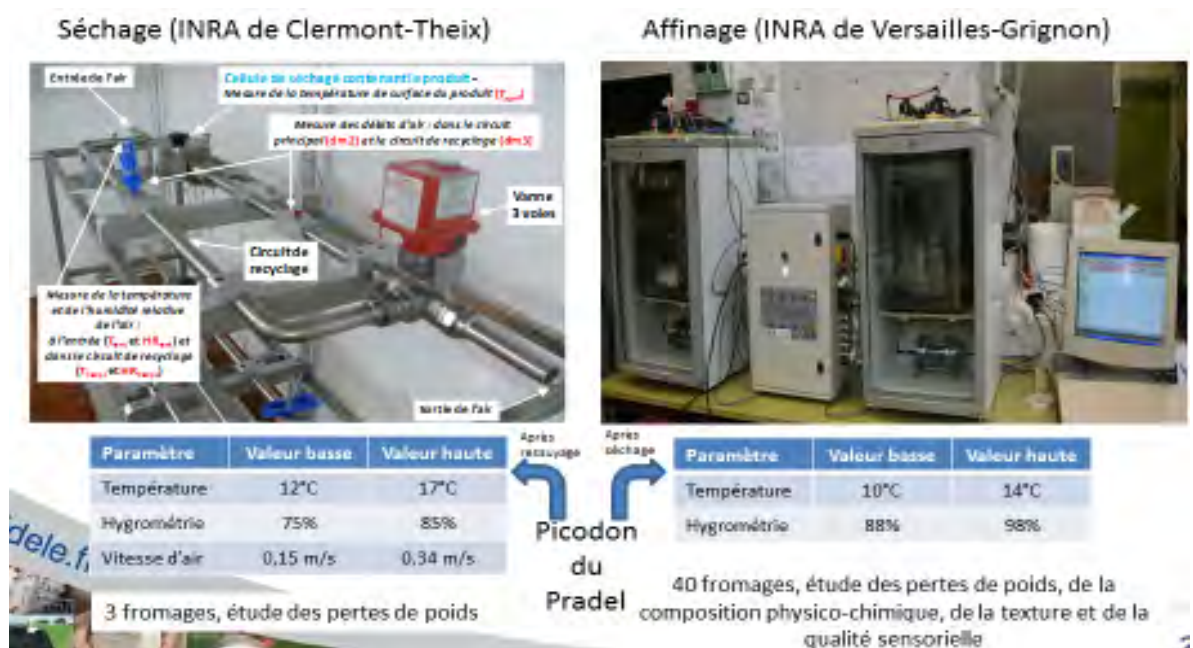


Figure F1 : dispositifs expérimentaux à l'INRA de Clermont-Theix (à gauche) et à l'INRA de Versailles-Grignon (à droite)

1) A l'INRA QuaPA Clermont-Ferrand-Theix, les fromages ont été séchés 24 à 72 h dans des cellules de laboratoire qui permettent de fixer les niveaux de température, d'hygrométrie et les vitesses d'air, et de suivre les flux d'eau en surface et l'activité de l'eau (a_w) des fromages. Un plan d'expérience basé sur les variations des paramètres « température » (2 niveaux), « humidité relative » (2 niveaux) et « vitesse d'air » (2 niveaux) a été élaboré. Les pertes de poids moyennes des fromages ont ainsi été estimées sur différentes périodes. Les fromages ont été photographiés après 48 h et 72 h de séchage dans les cellules de laboratoire.

2) A l'INRA GMPA de Versailles Grignon, les fromages ont été placés dans des cellules d'affinage de petite taille et suivis environ une dizaine de jours. Ces cellules d'affinage permettent de fixer la température et l'hygrométrie et une plage de variation des teneurs en gaz. Les cinétiques de production et de consommation de CO_2 et d' O_2 par les fromages ont ainsi été estimées. Les fromages ont été régulièrement pesés, ont fait l'objet d'analyses physico-chimiques (extrait sec, matière grasse, chlorure de sodium, lactose et lactate, pH cœur et surface, fractions azotées, lipolyse) en début, milieu et en fin du suivi, et d'une caractérisation organoleptique finale via un jury d'analyse sensorielle (méthode de profil sensoriel à l'aide d'un panel de sujets entraînés).

En séchage, les conditions du plan d'expérience ont été les suivantes :

- vitesse de l'air : 0,15 et 0,34 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
- température de l'air : 12 et 17°C
- humidité relative de l'air : 75 et 85 %

En affinage, les conditions du plan d'expérience ont été les suivantes

- température : 10 et 14 °C
- humidité relative : 88 et 98%

L'effet du CO_2 a été testé à 3 niveaux, 0, 2,5 et 4,5 %, lors d'un essai spécifique.

CONDITIONS DE RÉALISATION

Les conditions de réalisation des essais de séchage conduits dans les installations de laboratoire de Clermont-Theix sont résumées dans le tableau T1.

Tableau T1 : Conditions aérauliques (vitesse, température et humidité relative de l'air) appliquées lors des expérimentations de séchage des Picodon dans les cellules expérimentales de Theix. Deux conditions de vitesse ($15 = 0,15 \text{ m.s}^{-1}$ et $24 = 0,34 \text{ m.s}^{-1}$), 2 conditions de température (12°C et 17°C) et 2 conditions d'humidité relative de l'air (75% et 85%) ont été testées.

Essais	Température	Température	HR	HR
	consigne($^\circ\text{C}$)	mesurée ($^\circ\text{C}$)	consigne (%)	mesurée (%)
15-12-75a	12	11,7 +/- 0,2	75	76,6 +/- 1,1
15-12-75b	12	11,8 +/- 0,2	75	76,8 +/- 1,1
15-12-75c	12	12,2 +/- 0,2	75	76,9 +/- 2,6
15-12-75d	12	11,9 +/- 0,2	75	77,7 +/- 2,7
24-12-75a	12	11,9 +/- 0,2	75	77,4 +/- 2,6
24-12-75b	12	12,0 +/- 0,2	75	77,7 +/- 2,7
24-12-75c	12	12,1 +/- 0,1	75	75,6 +/- 1,0
24-12-75d	12	11,8 +/- 0,2	75	76,9 +/- 1,1
15-12-85a	12	12,0 +/- 0,2	85	85,6 +/- 1,7
15-12-85b	12	12,0 +/- 0,2	85	85,7 +/- 1,6
15-12-85c	12	12,2 +/- 0,2	85	84,5 +/- 1,7
15-12-85d	12	11,9 +/- 0,2	85	86,3 +/- 1,7
24-12-85a	12	11,9 +/- 0,2	85	85,6 +/- 1,7
24-12-85b	12	12,0 +/- 0,2	85	85,3 +/- 1,7
24-12-85c	12	12,3 +/- 0,2	85	84,9 +/- 1,7
24-12-85d	12	11,9 +/- 0,2	85	86,8 +/- 1,6
15-17-75a	17	17,1 +/- 0,2	75	74,1 +/- 1,2
15-17-75b	17	17,1 +/- 0,2	75	74,1 +/- 1,2
15-17-75c	17	17,4 +/- 0,2	75	74,7 +/- 2,0
15-17-75d	17	17,1 +/- 0,2	75	75,7 +/- 2,1
24-17-75a	17	17,1 +/- 0,2	75	75,5 +/- 2,1
24-17-75b	17	17,2 +/- 0,2	75	75,5 +/- 2,1
24-17-75c	17	17,3 +/- 0,2	75	73,8 +/- 1,1
24-17-75d	17	16,9 +/- 0,2	75	75,3 +/- 1,3
15-17-85a	17	17,1 +/- 0,3	85	84,8 +/- 2,3
15-17-85b	17	17,2 +/- 0,3	85	85,0 +/- 2,3
15-17-85c	17	17,3 +/- 0,2	85	83,5 +/- 2,2
15-17-85d	17	16,9 +/- 0,3	85	85,4 +/- 2,4
24-17-85a	17	17,1 +/- 0,3	85	83,9 +/- 2,2
24-17-85b	17	17,2 +/- 0,3	85	83,8 +/- 2,2
24-17-85c	17	17,4 +/- 0,2	85	84,2 +/- 2,2
24-17-85d	17	17,1 +/- 0,2	85	85,8 +/- 2,3

Huit fabrications fromagères envoyées par le Pradel, après ressuyage, ont été utilisées, permettant de réaliser 32 essais de triplets vitesse/température/humidité relative (4 cellules de séchage disponibles, 8 conditions répétées 3 fois) pendant lesquels les fromages ont été séchés, jusqu'à 72 h. Pour chaque essai, 3 Picodons étaient placés dans les cellules de séchage et étaient pesés deux fois par jour. En pratique, afin de limiter les hétérogénéités de séchage inhérentes à la disposition des fromages par rapport à la direction principale du flux d'air dans les cellules de séchage, l'ordre des Picodons étaient intervertis après chacune des pesées.

ANALYSE GLOBALE DES PERTES DE POIDS

Le tableau T2 rend compte des pertes de poids moyennes des Picodons pour l'ensemble des essais réalisés, au cours du premier jour de séchage, du deuxième jour, du troisième jour, sur 48 h (Jour1+Jour2) et enfin, sur 72 h (Jour1+Jour2+Jour3).

Tableau T2 : Pertes de poids moyennes mesurées, pour chaque condition aéraulique testée dans les cellules expérimentales de Theix, sur 12 fromages (3 fromages x 4 expériences), au cours du 1^{er} jour, du 2^{ème} jour, du 3^{ème} jour, des 2 premiers jours (48 h) et des 3 jours (72 h) de séchage.

Essais	Pertes Jour 1	Pertes Jour 2	Pertes Jour 3	Pertes sur 48 h	Pertes sur 72 h
	(g/j)	(g/j)	(g/j)	(g/j)	(g/j)
15-12-75	13,1 +/- 2,5	11,8 +/- 1,7	11,3 +/- 1,6	12,4 +/- 0,9	12,1 +/- 0,7
24-12-75	19,9 +/- 4,5	16,7 +/- 3,3	14,5 +/- 2,6	18,2 +/- 1,5	17,0 +/- 1,1
15-12-85	9,4 +/- 1,8	9,0 +/- 1,5	8,5 +/- 1,2	9,2 +/- 0,8	9,0 +/- 0,6
24-12-85	15,3 +/- 3,0	14,0 +/- 2,5	12,9 +/- 2,3	14,6 +/- 1,1	14,0 +/- 0,7
15-17-75	16,0 +/- 3,4	14,7 +/- 2,0	12,7 +/- 1,7	15,3 +/- 1,1	14,4 +/- 0,9
24-17-75	23,3 +/- 3,4	17,8 +/- 3,3	9,7 +/- 3,2	20,4 +/- 1,4	16,9 +/- 1,7
15-17-85	11,1 +/- 2,0	10,9 +/- 1,7	10,4 +/- 1,6	11,0 +/- 0,8	10,8 +/- 0,6
24-17-85	17,7 +/- 4,6	17,4 +/- 3,1	15,1 +/- 2,5	17,6 +/- 1,1	16,7 +/- 0,9

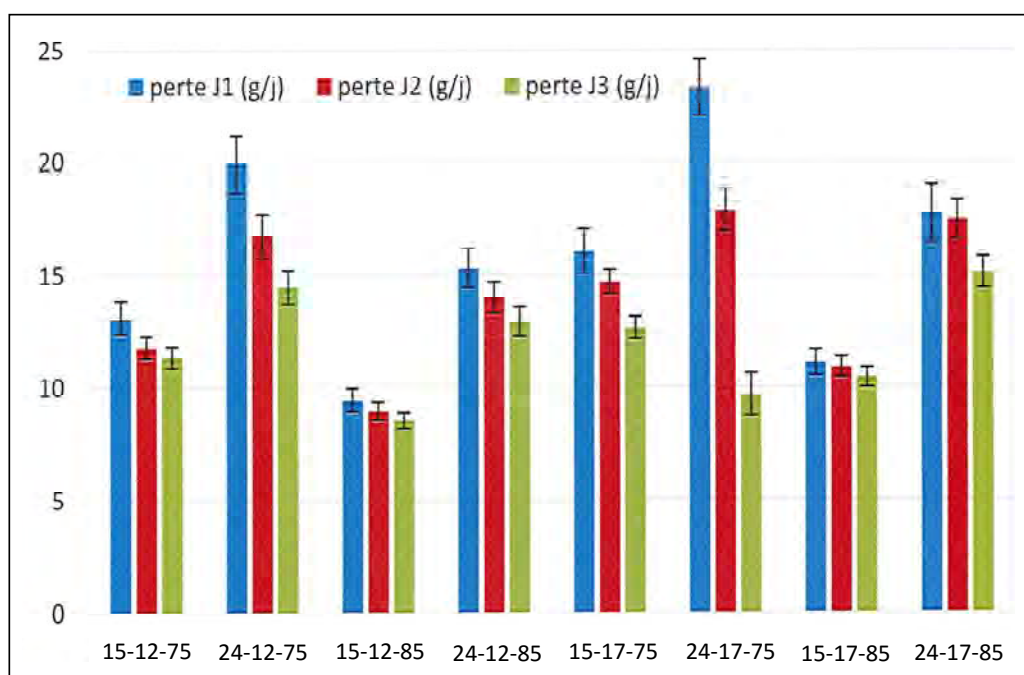


Figure F2 : Dynamique d'évolution de la perte de poids moyenne journalière déterminée, pour chaque condition aéraulique testée dans les cellules expérimentales de Theix, sur 12 fromages, pour chacune des 3 journées de séchage.

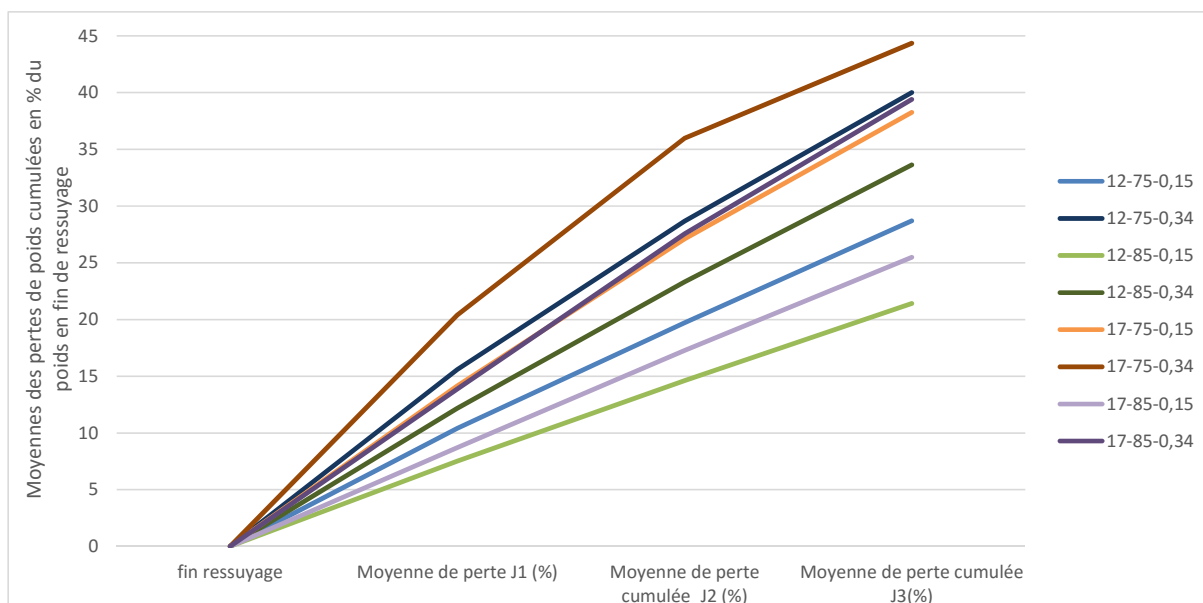


Figure F3 : Dynamiques d'évolution de la perte de poids moyenne (exprimée en % du poids initial moyen des fromages) déterminée, pour chaque condition aérouliquue testée dans les cellules expérimentales de Theix, sur 12 fromages et cumulée sur les 3 jours de séchage.

D'une manière générale, l'analyse du tableau T2 et des figures F2 et F3 permet d'affirmer que :

- La perte de poids journalière d'un Picodon lors du séchage peut varier de 8,5 à 23,3 g, soit pratiquement d'un facteur 3, en fonction des conditions aérouliques appliquées autour des fromages, lors du séchage.
- La perte de poids la plus élevée correspond, bien entendu, aux conditions aérouliques les plus drastiques, à savoir une vitesse et une température de l'air élevées et une humidité relative de l'air faible (condition '24-17-75').
- Les pertes de poids les plus élevées ont lieu au jour 1, et ce d'autant plus, que les conditions aérouliques sont drastiques : par exemple, '24-12-75' et '24-17-75'. Cela met en évidence le fait que la diffusion de l'eau à l'intérieur des fromages devient limitante par rapport à l'évaporation de l'eau en surface, dès le deuxième jour de séchage, se traduisant par des ruptures de pente marquées sur la Figure F2. Et quand les conditions aérouliques sont beaucoup plus douces, par exemple '15-12-85' et '15-17-85', les pertes de poids journalières sont quasiment constantes sur les 3 jours.
- Des pertes de poids identiques peuvent être obtenues, lors du séchage, avec des triplets « vitesse-température-humidité relative » différents, par exemple '24-12-75', '24-17-85' et '15-17-75'.
- Compte tenu des gammes de variation des paramètres testées, il semblerait que la vitesse de l'air soit le facteur qui influe le plus sur la perte de poids des fromages.

INFLUENCE DE LA VITESSE DE L'AIR

La figure F4 ci-après présente, pour chaque couple température-humidité relative de l'air, l'effet de la vitesse de l'air : chaque courbe en bleu correspondant à la vitesse d'air la plus faible ($0,15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) et celle en rouge, à la vitesse la plus élevée ($0,34 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$).

Cette figure met clairement en évidence l'effet important joué par la vitesse de l'air sur la perte de poids moyenne des Picodons lors de l'étape de séchage. En effet, quel que soit le couple température-humidité relative de l'air, le fait de passer d'une vitesse d'air de $0,15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ à $0,34 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

accroît considérablement les pertes de poids moyennes, aussi bien sur 48 h que sur 72 h. Ces pertes sont comprises entre 15 et 35% du poids initial des fromages au bout de 48 h, et entre 20 et 45% du poids initial des fromages au bout de 72 h. La figure F4 montre également que l'influence de la vitesse est variable selon les valeurs des paramètres température et humidité relative du flux d'air de séchage.

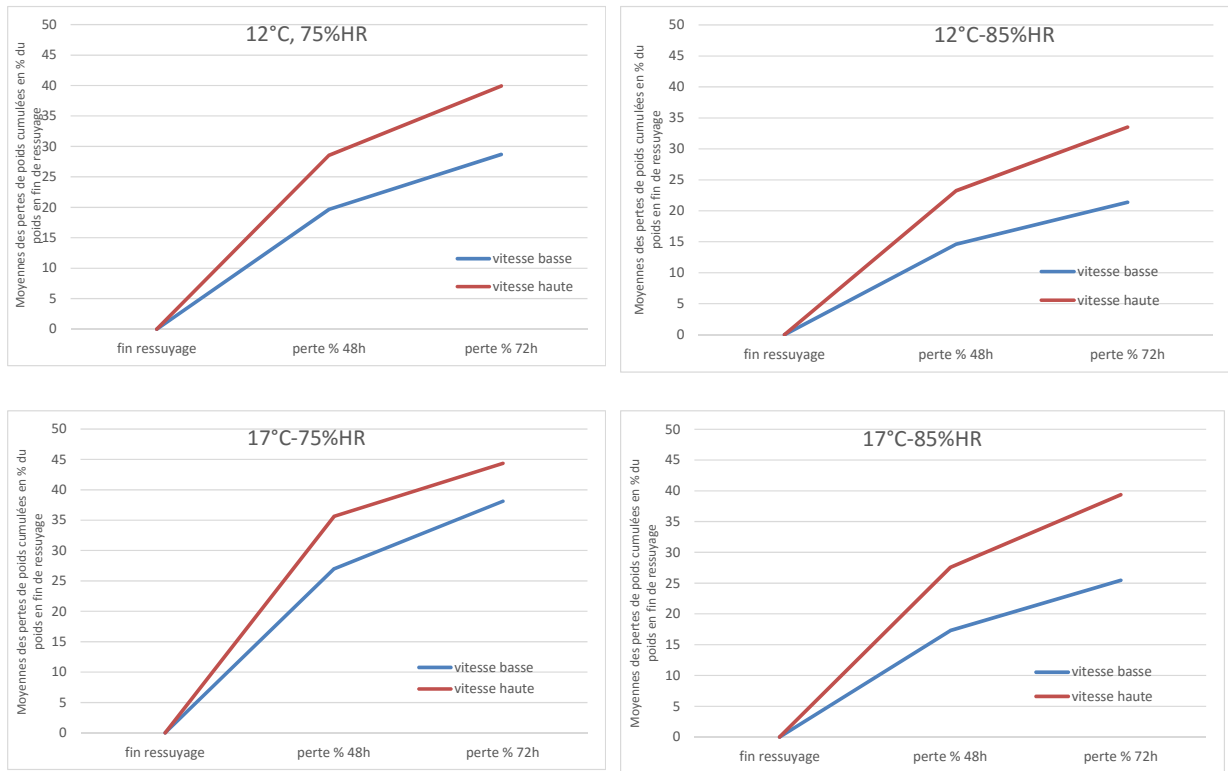


Figure F4 : Influence de la vitesse de l'air sur les pertes de poids moyennes (exprimées en % du poids initial moyen des fromages) des Picodons déterminées après 48 h et 72 h de séchage dans les cellules expérimentales de Theix.

INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE DE L'AIR

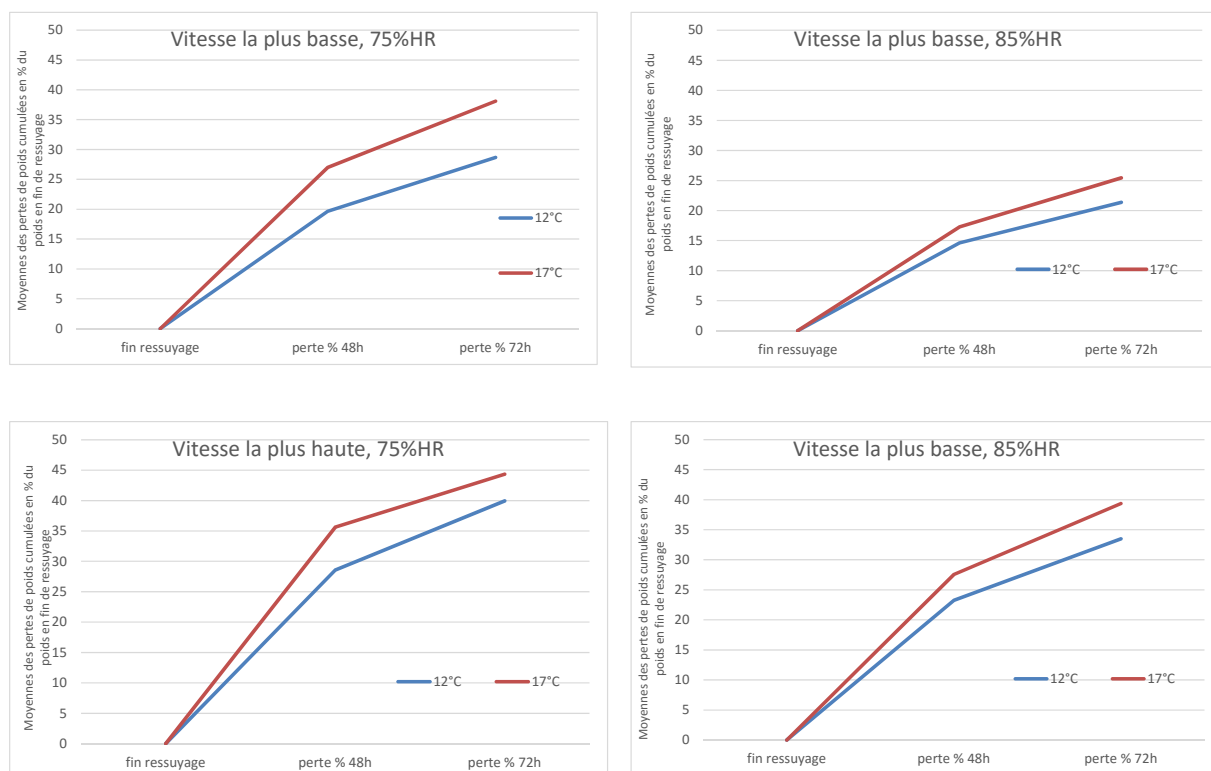


Figure F5 : Influence de la température de l'air sur les pertes de poids moyennes (exprimées en % du poids initial moyen des fromages) des Picodons déterminées après 48 h et 72 h de séchage dans les cellules expérimentales de Theix.

La figure F5 présente, pour chaque couple vitesse-humidité relative de l'air, l'effet de la température de l'air sur le pourcentage de pertes de poids moyen des fromages : chaque courbe en bleu correspondant à la température d'air la plus faible (12°C) et celle en rouge, à la température la plus élevée (17°C).

Cette figure met clairement en évidence l'effet de la température de l'air sur la perte de poids moyenne des Picodons lors de l'étape de séchage. En effet, quel que soit le couple vitesse-humidité relative de l'air, le fait de passer d'une température d'air de 12°C à 17°C accroît significativement les pertes de poids moyennes, aussi bien sur 48 h que sur 72 h, avec, cependant, un accroissement plus faible lorsque l'humidité relative de l'air est de 85%. Dans la gamme de variation des paramètres aérauliques testée, l'effet de la température de l'air sur la perte de poids moyenne des fromages est, toutefois, globalement moins prononcé que celui induit par la vitesse de l'air.

INFLUENCE DE L'HUMIDITÉ RELATIVE DE L'AIR

La figure F6 présente, pour chaque couple vitesse-température de l'air, l'effet de l'humidité relative de l'air sur le pourcentage de pertes de poids moyen des fromages : chaque courbe en bleu correspondant à l'humidité relative de l'air la plus faible (75%) et celle en rouge, à l'humidité relative la plus élevée (85%).

Cette figure met clairement en évidence l'effet de l'humidité relative de l'air sur la perte de poids moyenne des Picodons lors de l'étape de séchage. En effet, quel que soit le couple vitesse-

température de l'air, le fait d'abaisser l'humidité relative de l'air de 85% à 75% accroît significativement les pertes de poids moyennes, aussi bien sur 48 h que sur 72 h. Dans la gamme de variation des paramètres aérauliques testée, l'effet de l'humidité relative de l'air sur la perte de poids moyenne des fromages semble être intermédiaire entre ceux de la vitesse de l'air et la température, respectivement.

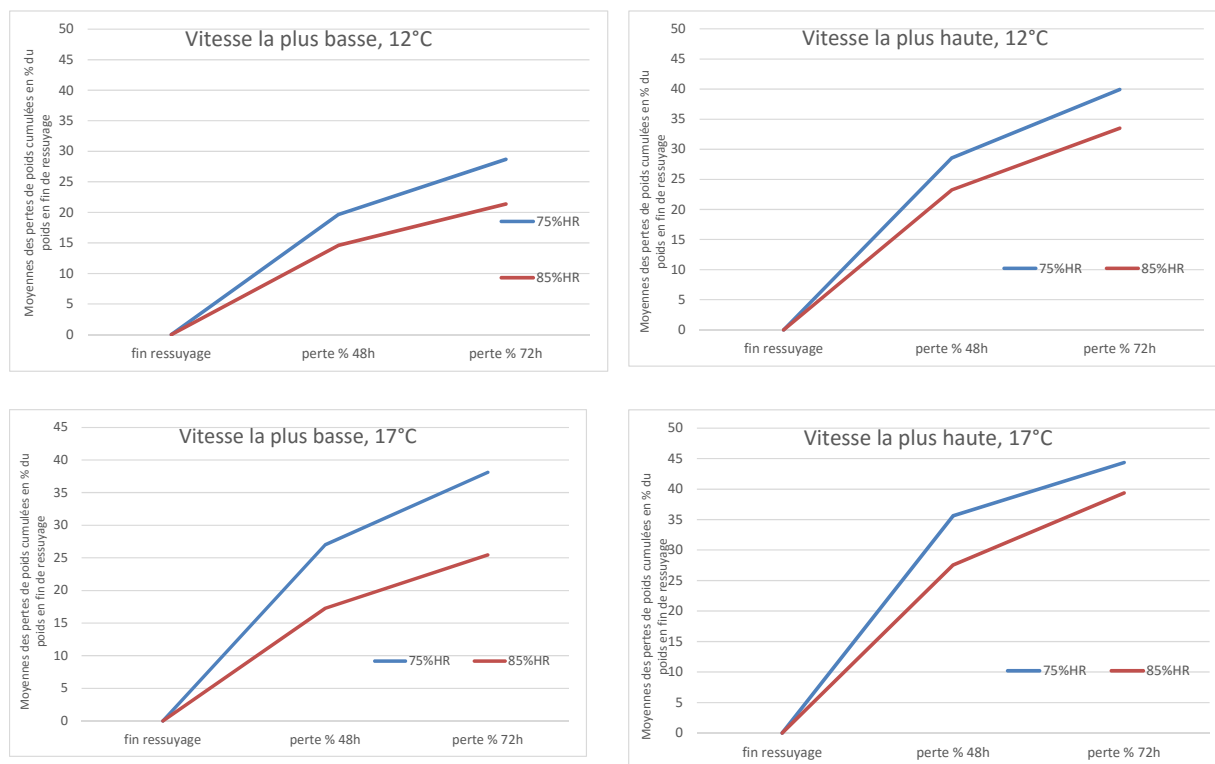


Figure F6 : Influence de l'humidité relative de l'air sur les pertes de poids moyennes (exprimées en % du poids initial moyen des fromages) des Picodons déterminées après 48 h et 72 h de séchage dans les cellules expérimentales de Theix.

APPARENCE DES FROMAGES

Des photographies des Picodons ont également été prises après 48 h et 72 h de séchage dans les cellules expérimentales de Theix. Seules les photographies correspondant aux 2 conditions aérauliques testées extrêmes ('24-17-75' et '15-12-85') sont reportées ici (figures F7 et F8).

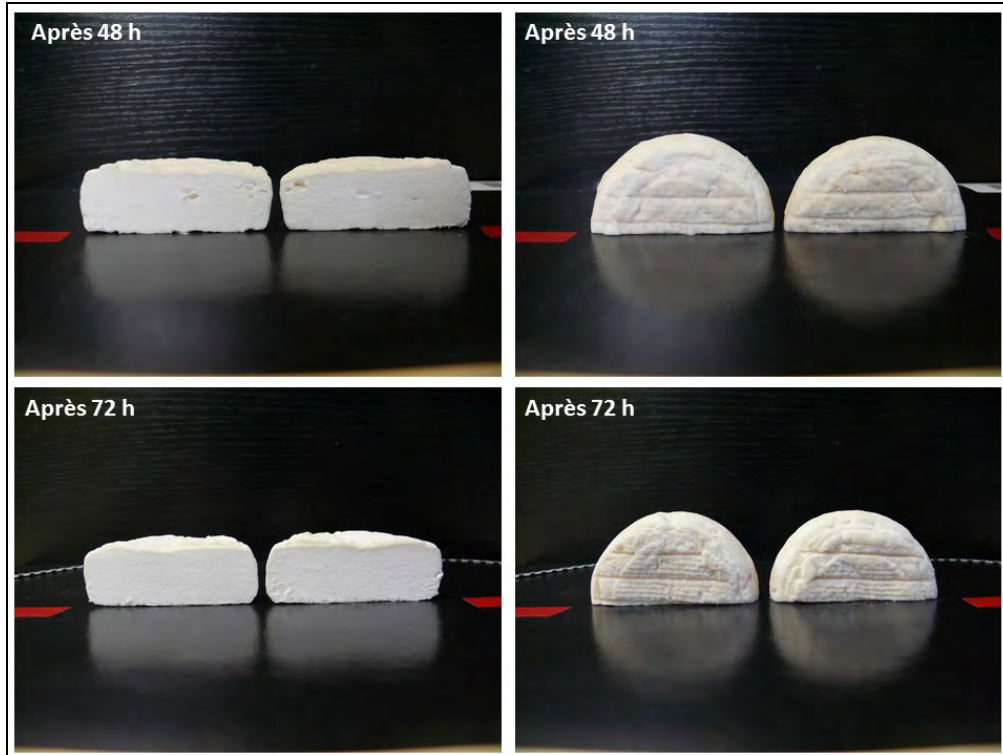


Figure F7 : Photographies de la tranche et de la surface d'un Picodon, après 48h et 72 h de séchage dans les cellules expérimentales de Theix, avec un écoulement d'air ayant les caractéristiques suivantes : $0,15 \text{ m.s}^{-1}$, 12°C et $85\% \text{ HR}$ (condition aéraulique de séchage la plus douce).

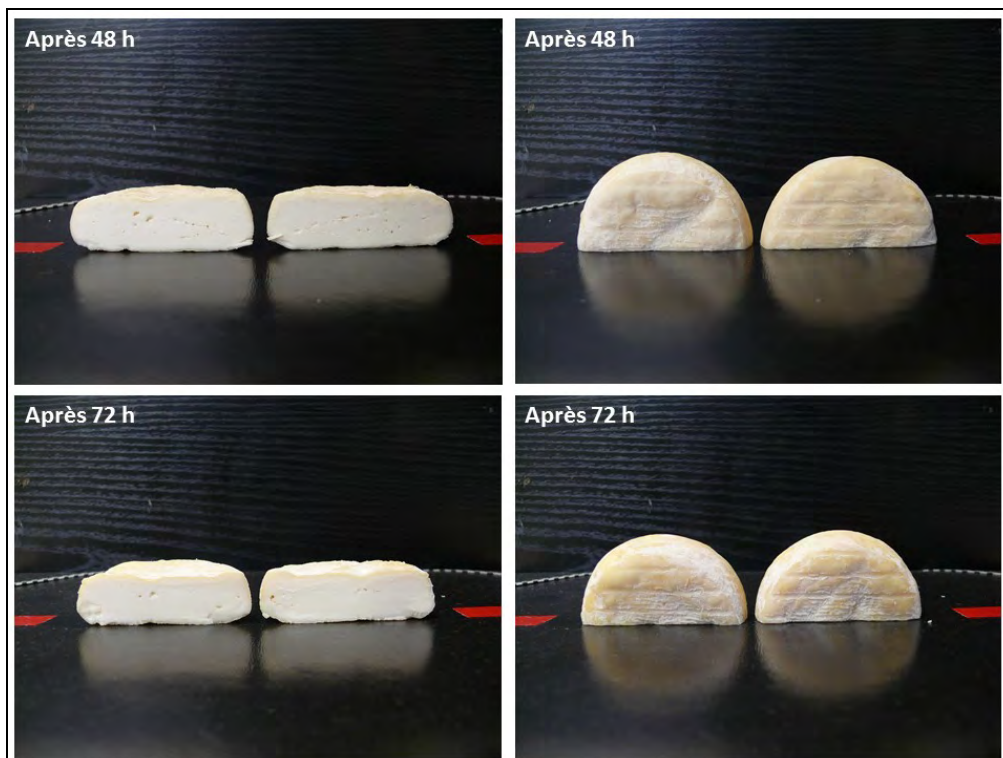


Figure F8 : Photographies de la tranche et de la surface d'un Picodon, après 48h et 72 h de séchage dans les cellules expérimentales de Theix, avec un écoulement d'air ayant les caractéristiques suivantes : $0,34 \text{ m.s}^{-1}$, 17°C et $75\% \text{ HR}$ (condition aéraulique de séchage la plus drastique).

L'analyse des photos présentées sur les figures F7 et F8 permet clairement de visualiser l'effet des conditions aérauliques mises en œuvre lors du séchage sur l'apparence des fromages. Une condition aéraulique douce conduit à un fromage d'aspect blanchâtre où la flore se développe bien et de manière homogène à la surface des Picodons (Figure F7). A l'inverse, la condition aéraulique la plus drastique testée conduit à un fromage d'aspect jaunâtre, avec une flore de surface beaucoup moins développée et installée de manière hétérogène sur la surface des Picodons (Figure F8). A ce stade, il est même possible de se demander comment un fromage fortement séché (figure F8) se comporterait lors de la phase d'affinage : est-ce que la flore de surface se développerait de manière adéquate ou pas ?

CONCLUSION SUR LE SÉCHAGE EN CELLULES EXPÉRIMENTALES

Les expérimentations concernant le séchage menées à Clermont-Theix ont permis de montrer des effets hautement significatifs de la température, de l'hygrométrie et de la vitesse de l'air ($p < 0.01$) sur les pertes de poids des fromages, après 1, 2 ou 3 jours de séchage (exemple tableau T3). Dans la gamme de variation des paramètres testée dans cette étude, l'effet le plus important incombe à la vitesse de l'air, suivi par l'hygrométrie et enfin, par la température.

Tableau T3 : Synthèse des pertes de poids moyennes mesurées et exprimées par rapport au poids initial des fromages, après 48 h de séchage dans les cellules expérimentales de Theix.

Paramètre	Niveau	Perte de poids	Écart	Proba
Vitesse d'air	0,34 m.s ⁻¹	28,9 %	9,2 pts	p<0,01
	0,15 m.s ⁻¹	19,7 %		
Hygrométrie	75 %	27,9 %	7,2 pts	p<0,01
	85 %	20,7 %		
Température	17°C	27,0 %	5,4 pts	p<0,01
	12°C	21,6 %		

Les résultats montrent aussi que les pertes de poids peuvent varier d'un facteur, quasiment 3, suivant les conditions aérauliques de séchage appliquées. Toutefois, comme cette étude était ciblée sur une quantification de l'effet du séchage, il est impossible de statuer sur le devenir des fromages les plus fortement séchés (75% d'hygrométrie, 17°C et 0,34 m.s⁻¹ à 2 et 3 jours) lors de la phase d'affinage en termes de développement de la flore de surface et de qualités organoleptiques finales. Ces essais apportent aussi des informations pratiques utiles quant à l'évolution de la perte de poids des Picodons lors du séchage, en montrant, par exemple, dans le cas où l'on vise une perte de poids de 20%, lors de l'étape de séchage, que cette perte de poids peut être obtenue en 24 h (à 0,34 m.s⁻¹, 17°C et 75% HR), 48 h (à 0,15 m.s⁻¹, 12°C et 75% HR) ou 72 h (à 0,15 m.s⁻¹, 12°C et 85% HR), suivant les conditions aérauliques de séchage appliquées autour des fromages qui sont inhérentes au matériel à la disposition du professionnel.

CONDITIONS DE RÉALISATION

Les conditions de réalisation des essais sont résumées dans le tableau T4. Six fabrications fromagères ont été utilisées permettant de réaliser 12 essais température/humidité relative (2 cellules respiratoires disponibles). L’essai PA3 n’a pu être exploité du fait de contamination levurienne.

Tableau T4 : conditions de réalisation des essais d’affinage de Picodon en cellule respiratoire

Date entrée	Nom essai	Température (°C)	Température (°C)	RH (%)	RH (%)
2014_03_27	PA1	10	10 ± 0,2	98	98,2 ± 0,9
2014_03_27	PA1	14	14 ± 0,3	98	98,8 ± 1,7
2014_04_10	PA2	10	10 ± 0,3	88	90,5 ± 1,5
2014_04_10	PA2	14	14 ± 0,3	88	88,3 ± 1,8
2014_05_15	PA3	10		88	
2014_05_15	PA3	10		98	
2014_06_05	PA4	10	10 ± 0,2	98	97,6 ± 2,7
2014_06_05	PA4	14	14 ± 0,2	98	98,2 ± 1,1
2014_06_19	PA5	14	14 ± 0,1	88	89,5 ± 1,6
2014_06_19	PA5	14	14 ± 0,1	98	98,9 ± 1,5
2014_07_01	PA6	10	14 ± 0,5	88	89,2 ± 1,2
2014_07_01	PA6	10	14 ± 0,5	98	99,2 ± 1,1

ANALYSE DES FROMAGES À JO

Dans le tableau T5 sont reportés les moyennes et les écarts types des paramètres mesurés ainsi que le résultat de l’analyse de variance inter essais.

Les paramètres a_w , pH surface, pH cœur, cohésion ne diffèrent pas en fonction des 5 productions de fromage.

L’extrait sec et la dureté sont supérieurs dans les fromages des fabrications PA1 et PA2 alors que les fractions azotées (NNC et NNP) ne sont supérieures que dans le cas de la fabrication PA1.

La teneur en matière grasse a tendance à diminuer entre le 2 premières fabrications et les 3 suivantes, l’indice de lipolyse est le plus faible dans la dernière fabrication.

L’odeur des fromages des fabrications PA1 et PA2 a été jugée comme lactée et acide, celle des fabrications PA4 et PA6 comme fruité alcoolique caractéristique du développement de levures, et les fromages de la fabrication PA5 présentait une odeur plus laitière caractéristique de la présence de *Geotrichum candidum*. Au toucher, les fromages des fabrications PA1 et PA2 ont été perçus comme granuleux, ceux des fabrications PA4, PA5 et PA6 comme très humides avec une croûte visqueuse.

Ces différences sont des facteurs intrinsèques de la diversité des fabrications fromagères selon les saisons et les protocoles de fabrication.

Tableau T5 : valeurs des paramètres caractérisant les fromages des différentes fabrications (PA) à J0, début de la phase d'affinage (M : poids des fromages, ES extrait sec, a_w activité de l'eau, MGT matière grasse totale, MGT/sec matière grasse totale sur extrait sec, NNC azote non caséique, NNP azote non protéique)

Essai	M \pm s (g)	ES \pm s (%)	$a_w \pm$ s	[NaCl] \pm s	pH surf \pm s	pH cœur \pm s
PA1 2014_03_27	89,8 \pm 3,6 ^a	52,3 \pm 0,8 ^b	0,975 \pm 0,002 ^a	0,72 \pm 0,05 ^{bc}	5,7 \pm 0,2 ^a	4,32 \pm 0,03 ^a
PA2 2014_04_10	87,6 \pm 2,6 ^a	51,3 \pm 0,4 ^b	0,979 \pm 0,006 ^a	0,75 \pm 0,03 ^{bc}	6,1 \pm 0,3 ^a	4,34 \pm 0,06 ^a
PA4 2014_06_05	88,7 \pm 3,2 ^a	43,1 \pm 0,8 ^a	0,981 \pm 0,003 ^a	0,53 \pm 0,09 ^a	5,9 \pm 0,8 ^a	4,37 \pm 0,06 ^a
PA5 2014_06_19	91,1 \pm 2,8 ^{ab}	40,1 \pm 1,5 ^a	0,977 \pm 0,002 ^a	0,66 \pm 0,06 ^b	5,7 \pm 0,5 ^a	4,40 \pm 0,02 ^a
PA6 2014_07_01	96,4 \pm 3,7 ^b	42,1 \pm 1,5 ^a	0,977 \pm 0,002 ^a	0,80 \pm 0,06 ^c	5,2 \pm 0,3 ^a	4,40 \pm 0,02 ^a

Tableau T5 suite

Essais	MGT \pm s (%)	MGT/sec \pm s (%)	[NNC] \pm s (%)	[NNP] \pm s (%)	Indice Lipolyse \pm s
PA1	26,3 \pm 0,6 ^c	50,7 \pm 0,3 ^c	13,5 \pm 1,7 ^b	10,0 \pm 1,1 ^b	9,6 \pm 0,2 ^b
PA2	26,0 \pm 0,2 ^c	50,6 \pm 0,4 ^c	6,4 \pm 0,5 ^a	3,93 \pm 0,08 ^a	8,6 \pm 0,3 ^b
PA4	21,5 \pm 0,5 ^b	49,9 \pm 0,3 ^b	8,8 \pm 0,8 ^a	8,5 \pm 0,7 ^b	6,3 \pm 0,6 ^a
PA5	19,7 \pm 1,0 ^a	49,0 \pm 0,4 ^a	8,1 \pm 0,4 ^a	5,6 \pm 1,0 ^a	9,7 \pm 0,5 ^b
PA6	21,8 \pm 0,9 ^b	51,6 \pm 0,4 ^b	8,5 \pm 0,5 ^a	5,6 \pm 1,3 ^a	6,9 \pm 0,4 ^a

Tableau T5 suite

Essai	« Mastication » (double compression)			
	Dureté Pénétrométrie (N)	Cohésion	Dureté	Elasticité
PA1 2014_03_27	2,9 \pm 0,3 ^b	2,8 \pm 0,2 ^a	34 \pm 4 ^b	1,37 \pm 0,05 ^a
PA2 2014_04_10	2,4 \pm 0,2 ^b	3,1 \pm 0,4 ^a	30 \pm 3 ^b	1,46 \pm 0,09 ^{ab}
PA4 2014_06_05	1,3 \pm 0,2 ^a	2,8 \pm 0,2 ^a	18 \pm 2 ^a	1,44 \pm 0,06 ^{ab}
PA5 2014_06_19	1,1 \pm 0,2 ^a	3,2 \pm 0,5 ^a	14 \pm 3 ^a	1,58 \pm 0,10 ^b
PA6 2014_07_01	1,1 \pm 0,2 ^a	2,7 \pm 0,2 ^a	15 \pm 2 ^a	1,36 \pm 0,13 ^a

EFFET DE LA TEMPÉRATURE ET DE L'HUMIDITÉ RELATIVE SUR L'ACTIVITÉ RESPIRATOIRE, LA COMPOSITION PHYSICO-CHEMIQUE ET LA QUALITÉ ORGANOLEPTIQUE DES FROMAGES EN FONCTION DU TEMPS D'AFFINAGE

ACTIVITÉ RESPIRATOIRE

Les quantités de CO₂ produites pendant la phase d'affinage sont représentées en figure F9.

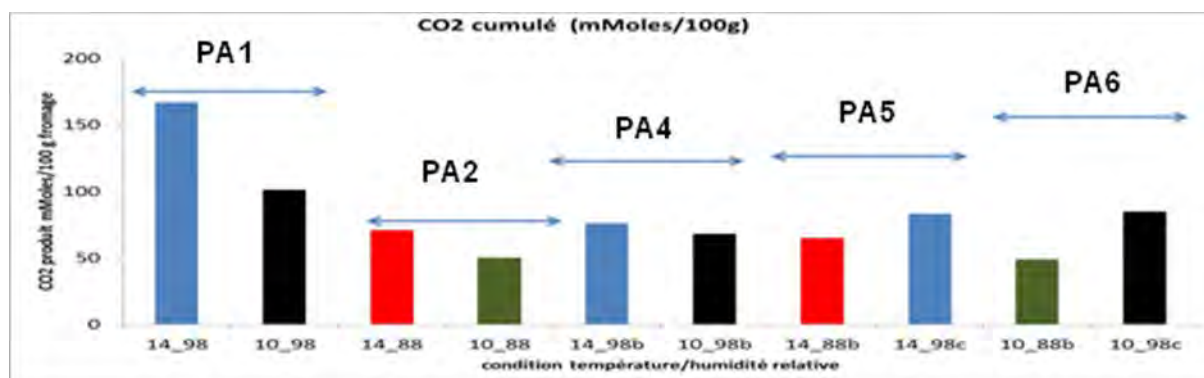


Figure F9 : quantités de CO₂ produites en fonction des conditions d'essais.

Pour de mêmes conditions d'essai en température (Θ) et en humidité relative (HR), les quantités de CO₂ produites variaient fortement en fonction de l'essai. Par exemple, à 14°C et 98% HR, elles diminuaient de 176 à 76 milli moles. Cependant, cette condition restait toujours la plus favorable à la production de CO₂.

L'analyse des valeurs moyennes par conditions d'essai permet de bien mettre en évidence l'effet des paramètres étudiés (figure F10).

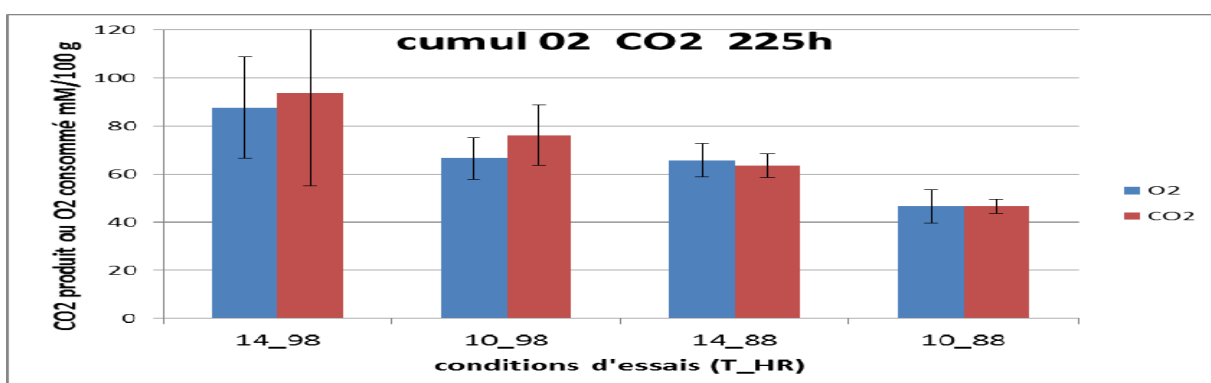


Figure F10 : moyennes des quantités de CO₂ produites et d'O₂ consommées en fonction des conditions d'essais.

L'augmentation de la température de 4°C induit un accroissement du CO₂ produit de 17 mMoles quelle que soit l'HR. Une augmentation de HR de 10 % provoque une production de CO₂ supérieure de 30 mMoles quelle que soit la température.

Donc, en moyenne, l'augmentation de la température de 1°C conduit à une production supplémentaire d'un litre de CO₂ par kg de fromage et l'augmentation d'1 % de l'HR à une augmentation de 0,7 litre par kg.

L'ensemble de ces observations peut être fait pour la consommation d'O₂ avec des valeurs très similaires.

PARAMÈTRES PHYSICO-CHIIMIQUES

Le taux de matière sèche (ES) des fromages augmente en fonction du temps dans tous les essais (figure F11). Pour de mêmes conditions d'affinage, des variations existent entre les essais mais les tendances restent similaires. Les essais conduits à 88 % d'HR montrent la plus forte augmentation de l'ES, de 10 à 20 g fromage sec/100 g fromage humide (%); alors qu'à 98 % d'HR, l'ES augmente de 3 à 8 %. Des différences sont notées à 88 % d'HR entre les essais réalisés à 10 et 14°C.

Les pertes de masse des fromages atteignent à J12 des valeurs d'environ 27 % et 12 %, respectivement pour les affinages conduits à 88 % et 98 % d'HR (figure F12).

L'analyse statistique confirme ces observations avec un fort effet de l'HR sur les paramètres ES et perte de masse.

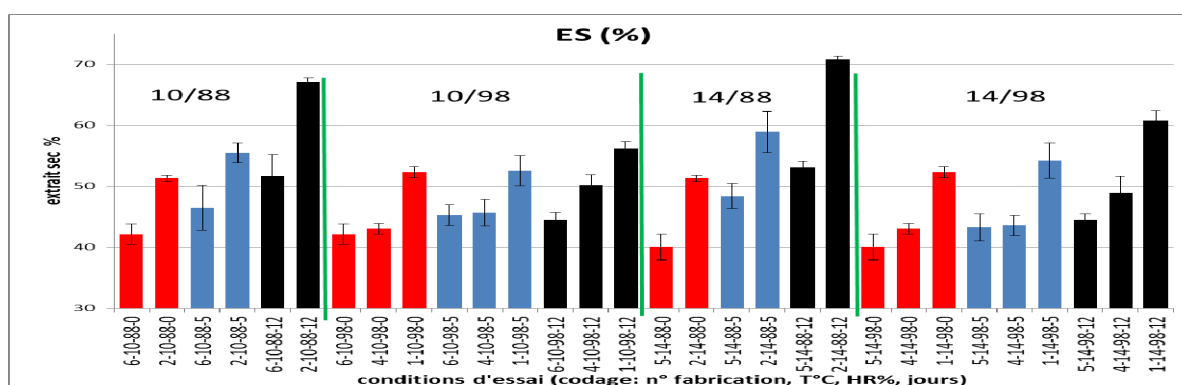


Figure F11 : Evolution de l'extrait sec en fonction des conditions et du temps d'affinage et des fabrications.

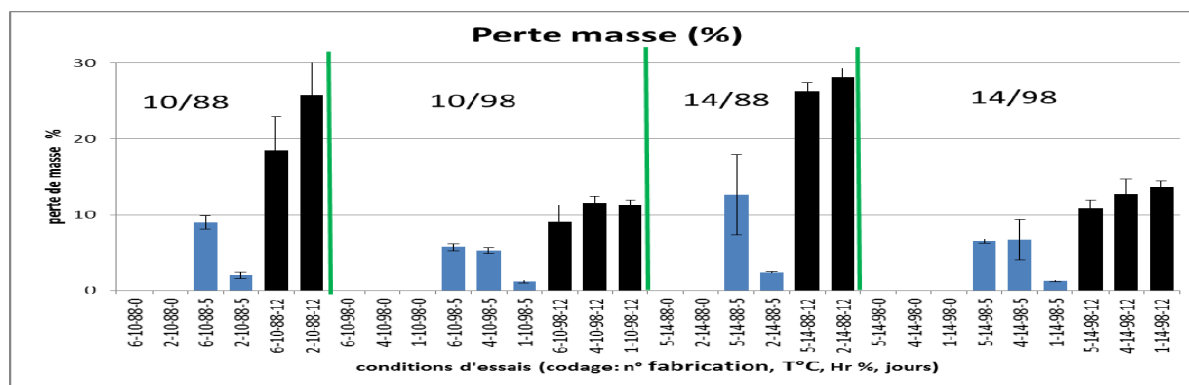


Figure F12 : Evolution de la perte de masse en fonction des conditions et du temps d'affinage et des fabrications.

L' a_w se situe entre 0,975 et 0,980 et évolue peu au cours de l'affinage. Seule, une diminution significative est enregistrée à J12 lors des essais à 88 % d'HR. Elle est de l'ordre de 0,01.

Le pH de surface augmente à partir de valeurs inférieures à 6 à J0 jusqu'à des valeurs comprises entre 7,5 et 8 à J12 (figure F13). Les évolutions lors des essais 10/98, 14/88 et 14/98 sont très similaires. A 88 % d'HR, l'analyse statistique met en évidence un effet de la température sur la cinétique de pH avec des valeurs plus basse de 0,4 unité à 10°C et J5 comparativement à 14°C. A cœur, le pH évolue peu de l'ordre de 0,2 unité. Seul un effet de la température est statistiquement significatif à 98 % d'HR avec un $pH_{\text{cœur}}$ final supérieur à 4,8.

L'indice de lipolyse (IL) présente des évolutions parfois différentes malgré de mêmes conditions d'essais (figure F14). Ainsi, selon la fabrication, il peut rester constant ou augmenter comme le montrent les essais 10/88 (fabrications 2 et 6) et 14/88 (fabrications 2 et 5).

En règle générale, il aurait tendance à rester constant ou à peu évoluer à 88 % d'HR. A 98% d'HR, les augmentations peuvent être de l'ordre de 10 points d'indice. La température ne montre pas d'effet significatif.

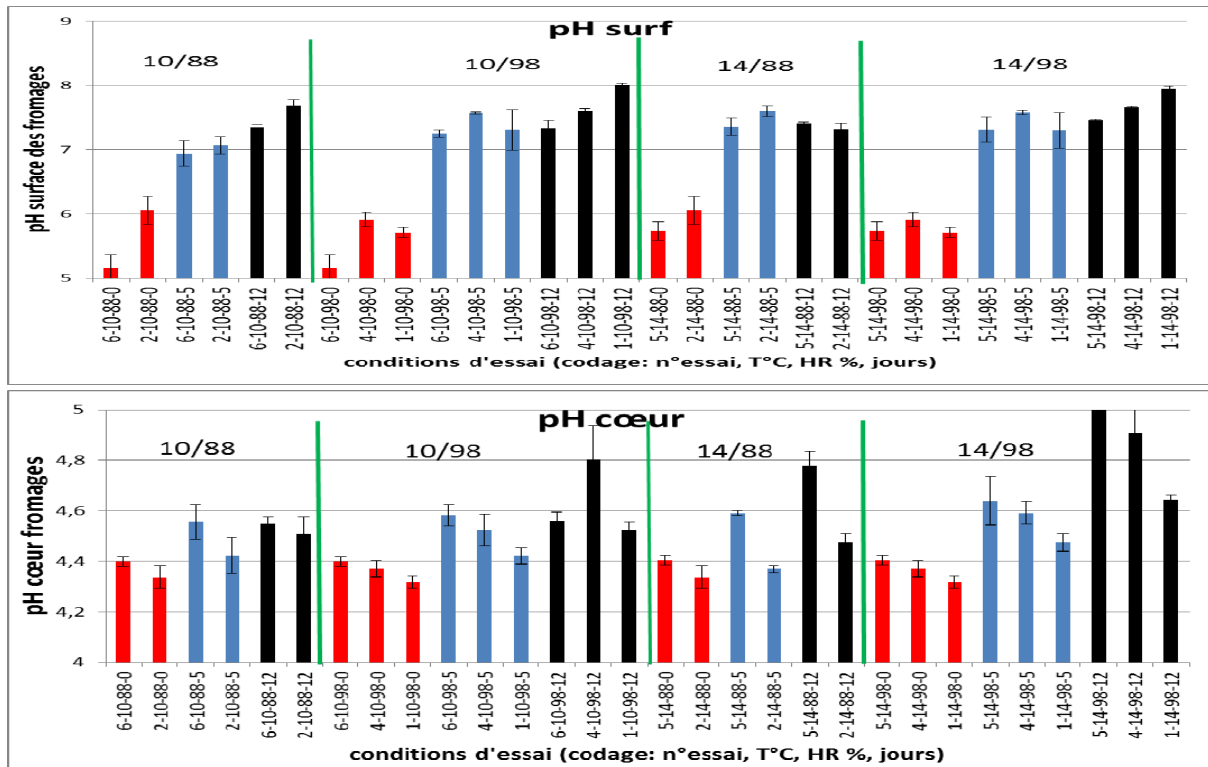


Figure F13 : Evolution du pH de surface et à cœur du fromage en fonction des conditions et du temps d'affinage et des fabrications

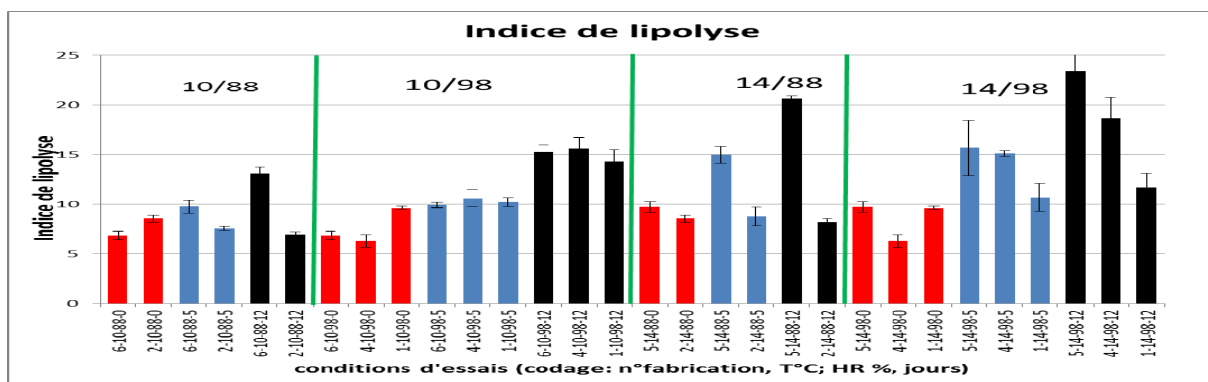


Figure F14 : Evolution de l'indice de lipolyse en fonction des conditions et du temps d'affinage et des fabrications

Le pourcentage d'azote non caséique (NNC) augmente en fonction du temps d'affinage (figure F15). Cette augmentation dépend de la fabrication considérée mais également des conditions mises en œuvre. A 10°C, un effet de l'humidité est noté, plus l'humidité est élevée, plus les niveaux atteints sont élevés. A 14°C, cet effet humidité n'est pas noté. Dans la gamme étudiée, la température ne montre pas d'effet significatif sur l'évolution de NNC. Les valeurs élevées d'HR favorisent le niveau de production de l'azote non protéique (NNP) qui atteint des valeurs supérieures de l'ordre de 5 à 7% à 98 % d'HR comparativement à 88 % (figure F16). La température n'a pas d'effet significatif. L'évolution de la sous croûte crémeuse confirme l'importance de l'HR pour l'évolution de la protéolyse (figure F17). Quelle que soit la température, la sous croûte crémeuse est plus importante à 98 % qu'à 88 % d'HR. La température a également un effet significatif sur l'évolution de ce paramètre.

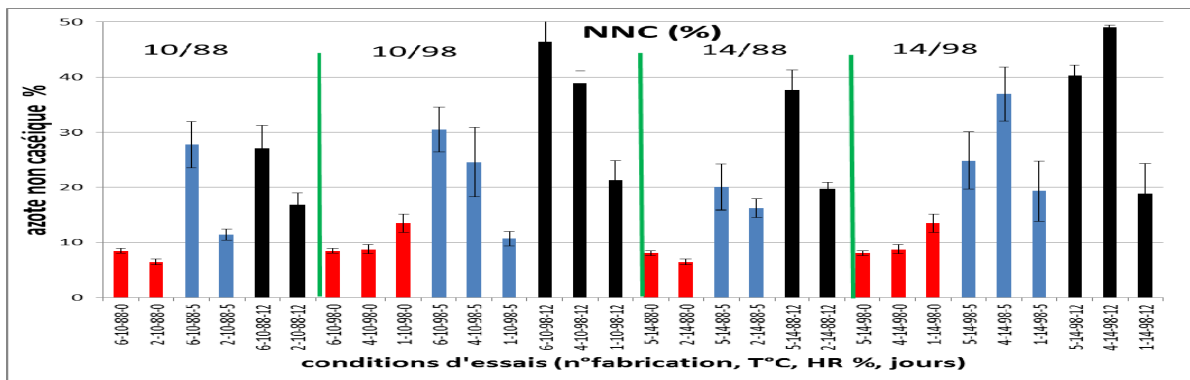


Figure F15 : Evolution des fractions azotées NNC en fonction des conditions et du temps d'affinage et des fabrications

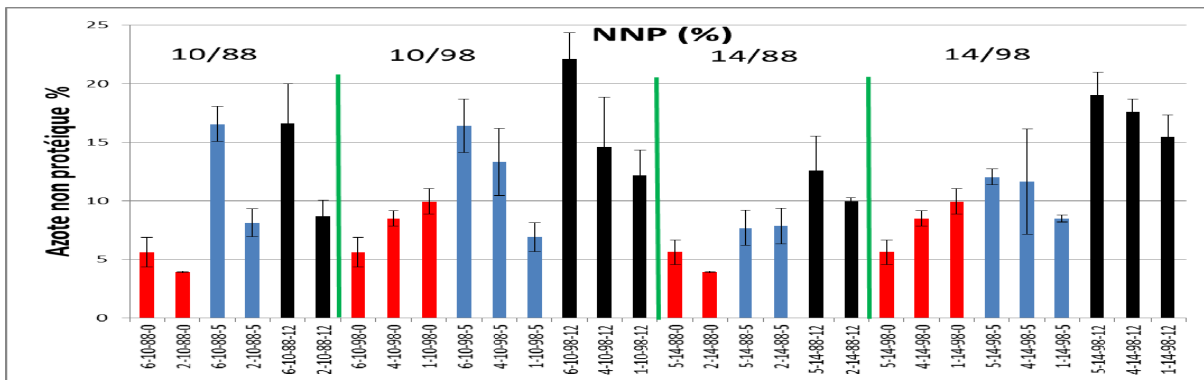


Figure F16 : Evolution des fractions azotées NNP en fonction des conditions et du temps d'affinage et des fabrications.

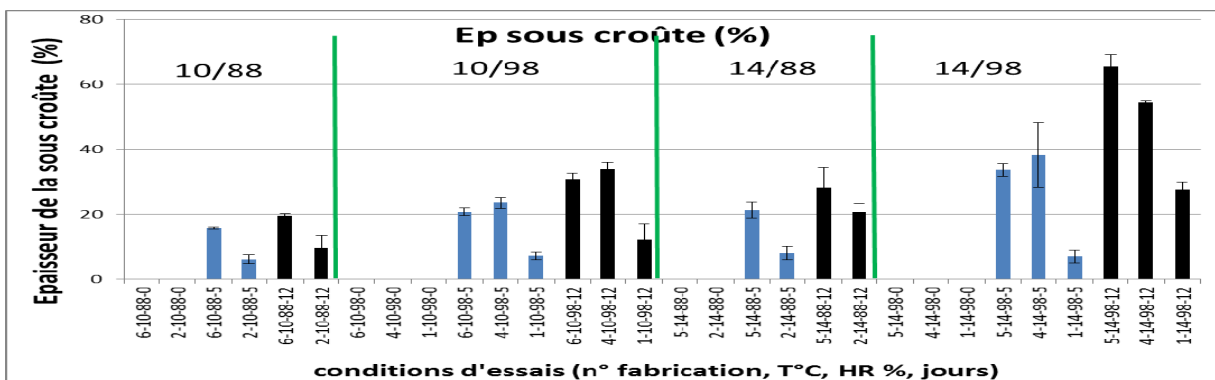


Figure F17 : Evolution de la sous croûte crémeuse en fonction des conditions et du temps d'affinage et des fabrications.

Parmi les trois grandeurs rhéologiques mesurées, cohésion, élasticité et dureté des fromages, seule l'évolution de la dureté est impactée par les conditions d'affinage (figure F18). Les fromages deviennent d'autant plus durs que l'humidité relative est basse. A 98 % d'HR, la dureté reste stable tout au long de l'affinage à 10 comme à 14°C. Par contre, elle connaît une importante augmentation à 88 % d'HR avec des valeurs qui doublent après 12 jours.

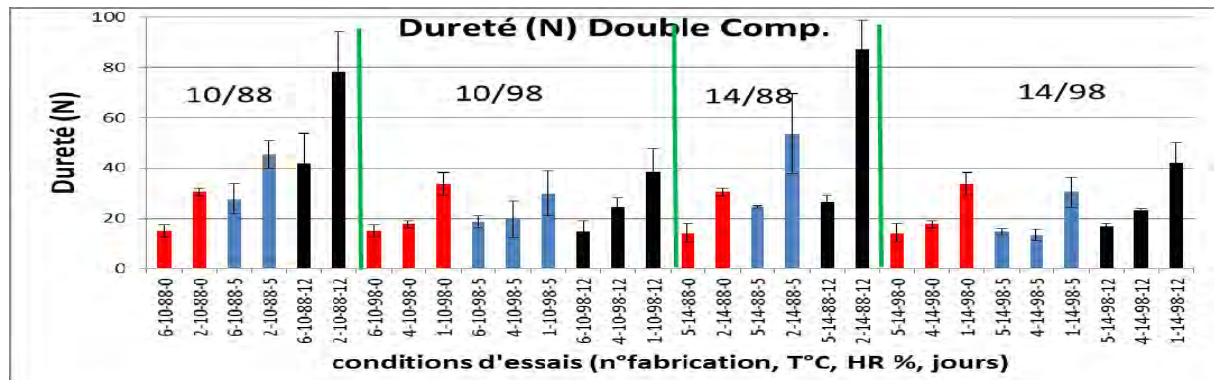


Figure F18 : Evolution de la dureté des fromages en fonction des conditions et du temps d'affinage et des fabrications.

EVALUATION SENSORIELLE

17 juges entraînés ont réalisé une analyse sensorielle des fromages affinés à 12 jours. 22 descripteurs ont été utilisés : 2 d'odeur, 7 d'aspect, 4 d'arôme, 2 de saveur et 7 de texture (rapport E, Le Jan, 2014).

Les figures F19 et F20 représentent les différences entre les notes attribuées par les juges et les écarts types pour chaque descripteur des fromages affinés à 10°C ou 14°C à humidité constante (88 % ou 98 %). Ces différences ne sont significatives que si l'écart type sur la valeur moyenne ne coupe pas l'axe des X.

A 88 % d'HR, aucun descripteur ne permet de distinguer les fromages affinés à 10°C ou 14°C. A 98 % d'HR, 2 descripteurs d'apparence sont retenus : l'aspect croûte fleurie plus important pour les fromages affinés à 10°C, l'aspect croûte plissée plus élevé pour les fromages affinés à 14°C. Une tendance avec des valeurs plus élevées à 14°C est notée pour l'odeur champignon, et les épaisseurs de croûte et de sous-croûte.

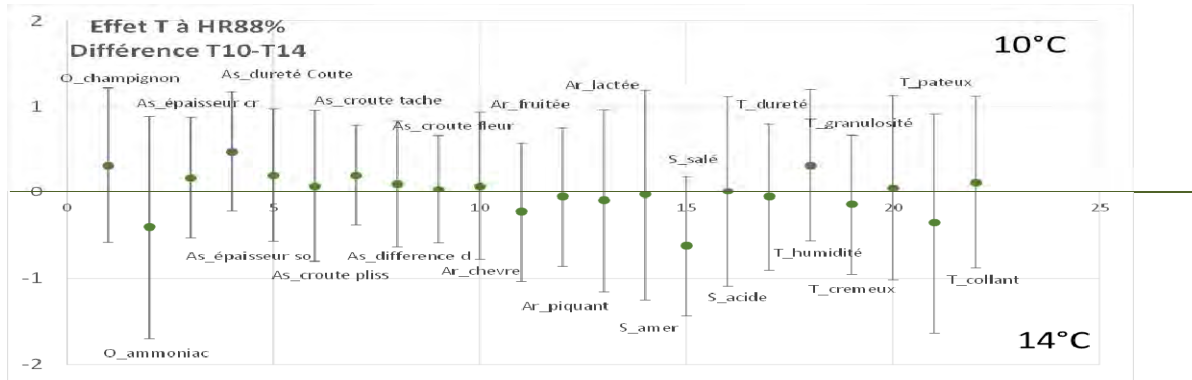
La différence d'HR entre les essais a permis de mettre en évidence des évolutions distinctes de plusieurs descripteurs (figures F21 et F22). Ainsi, à 10°C, les fromages affinés à 88 % d'HR sont perçus comme plus durs, alors que ceux affinés à 98 % d'HR sont perçus comme plus humides, avec un arôme lacté et une épaisseur de sous-croûte plus importante. A 14°C, les différences sur ces descripteurs sont accentuées. De plus, les fromages affinés à 88 % d'HR sont jugés en bouche comme plus granuleux, de texture plus pâteuse alors que ceux affinés à 98 % d'HR sont plus crémeux.

Pour compléter cette analyse graphique des résultats, une analyse de variance (ANOVA à trois facteurs (température, humidité relative, juges) et leurs interactions) sur les données du profil sensoriel a été réalisée (annexe 1).

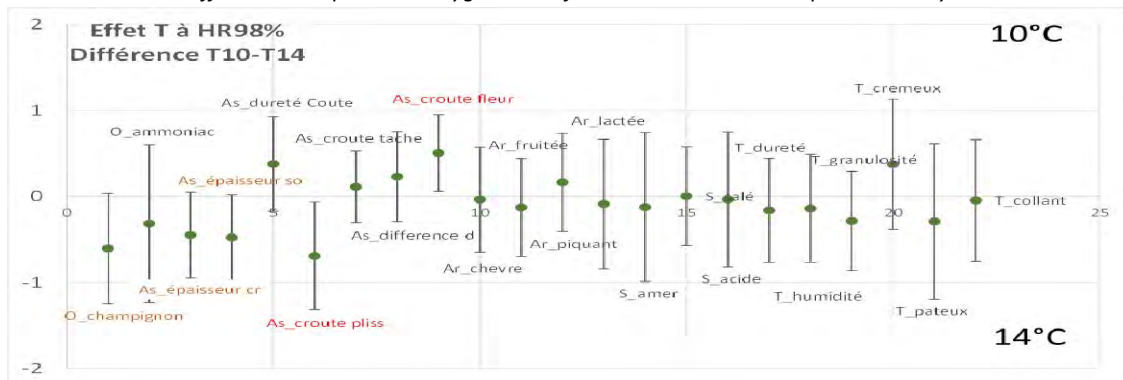
L'effet juge est significatif pour l'ensemble des descripteurs. Ce résultat est attendu en analyse sensorielle, soulignant la diversité des individus. Cet effet est donc pris en compte dans le modèle

d'ANOVA, ainsi que les interactions entre les juges et les autres facteurs, permettant de conclure sur les autres effets testés (température et humidité).

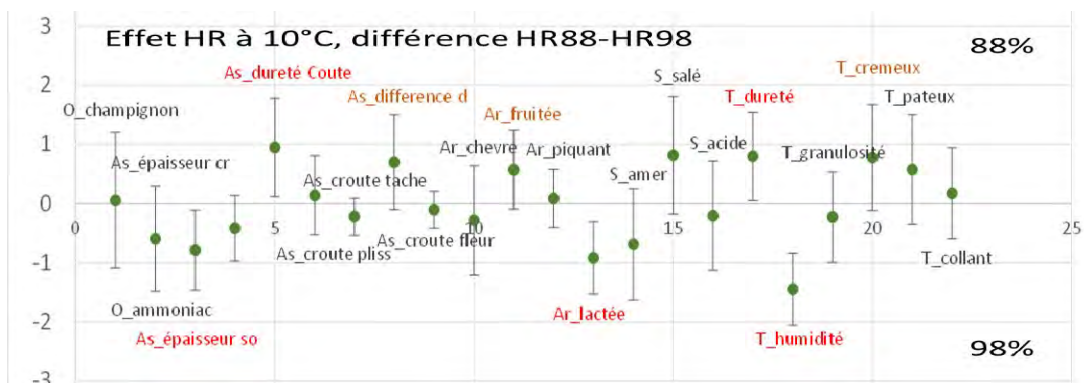
L'étude de l'interaction « température x humidité » montre un effet significatif pour trois attributs : dureté au couteau, croûte fleurie et granulosité en bouche. Pour étudier les résultats de ces trois attributs, il est nécessaire d'analyser les effets des conditions d'affinage sur les données obtenues pour chacune des températures séparément. Par contre, pour tous les autres attributs, présentant un effet interaction non significatif, l'effet de l'humidité sur les perceptions est similaire quelle que soit la température.



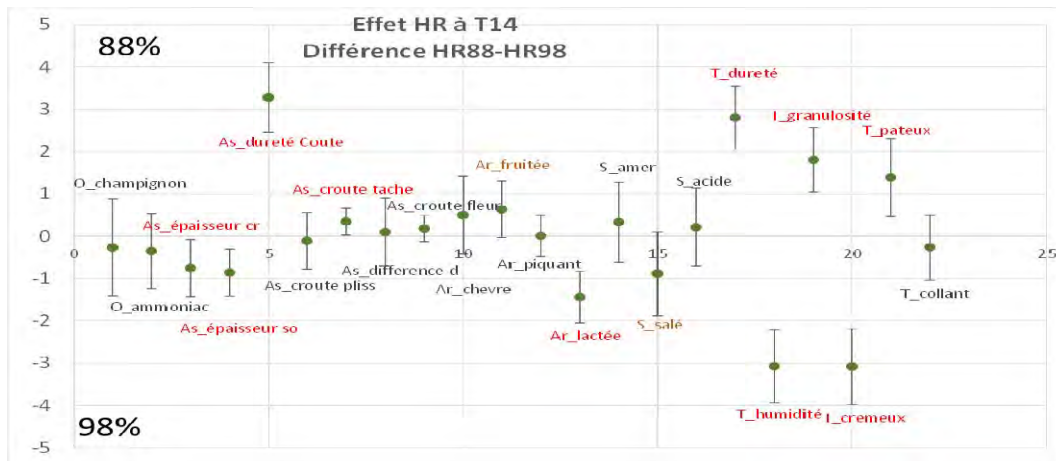
F19 : effet de la température à hygrométrie fixée à 88 % sur les descripteurs d'analyse sensorielle.



F20 : effet de la température à hygrométrie fixée à 98 % sur les descripteurs d'analyse sensorielle.



F21 : effet de l'hygrométrie à température fixée à 10°C sur les descripteurs d'analyse sensorielle.



F22 : effet de l'hygrométrie à température fixée à 10°C sur les descripteurs d'analyse sensorielle.

EFFET DU CO₂ SUR L'ACTIVITE RESPIRATOIRE, LA COMPOSITION PHYSICO-CHIMIQUE ET LA QUALITE ORGANOLEPTIQUE DES FROMAGES EN FONCTION DU TEMPS D'AFFINAGE

L'effet de trois concentrations en CO₂ (0 %, 2,5 % et 4,5 %) sur l'évolution des fromages a été mesuré lors d'affinage à 12 °C et 93 % d'HR. Les principales caractéristiques des fromages mis en œuvre sont les suivantes : Masse : 93±5 g ; taux de matière sèche 43,7 ± 2,3 % ; a_w 0,968 ± 0,003 ; pH surface 5,2 ± 0,3 ; pH cœur 4,40 ± 0,02 ; dureté 1,8 ± 0,1 N ; lactate 10,8 ± 0,7 g/kg fromage.

Les activités respiratoires, consommation d'O₂ et production de CO₂, sont comparables quel que soit le niveau de CO₂ dans la cellule d'affinage (figure 23 A).

Pour l'ensemble des paramètres physico-chimiques mesurés, les évolutions ont été identiques quel que soit le niveau de CO₂ dans la cellule d'affinage (figure 23 C à E).

Le taux de matière sèche est stable pendant les 5 premiers jours puis augmente de 3 à 4 % à J12. L'a_w ne montre pas d'évolution significative. Le pH de surface augmente fortement dans les 5 premiers jours, de 2 unités, et reste ensuite stable. A cœur, une légère augmentation de 0,2 unité est enregistrée entre J5 et J12. La dureté des fromages décroît principalement lors des 5 premiers jours. L'indice de lipolyse reste stable jusqu'à J5 puis augmente entre J5 et J12 pour atteindre une valeur double de celle mesurée à J0.

Les indicateurs de protéolyse, azote non caséique (NNC) et azote non protéique (NNP), augmentent régulièrement tout au long de l'affinage. NNC croît de l'ordre de 10 % ; NNP d'un peu plus de 3 %.

L'impact de la concentration en CO₂ a été évalué sur les qualités sensorielles des fromages. Des tests triangulaires ont été mis en place permettant de déterminer s'il existe une différence sensorielle perceptible entre les échantillons de deux produits. La méthode est une procédure à choix forcé.

Si le nombre de réponses correctes est supérieur ou égal au nombre donné dans le tableau de référence pour les tests triangulaires (correspondant au nombre de sujets et au niveau de risque α choisis pour l'essai), on peut alors conclure qu'il existe une différence perceptible entre les échantillons. Un seuil de 0,05 a été choisi. Les résultats sont reportés dans le tableau T6. Pour l'ensemble des tests, on peut conclure à l'absence de différences perçues significatives entre les fromages affinés sous 0 %, 2,5 % et 4,5 % de CO₂. Cependant, une tendance peut être notée pour la comparaison entre les fromages affinés à 0% et 4,5% au seuil de 0,1).

Tableau T6 : test triangulaire d'évaluation de différences sensorielles perceptibles entre les échantillons de deux fromages affinés sous différentes atmosphères en CO₂.

Atmosphère comparée (% de CO ₂)	0/2,5	2,5/4,5	0/4,5
Nombre de juges	28	28	28
Nombre de juges ayant perçus une différence	7	7	13

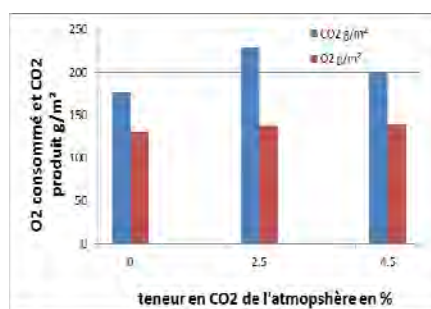


Figure 23 A : quantités d'O₂ consommé et de CO₂ produit à 12 jours en fonction des teneurs en CO₂ de l'atmosphère d'affinage.

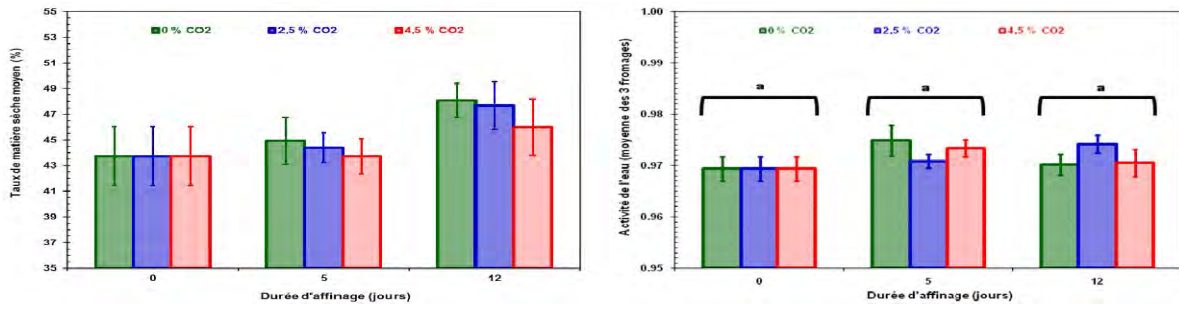


Figure 23 B : Evolution de l'extrait sec et de l' a_w en fonction du temps et des teneurs en CO_2 de l'atmosphère d'affinage.

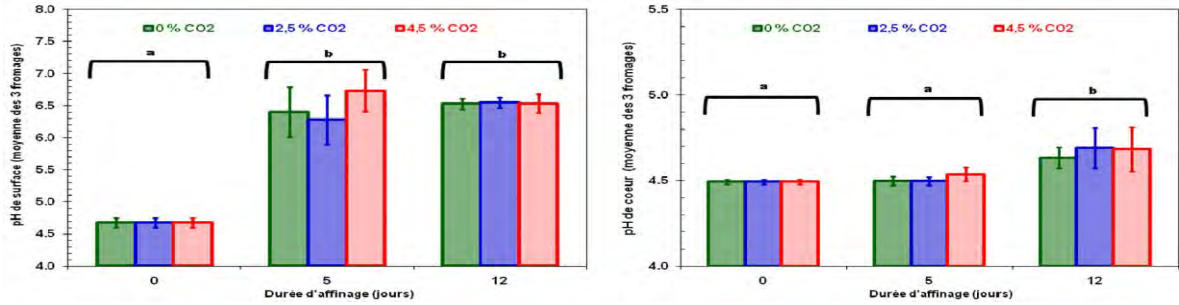


Figure 23 C : Evolution du pH de surface et à cœur en fonction du temps et des teneurs en CO_2 de l'atmosphère d'affinage.

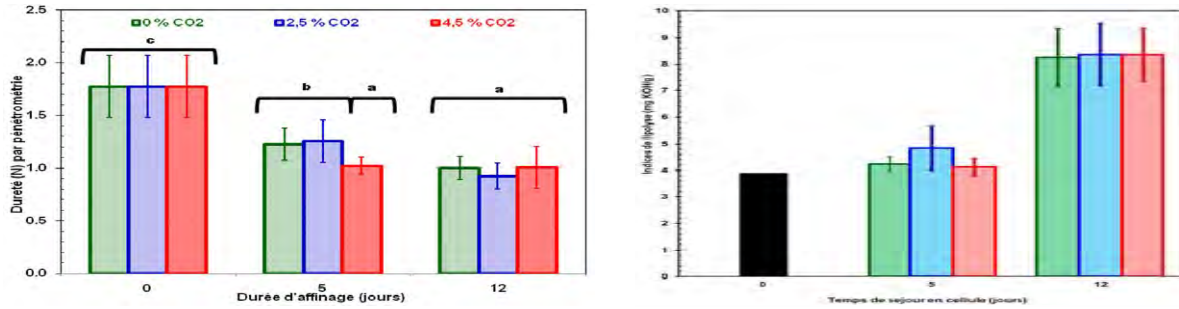


Figure 23 D : Evolution de la dureté et de l'indice de lipolyse en fonction du temps et des teneurs en CO_2 de l'atmosphère d'affinage

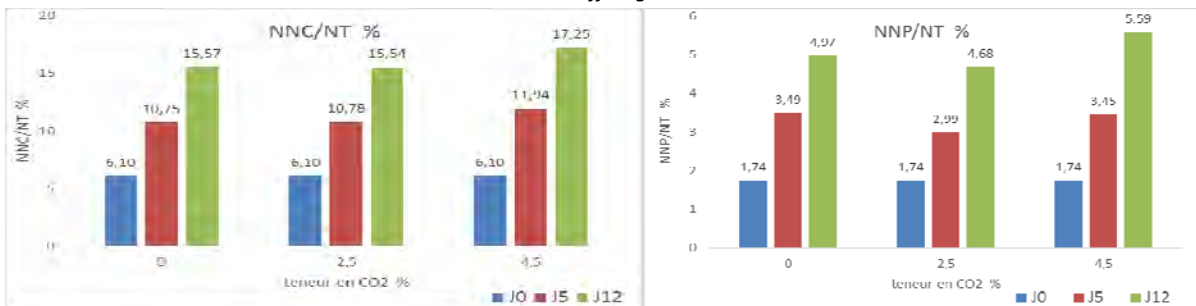


Figure 23 E : Evolution de l'azote non caséique (NNC) et de l'azote non protéique (NNP) fonction du temps et des teneurs en CO_2 de l'atmosphère d'affinage.

CONCLUSIONS SUR L'IMPACT DES PARAMÈTRES D'ENVIRONNEMENT SUR L'AFFINAGE

L'influence de la température (10°C – 14°C) de l'humidité relative (88 % – 98 %) et de la teneur en CO₂ (0 % – 2,5 % - 4,5 %) sur l'affinage de fromages lactique Picodons a été évaluée. Malgré une diversité des caractéristiques initiales des fromages en fin de séchage, plusieurs conclusions peuvent être émises sur le déroulement de l'affinage.

La mise en œuvre de différents teneurs en CO₂ n'a pas conduit à l'obtention de fromages différents tant en composition biochimique qu'en perception sensorielle.

L'augmentation de la température de 4°C a eu pour conséquence une augmentation de l'activité respiratoire de l'ordre de 17% et une augmentation plus rapide du pH de surface sur les 5 premiers jours d'affinage. Pour les autres paramètres, extraits sec, a_w, indice de lipolyse, protéolyse, les 4°C d'écart entre les deux conditions n'ont pas induit de différences notables. L'aspect de la croûte est légèrement modifié par le changement de température.

La variation d'HR, de 88 % à 98 %, a provoqué les modifications les plus importantes. L'activité respiratoire augmente de 30 % ainsi que l'activité protéolytique. Une diminution de l'HR de 98 % à 88 % entraîne une augmentation de la perte de masse (du simple au double), de l'extrait sec et de la dureté des fromages. Le pH, l'a_w et l'indice de lipolyse sont peu sensibles à ces modifications d'HR. Par contre, la perception sensorielle est fortement affectée par l'HR et, ce d'autant plus que la température augmente. A 88 % d'HR, les fromages sont perçus comme plus durs à la découpe et en bouche, à 98 %, plus humide avec un arôme lacté. A 14°C, d'autres descripteurs distinguent les fromages. A 88 % d'HR, leur texture en bouche est granuleuse et pâteuse alors qu'à 98 %, elle est crémeuse.

ACTION 2-2 EXPERIMENTATIONS EN FROMAGERIES EXPERIMENTALES (PRADEL ET POLIGNY)

EXPERIMENTATIONS AU PRADEL

PROBLÉMATIQUE & OBJECTIFS DE L'EXPÉRIMENTATION

PROBLÉMATIQUE:

Quels sont les effets des modifications de séchage couplées à deux ambiances d'humidité différentes dans les hâloirs sur les fromages (*pertes de poids, qualités organoleptiques et évolution des caractéristiques physico-chimiques*) ?

OBJECTIFS:

- 1) Augmenter l'humidité dans un des deux hâloirs afin d'atteindre une humidité relative d'environ 98 %
- 2) Recréer différents types de séchage en faisant varier la vitesse de l'air et la durée de séchage

Le schéma ci-dessous (figure F24) présente les différents objectifs initiaux de l'expérimentation conduite en 2015 au niveau du séchoir ainsi que dans les deux hâloirs. Il permet également de dégager les **six modalités** qui seront testées au cours de l'expérimentation :

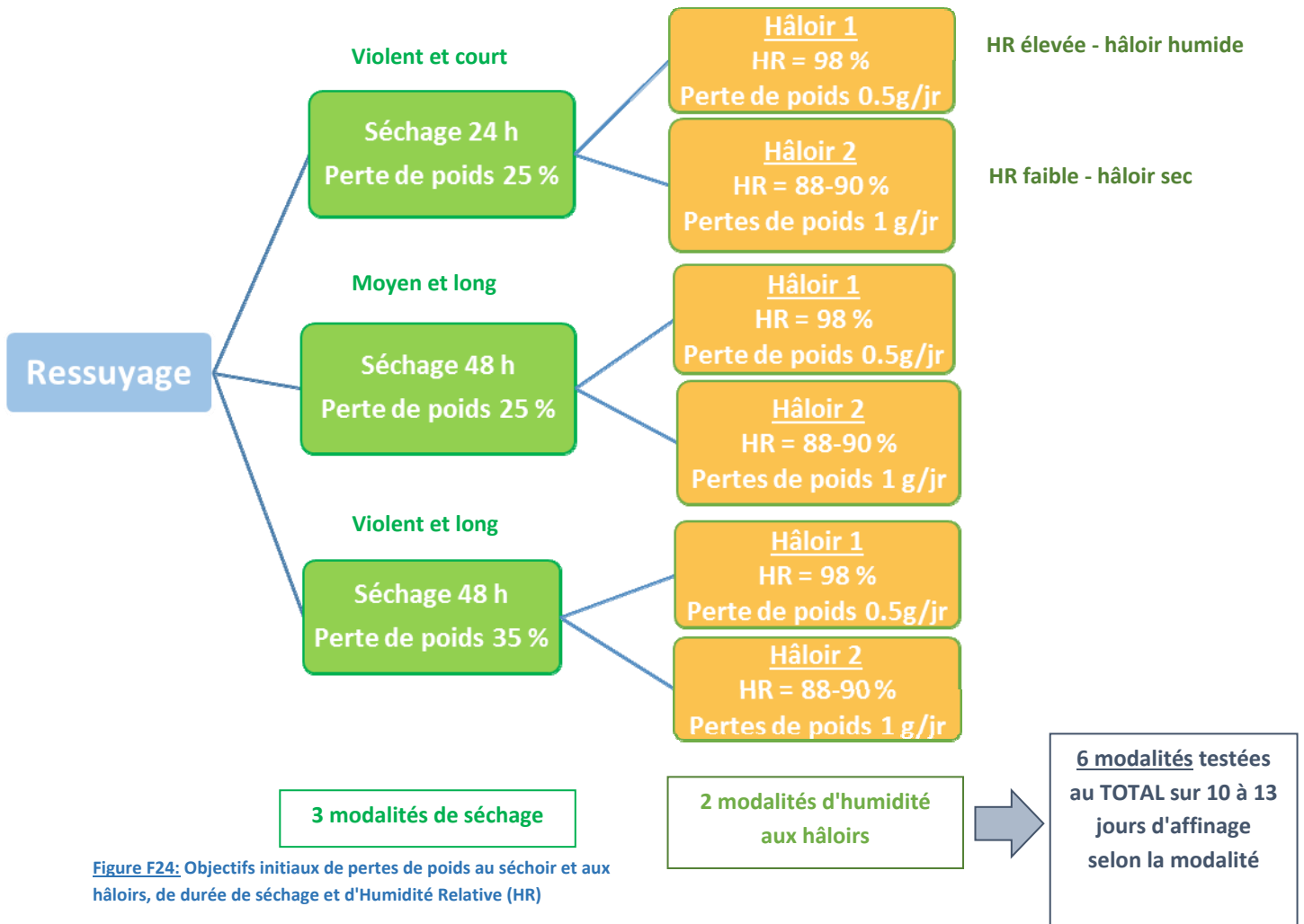


Figure F24: Objectifs initiaux de pertes de poids au séchoir et aux hâloirs, de durée de séchage et d'Humidité Relative (HR)

MATÉRIELS & MÉTHODES

PRÉ-TESTS ET MODIFICATIONS DU PROTOCOLE INITIAL

Avant de commencer les manipulations, des pré-tests ont été effectués durant plusieurs semaines afin de caler le protocole sur les différents paramètres s'appliquant au séchoir ainsi que dans les deux hâloirs.

1) Au séchoir:

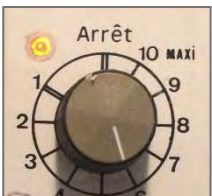


Figure F25: variateur de vitesse du tourniquet 3

Le séchoir de la station est doté de variateurs de vitesse d'air allant de 0 à 10 pour chaque colonne d'air située derrière chacun des quatre tourniquets (figure F25). En conditions habituelles de séchage et en pleine saison, ces variateurs sont globalement réglés sur 4.

Les deux principaux paramètres testés au cours de cette période ont été la **vitesse de l'air** au séchoir et la **durée de séchage** pour chaque modalité. Pour caler ces paramètres, de nombreuses pesées de fromages ont été réalisées à différents stades de fabrication afin de calculer les pertes de poids associées : poids moyens au démoulage, en fin de ressuyage, après 24h de séchage et après 48h de séchage.

Un test blanc a été, tout d'abord, conduit afin de vérifier les conditions habituelles de séchage présumées (**48h de séchage ; vitesse 4 ; perte de poids de 25 %**). Il a été appliqué sur 4 fabrications différentes, qui se composaient à chaque fois de deux piles de fromages distinctes. Pour ce test, la vitesse de l'air dans le séchoir a été réglée sur 4 pour chaque tourniquet. Et la durée totale du séchage était de 48h. Les résultats obtenus sont détaillés dans le tableau ci-dessous :

Tableau T7: pesées et pertes de poids moyennes en grammes pour les 4 fabrications testées en conditions habituelles présumées (48 h de séchage ; vitesse d'air = 4 ; perte de poids totale attendue en 48h = 25%)

	Poids moyen des fromages en grammes (g)				Pertes de poids moyennes (en g) au 1er jour séchage/2ème jour séchage/au total en 48H							
	démoulage	entrée séchoir	24h séchage	48h séchage	perte au ressuyage	%	perte après 24h de séchage	%	perte après le 2 ^{ème} jour de séchage	%	perte TOTALE de poids en 48H	%
Moyenne des 4 fabrications	143,95	128,23	102,26	83,82	17,25	11,98	25,97	20,21	18,43	18,01	44,40	34,57
Ecart-types des 4 fabrications	8,79	7,91	7,12	5,77	2,55	1,61	4,90	3,56	2,02	1,26	5,62	3,48

Les pré-tests blancs ont permis d'établir des pertes de poids d'environ **12 %** au ressuyage, de **20 %** après 24 h de séchage et de **18 %** après le second jour de séchage. Ils ont également permis d'ajuster nos hypothèses initiales de pertes de poids au séchage en 24h et 48h.

Ainsi, nous avons constaté qu'en conditions habituelles, les fromages perdaient en moyenne **35 % en 48h** et non pas 25% comme nous le présumions.

Par la suite, deux autres vitesses d'air ont été testées sur les fromages : V6 et V8 ; ceci, afin de déterminer une vitesse plus forte pour l'expérimentation (modalités de séchage 1 et 3 du protocole). A chaque fois, une fabrication comportait 2 piles de fromages qui ont été pesées aux mêmes stades de fabrication que pour le test blanc (démoulage, fin ressuyage, après 24h de séchage puis après 48h de séchage), et les vitesses d'air étaient également réglées à l'identique sur l'ensemble des tourniquets.

Aucun changement significatif de pertes de poids n'a été obtenu avec les vitesses d'air réglées sur 6 et 8. Il était à chaque fois impossible de perdre 35% en 24h (modalité 1). La vitesse d'air forte finalement retenue a été la **vitesse maximale** applicable au séchoir, soit **V10**. A noter, qu'elle n'a pas pu être testée par manque de temps, et a donc été retenue par défaut afin d'obtenir une perte de poids maximale présumée $\geq 35\%$ en 24 et 48h (modalités 1 et 3).

Suite à ces pré-tests au séchoir, les objectifs de perte de poids ont donc été modifiés pour chaque modalité de séchage comme ci-dessous (figure F26).

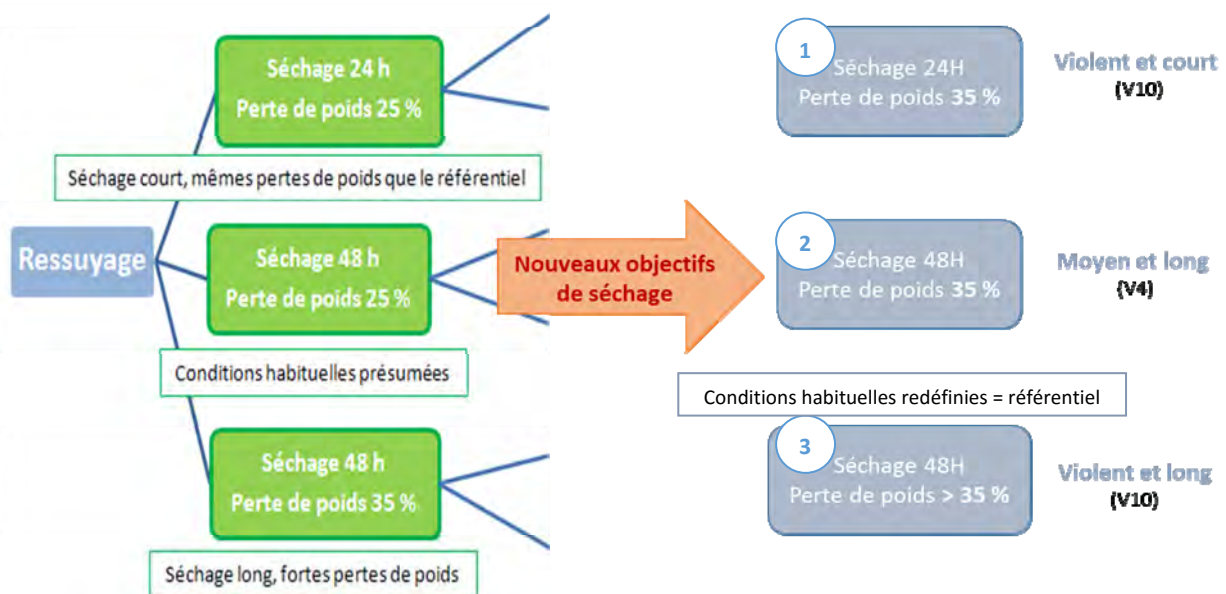


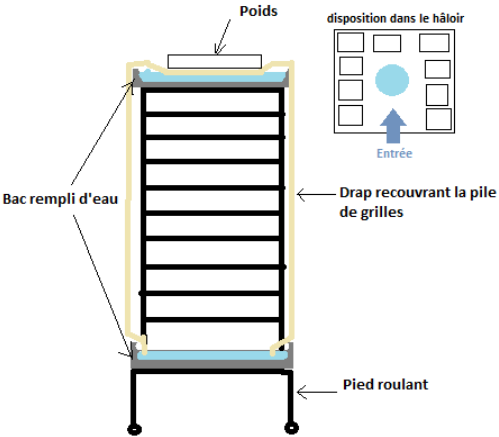


Figure F26 : Modifications des objectifs de pertes de poids au séchage suite aux résultats obtenus lors des pré-tests


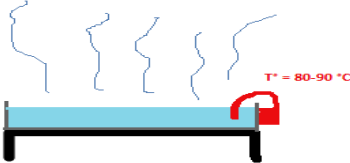
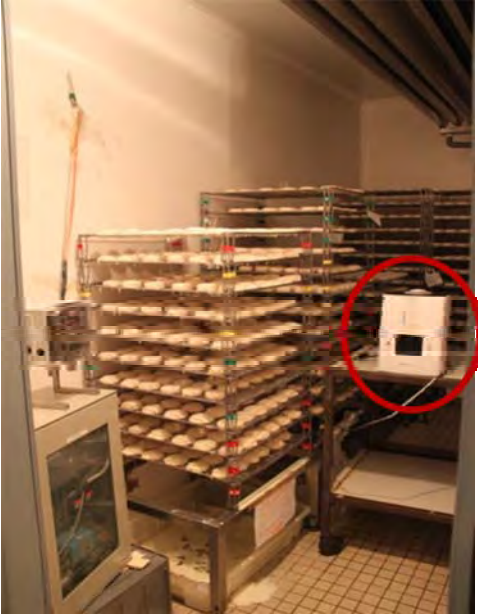

2) Aux hâloirs :

Le but de ces pré-tests était de définir une méthode permettant d'augmenter l'humidité relative (HR) dans un des deux hâloirs afin de se rapprocher au maximum de **98 à 100 %** d'humidité, avec un objectif de perte moyenne de poids de **0,5 g/jour/fromage** (contre **1 g/jour/fromage** dans le hâloir sec).

Pour ce faire, **5 méthodes** ont été testées les unes après les autres dans le hâloir N°1 (H1), défini comme le hâloir humide. Pour chaque méthode, deux pesées étaient réalisées en début et en fin de semaine (mardi après-midi et vendredi avant l'emballage) sur chaque pile présente dans H1 (sauf nouvelle pile entrante en cours de semaine et donc non pesée le mardi). Des prototypes d'enregistreurs autonomes (« SACHA »), fournis par l'INRA-GMPA, permettaient d'enregistrer en continu la température et l'humidité relative dans la pièce. Le tableau qui suit présente chaque méthode testée et les résultats de pertes moyennes de poids obtenus dans H1:

Tableau T8 : Synthèse des 5 méthodes testées pour augmenter l'HR dans le hâloir et pertes moyennes de poids (en g/j/fromage) obtenues

Photo/schéma du dispositif	Méthode et objectifs	Perte moyenne de poids (g/jour/fromage)	Ecart Type
	Pas de modifications = référence hâloir sec (H1)	1,14	0,10
	Seaux d'eau de 10L (puis 20L) jetés à même le sol. Test mis en place en 2014, non re-testé en 2015 car non concluant.	Pertes non significatives	-
	 <p>Colonne humidificatrice mobile</p> <p>Pied roulant sur lequel sont empilées des grilles vides par dessus lesquelles est placé un drap, humidifié via un bac d'eau situé au sommet de la colonne et trempant dans un second bac situé en bas, afin que le drap reste imbibé d'eau constamment.</p>	0,76	0,08
	<p>Bacs d'eau froide (30 à 40L)</p> <p>2 bacs d'eau ont chacun été placés sous une pile de fromages dans H2 afin de tester l'efficacité de l'apport d'humidité dans l'air par évaporation de l'eau.</p>	0,95	0,47

	<p>Bac d'eau avec résistance (T°eau = 80 - 90 °C)</p> <p>Bac d'eau chauffée via une résistance à environ 80 - 90 °C permettant de produire de la vapeur d'eau se dégageant en continue dans le hâloir.</p> 	<p>0,46</p>	<p>0,40</p>
	<p>Humidificateur d'air "AIR NATUREL CLEVAIR"</p> <p>Caractéristiques:</p> <p>Humidificateur à ultrasons</p> <p>Diffusion en continue</p> <p>Volume du réservoir : 5 L</p> <p>3 débits d'air différents (mini, moyen, maxi)</p> <p>Possibilité d'atteindre HR ≥ 90 %</p> 	<p>0,42</p>	<p>0,25</p>

Les pertes de poids/jour/fromage mesurées lors de ces tests, que ce soit en conditions sèches (pas de modifications) ou humides (apport d'eau ou de vapeur d'eau dans le hâloir), sont sujettes à de fortes variations, souvent **≥ 10 %**. Cela est sans doute lié à des différences de caractéristiques au niveau de la matrice entrante, et à l'impossibilité de les contrôler totalement du fait que l'on travaille avec une matière vivante.

Néanmoins, la méthode du bac d'eau avec résistance montrait d'assez bons résultats de pertes de poids mais elle dégageait trop de vapeur d'eau qui condensait très vite et formait de grosses gouttes d'eau sur l'évaporateur, ce qui mouillait les fromages. La méthode qui a donc été retenue pour la mise en place du protocole est **l'humidificateur d'air**, car elle répondait au mieux aux objectifs de pertes moyennes de poids (- **0,5 g/jour**) et restait la moins contraignante à mettre en place : gouttelettes d'eau fines, volume de place limité, suivi quotidien facile.

Le hâloir N°2 est resté le hâloir de référence : atmosphère sèche (HR= 85-90 %). Les pertes de poids mesurées dans ce hâloir étaient de l'ordre de **1 à 1,2 g/jour/fromage** en moyenne. Le 2nd SACHA était également disposé dans ce hâloir afin d'enregistrer la température de la pièce et son HR.

A la fin de cette période de pré-tests (environ un mois et demi), les objectifs de pertes moyennes de poids au séchoir ont été modifiés et la méthode de l'humidificateur d'air a été retenue pour augmenter l'HR du hâloir 2.

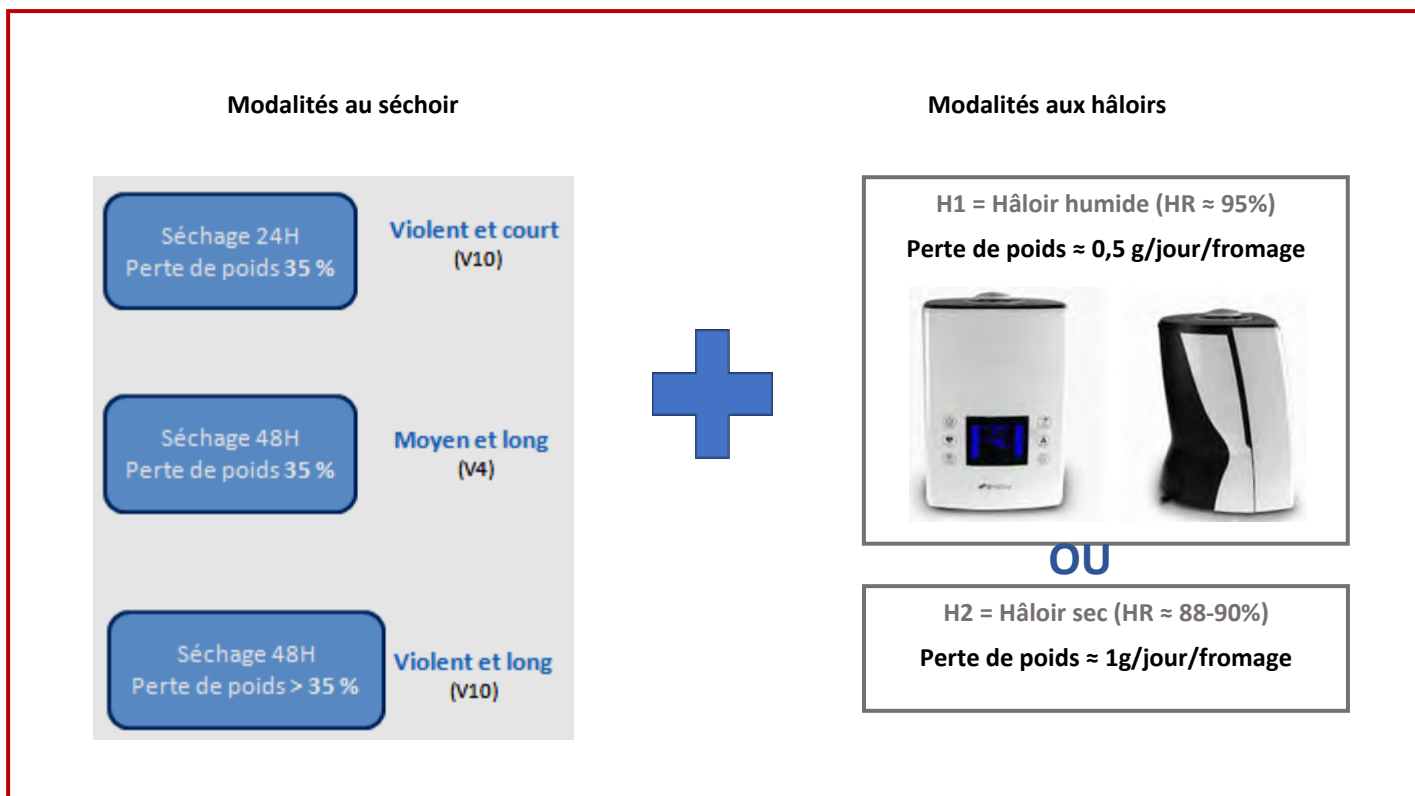


Figure F27 : modalités testées lors de l'expérimentation (durée de séchage ; HR du hâloir ; vitesse d'air de séchage).

II. Modalités et analyses physico-chimiques réalisées

Les 6 modalités de l'expérimentation sont détaillées dans le tableau T9 ci-dessous:

Tableau T9 : Tableau des 6 modalités testées lors de l'expérimentation (durée de séchage ; HR du hâloir ; vitesse d'air de séchage).

Code de la modalité	Durée de séchage (h)	Humidité Relative du hâloir (%)	Vitesse d'air
48_95_4	48	95	V4
48_88_4	48	88	V4
48_95_10	48	95	V10
48_88_10	48	88	V10
24_95_10	24	95	V10
24_88_10	24	88	V10

La modalité 48_88_4 (bleu) correspond aux conditions de séchage et d'affinage habituelles de la station du Pradel, à savoir : 48 heures de séchage, vitesse 4, hâloir sec (HR = 88-90%). Chaque modalité de séchage (long ou court et violent ou moyen) est ensuite séparée entre les deux hâloirs (H1= humide = HR à 95% et H2 = sec = HR à 88 %) afin de tester également l'effet de l'humidité relative sur les fromages.

Tout au long de la fabrication des fromages en expérimentation, plusieurs analyses physicochimiques ont été réalisées, ainsi que des pesées globales et individuelles de fromages, des pH de surface et à cœur et des observations (extérieur et coupe de fromages) :

Tableau T10 : nombre et types d'analyses physicochimiques effectuées en mix; pesées, pH et observations réalisées selon la date de prélèvement

date prélèvement	Extrait Sec	Matière Grasse	sel	pesées indiv. et globales	pH (<3 et surface)	observations
J0 (démoulage)	6	6		X	X	X
J1 (entrée séchoir)	6			X	X	X
J2-3 (sortie séchoir/entrée hâloir)	6			X	X	X
J7 (milieu d'affinage)				X	X	X
J14 (sortie hâloir)	6	6	6	X	X	X
Total analyses/fab	24	12	6			
Total analyses expé (3 fab)	72	36	18			

Analyses physicochimiques réalisées : extrait sec (ES), matière grasse (MG) et sel

Le **tableau T10** récapitule, pour chaque date de prélèvement, quelles analyses (sur un broyat de 3 fromages) ont été faites sur les fromages parmi lesquelles es pesées globales et individuelles, les pH de surface et à cœur ainsi que les observations.

A **J0**, tous les fromages de la fabrication suivie sont identiques et répartis au nombre de 30 fromages par grille. Il y aura donc, au stade ressuyage, deux piles de fromages en salle de moulage, comme en conditions habituelles. Les fromages sont pesés globalement, puis **18 fromages** sont prélevés et pesés individuellement, observés et un pH à cœur est réalisé sur 6 d'entre eux.

A **J1**, les fromages sont resserrés (36 fromages par grille au lieu de 30) puis répartis dans les 6 modalités soit, **3 grilles de 36 fromages (en moyenne) pour chaque modalité**. Les fromages sont répartis ainsi essentiellement pour des raisons de logistiques au niveau du séchoir pour le bon déroulement de l'expérimentation. Ils seront retournés comme en conditions habituelles, mais ne seront plus resserrés ou changés de place sur la grille.

A chaque date de prélèvement (J0, J1, J2-3, J7 ou J14), l'ensemble des fromages de chaque modalité est pesé pour obtenir un poids moyen par modalité (pesée globale). Chaque modalité est donc composée de trois grilles de fromages. Ainsi, 3 fromages sont ensuite prélevés par modalité (1 fromage/grille) et pesés individuellement, observés et des pH à cœur et de surface sont réalisés sur chacun. Ces trois fromages seront regroupés dans un même sac de congélation codé selon la modalité et la fabrication, pour être analysés en broyat des 3 fromages au laboratoire (ES, MG et/ou sel selon la date de prélèvement).

A la fin de l'expérimentation, une dégustation a été organisée avec les membres de la ferme, afin d'observer et de noter les critères organoleptiques des fromages des différentes modalités. Le jury était composé de 10 personnes qui connaissaient toutes les caractéristiques principales d'un Picodon. Les critères notés portaient sur l'odeur, l'aspect général et interne, les arômes, la structure et la saveur des fromages. Toutes les modalités ont été observées puis notées par groupe de 2-3 personnes, selon une grille de dégustation. Un tour de table était ensuite réalisé afin de synthétiser les résultats.

DÉROULÉ DE L'EXPÉRIMENTATION

Tableau T11 : Planning d'expérimentation et suivi des 3 fabrications (prélèvements, pesées, prises de pH et observations)

	Samedi	Dimanche	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche	Lundi	...	Lundi
	02/05/2015	03/05/2015	04/05/2015	05/05/2015	06/05/2015	07/05/2015	08/05/2015	09/05/2015	10/05/2015	11/05/2015	...	18/05/2015
Préparation du lait	Expé FAB 1	Expé FAB 2	Expé FAB 3									
Moulage		Expé FAB 1	Expé FAB 2	Expé FAB 3								
Démoulage/ressuyage			Expé FAB 1	Expé FAB 2	Expé FAB 3							
1er jour de séchage				Expé FAB 1	Expé FAB 2	Expé FAB 3						
2ème jour de séchage	Modalités de la FAB 1 restant 48h au séchoir				Expé FAB 1	Expé FAB 2	Expé FAB 3	Affinage des 3 fabrications Expé jusqu'au 18/05/2015				
Hâloir 1	Modalités de FAB 1ne restant que 24h au séchoir				Expé FAB 1	Expé FAB 2	Expé FAB 3					
Hâloir 2					Expé FAB 1	Expé FAB 2	Expé FAB 3					

Prélèvements de fromages et/ou pesées, prise de pH et observations: **J0, J1, J2-3, J7 et J14.**

Pour chaque fabrication expérimentale, il y a une entrée dans les hâloirs **après 24h de séchage (modalités 24_95_10 et 24_88_10)** puis une entrée dans les hâloirs **après 48h de séchage (modalités 48_95_4, 48_88_4, 48_95_10 et 48_88_10)** => cf. **exemple en rose pour la FAB 1.**

Tableau T12 : détails de moulage sur les 3 fabrications d'expérimentations.

	N° de fabrication	Rendement utilisé	Nombre de fromages	Poids moyen/fromage au démoulage (g)	Nombre de grilles supplémentaires (hors expé)*	Nombre de fromages supplémentaires (hors expé*)	Nombre de fromages supplémentaires après resserrage
FAB expé 1	122	0,61	689	137,4	5	5 x 30 = 150	23
FAB expé 2	123	0,62	656	139,77	4	3 x 30 + 26 = 116	2
FAB expé 3	124	0,63	632	136,01	4	7+30+30+25 = 92	73

***hors expé**: Cette appellation désigne les grilles de fromages et les fromages qui suivront une conduite de fabrication dans les conditions technologiques habituelles de la station. Ils subiront par défaut les modifications de séchage et iront tous s'ajouter, après identification via leurs numéros de fabrications, aux Picodons normaux du hâloir 1, car issus de laitsensemencés avec du lactosérum.

Le **tableau T11** présente le planning de l'expérimentation. Il détaille le suivi des trois fabrications ainsi que les dates de prélèvements, de pesées, de prise de pH et d'observations (cf. **tableau T10**) en reprenant les précédentes explications.

Le **tableau T12** récapitule les caractéristiques de moulage des trois fabrications (N° de fabrication, rendement, nombre de fromages, poids moyen au démoulage). Il permet également d'expliquer la répartition des fromages notamment en fin de ressuyage que l'on verra par la suite.

La mise en place des protocoles expérimentaux a débuté le 02 mai 2015 et s'est terminée le 18 mai (période de monotraite). Le travail en fromagerie a été effectué avec l'aide de Sylvie Morge (PEP Caprin), de Véronique Debesse (fromagère Pradel) et d'Elisa Gomez, stagiaire de l'ENILBIO de Poligny en licence professionnelle, et a fait l'objet d'un rapport sur lequel nous nous appuyerons pour traiter la partie analyses et résultats de l'expérimentation.

A chaque fois, les 6 modalités ont été testées sur une fabrication journalière entière de Picodons et répétées trois jours de suite, de telle sorte que le lait soit le plus comparable possible au niveau de sa composition chimique (Taux Butyreux (TB), Taux Protéique (TP), cellules et urée) pour chaque fabrication expérimentale.

Cela a également permis de mettre en place de lourdes modifications des paramètres du séchoir et des hâloirs sur une plus courte durée (1 seule semaine), afin de ne pas trop perturber la fabrication non expérimentale des fromages, conduite en parallèle.

Chaque lait de fabrication expérimentale, issu de monotraite, a étéensemencé en lactosérum frais (repiqué d'un jour sur l'autre), à une température d'environ 18 °C. Il a ensuite suivi le schéma technologique habituel de la station :

- 1) Ensemencement (1,5 à 2 %) et emprésurage (8 mL de présure à 520 mg chymosine/L /100L de lait;) directs,
- 2) Caillage en 24h,
- 3) Moulage en multimoules. 1^{er} retournement 2h après moulage puis 24h d'égouttage en moules sur table,
- 4) Salage et démoulage puis ressuyage sur grilles pendant 24h,
- 5) Retournement puis séchage (24h ou 48h selon la modalité),
- 6) Retournement avant d'entrer au hâloir (H1 ou H2) pendant plus ou moins 9 jours (14 jours minimum d'affinage à partir de l'ensemencement du lait pour que le fromage soit classé « Picodon »).

Remarque: durant la période d'expérimentation, la fabrication des fromages lactiques était toujours perturbée par **une forte présence de levures** se manifestant par une odeur d'alcool et de pomme en salle de moulage et au séchoir, des problèmes de repiquage du lactosérum, un caillé plutôt mou et peu agréable à mouler donnant des fromages fragiles, très friables au démoulage et des trous dans la pâte. L'égouttage durant l'expérimentation et, donc, les pertes de poids aux différents stades ont donc pu être perturbées par ce problème de levures.

1) Adaptation logistique à partir de J1

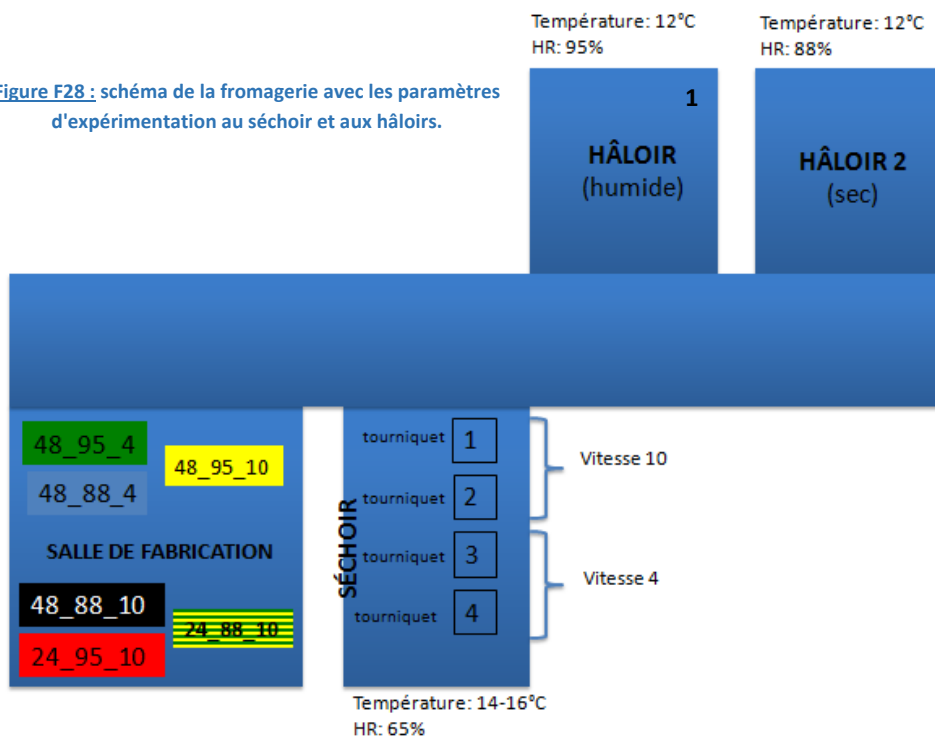
Chaque modalité comporte 3 grilles et il y a 6 modalités au total, soit 18 grilles expérimentales. Or, pour chaque fabrication, il y avait plus de 18 grilles moulées, donc des grilles et des fromages supplémentaires qualifiés "hors expérimentation" (ou "hors expé") dans le **tableau 5** (voir p.7).

A l'entrée au séchoir (J1), nous avons été obligés de resserrer les fromages pour pouvoir répartir les différentes modalités sur les tourniquets selon la vitesse d'air correspondante. Les grilles expérimentales sont donc passées de 30 à 36 fromages pour chaque modalité en fin de ressuyage et juste avant d'entrer au séchoir. Les fromages utilisés pour compléter ces grilles expérimentales au resserrage provenaient des grilles supplémentaires "hors expérimentation".

Pour la fabrication N°124, lors du resserrage, il n'y avait pas assez de fromages pour que toutes les grilles de chaque modalité contiennent 36 fromages. Ainsi, après le prélèvement de 18 fromages, nous n'avons pas resserré les grilles expérimentales et les fromages supplémentaires "hors expérimentation" restants (73 fromages) ont tous suivi le schéma traditionnel de fabrication.

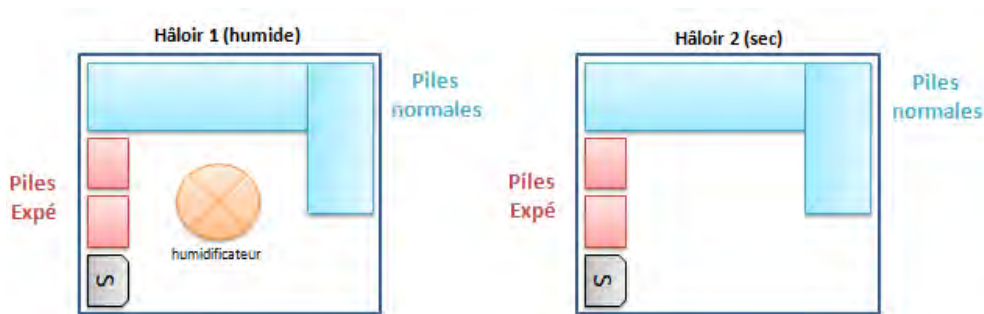
2) Disposition des modalités dans le séchoir et les hâloirs : J1 à J14

Figure F28 : schéma de la fromagerie avec les paramètres d'expérimentation au séchoir et aux hâloirs.



Les schémas ci-contre permettent de modéliser la fromagerie et son organisation durant la période d'expérimentation, notamment au séchoir et dans les deux hâloirs (figure F28 et F29).

Au séchoir (figure F28), les deux premiers tourniquets (N° 1 et 2) étaient réglés sur la vitesse d'air maximale (V10), alors que les tourniquets N° 3 et 4 étaient réglés sur V4. Le seuil bas de régulation de l'humidité a été descendu à 65 % au lieu de 75 % en conditions habituelles.

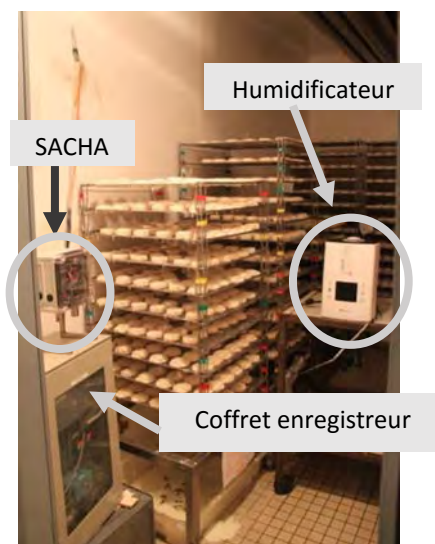


Dans les hâloirs 1 et 2, les fabrications expérimentales ont tenu sur deux piles placées à l'entrée, et où chaque modalité était empilée au fur et à mesure des sorties du séchoir. Un SACHA a été placé dans chaque hâloir juste à côté des fromages expérimentaux. Les coffrets enregistreurs ont également été

Figure F29 : Disposition des piles expérimentales, des SACHAS et des caissons enregistreurs dans les deux hâloirs.

utilisés durant cette période (température, hygrométrie de la pièce, O₂ et CO₂) afin de comparer les données obtenues avec celles des SACHAS. Dans le hâloir 1 (humide), un humidificateur a été rajouté au milieu de la pièce, placé à mi-hauteur sur un chariot roulant (cf. photo ci-contre). Il était rechargé au moins une fois par jour (5 L) et réglé en continu sur le débit mini à moyen en fonction de l'humidité observée dans ce hâloir.

Les schémas en annexe 2 permettent de comprendre la disposition des modalités dans le séchoir au fur et à mesure de l'expérimentation, ainsi que les différentes entrées dans les hâloirs.



RÉSULTATS OBTENUS

PERTES DE POIDS

A chaque étape de fabrication, nous avons établi des objectifs de pertes de poids, en s'appuyant à la fois sur des résultats d'essais en laboratoire effectués par l'INRA, sur des résultats d'enquêtes conduites en exploitations ou encore sur les pré-tests réalisés à la station du Pradel.

Pour le ressuyage, les objectifs de pertes de poids étaient fixés à 10% en 24h. Au séchoir, l'objectif principal était de montrer que la vitesse d'air peut compenser une durée de séchage donnée. Ainsi, en 24h avec une vitesse d'air forte (V10), nous voulions obtenir des pertes au moins égales à un séchage moyen (V4) en 48h. Suite aux pré-tests, les 3 modalités de pertes objectivées au séchoir étaient donc :

- de 35% en 24h avec une vitesse forte (V10)
- de 35% en 48h avec vitesse moyenne (V4)
- de plus de 35% en 48h avec une vitesse forte (V10).

Aux hâloirs, les objectifs de pertes de poids étaient fixés à 0,5 g/jour/fromage dans le hâloir humide (H1) et de 1 g/jour/fromage dans le hâloir sec (H2).

1) Au ressuyage

Les pertes obtenues en moyenne pour les trois fabrications au ressuyage, sont de 10%. Elles répondent donc à nos objectifs initiaux. Cela dit, nous avons observé d'importants écarts-types qui sont dus à de fortes dispersions de valeurs de pertes de poids entre les fabrications (pertes globales aux alentours de 5 % pour la fabrication 1, de 10 % pour la fabrication 2 et de 15 % pour la fabrication 3).



Figure F30 : Pertes moyennes de poids pour les 3 fabrications au ressuyage.

2) Au séchoir

Globalement, nous avons constaté des pertes importantes au séchoir.

Pour les modalités 48h, les pertes de poids sont comprises entre 30 et 35% environ, mais sans réelles différences entre l'application de la vitesse forte (modalités jaune et noir) et de la vitesse faible (modalités bleu et verte). Nous ne sommes donc pas arrivés à obtenir des pertes supérieures à 35% en 48h de séchage violent (V10), comme espéré.

Pour la modalité 24h/V10 (rouge et orange) les pertes observées ne sont que de 15% en moyennes pour les 3 fabrications. Nous sommes donc loin des 35% de pertes espérés initialement.

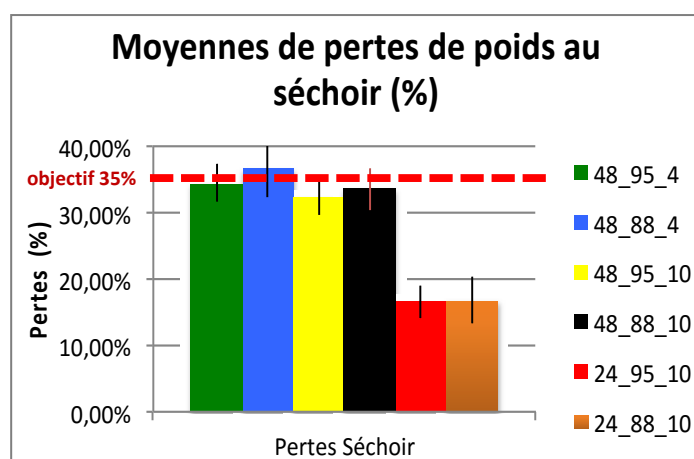


Figure F31: Pertes moyennes de poids pour les 3 fabrications au séchoir

Il semble y avoir un facteur limitant la perte de poids au séchoir malgré l'augmentation de la vitesse d'air (séchage violent). A cette étape encore, nous observons des variations importantes de pertes de poids entre les trois fabrications pour chaque modalité de séchage appliquée.

3) Aux hâloirs

Pour chaque modalité, les pertes moyennes observées dans le hâloir sec (H2) sont plus importantes que dans le hâloir humide (H1)(cf. [tableau T13](#)). L'effet significatif de l'humidificateur sur les pertes de poids au hâloir est donc avéré.

Globalement pour les modalités « 48h de séchage », les objectifs de pertes de poids pour les deux hâloirs ont été atteints (cases vertes du [tableau T13](#)), à l'exception des modalités verte et bleue de la fabrication 2, dont les pertes de poids sont légèrement supérieures aux objectifs fixés (cases oranges).

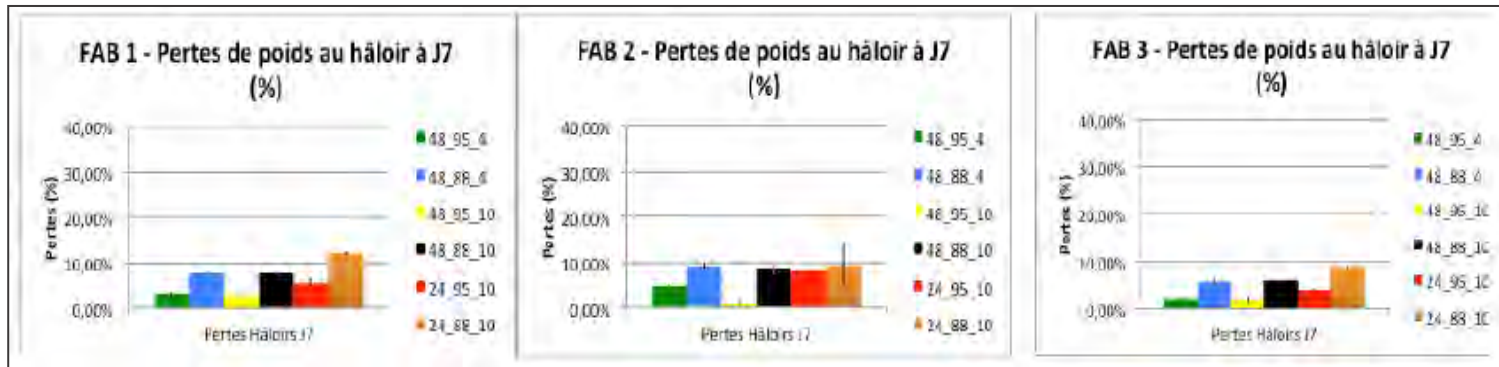
Malheureusement, le [tableau T13](#) montre que les objectifs ont largement été dépassés pour les modalités 24h de séchage (cases rouges), que ce soit dans le hâloir 1 ou le 2. Les fromages qui sont entrés dans le hâloir humide (H1) ont perdu en moyenne sur les trois fabrications plus de 2 g/jour au lieu de 0,5 g/jour attendus. Dans le hâloir sec (H2), les pertes moyennes pour les trois fabrications sont également importantes, de l'ordre de 1,7 g/jour au lieu de 1 g/jour. Nous pouvons également observer que, pour ces deux modalités, les variations de pertes de poids entre les fabrications sont les plus importantes (écart-type > 25 %). Ceci est dû à une perte d'eau mais surtout **de matière car nombres de ces fromages se sont liquéfiés à travers les grilles.**

[Tableau T13](#) : Pertes moyennes de poids de chaque fabrication et pertes moyennes de poids des 3 fabrications pour chaque modalité dans les deux hâloirs.

Pertes moyennes de poids aux hâloirs en g/jour/fromage						
modalités	FAB 1	FAB 2	FAB 3	Moyennes des 3 fabrications	Ecart-Type de ces moyennes	Objectifs
48_95_4	0,334	0,680	0,332	0,449	0,164	0,5
48_88_4	1,005	1,284	1,086	1,125	0,117	1
48_95_10	0,332	0,303	0,370	0,335	0,027	0,5
48_88_10	1,047	1,063	1,055	1,055	0,007	1
24_95_10	2,413	2,204	1,668	2,095	0,314	0,5
24_88_10	2,063	1,661	1,396	1,706	0,274	1

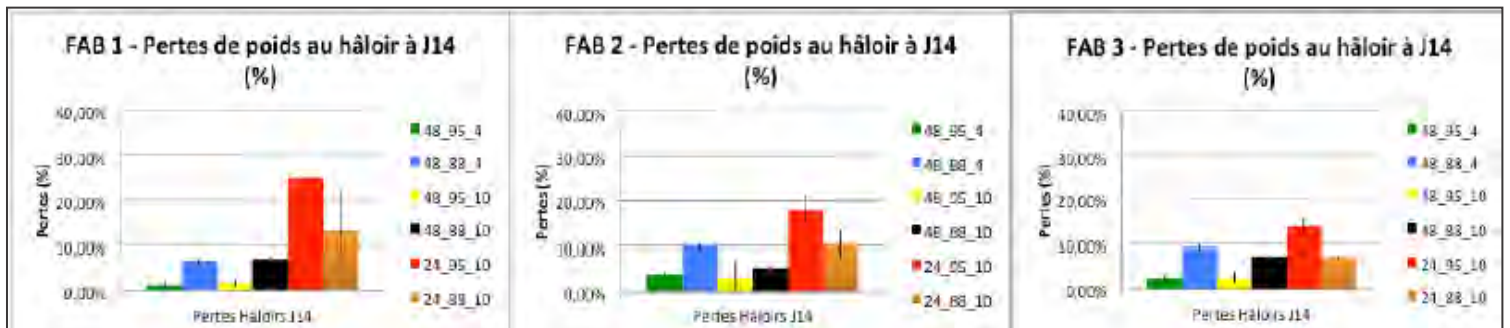
Les fromages suivent les mêmes logiques de pertes de poids dans les deux hâloirs à mi-affinage (J7) et en fin d'affinage (J14). C'est ce que montrent l'ensemble des [figures F32 à F34](#) qui suivent. A ces deux périodes, les modalités 24h de séchage sont toujours au-dessus des objectifs de pertes de poids dans les hâloirs.

A mi-affinage, les fromages sont déjà restés 4 à 6 jours dans les hâloirs. Nous observons alors à peu près les mêmes pertes de poids pour toutes les modalités dans chaque hâloir, soit environ 6 à 8 % dans le hâloir 2 (HR = 88 %) et 2 à 4 % dans le hâloir 1 (HR = 95 %). Les pertes de poids pour les modalités 24h à J7 étaient de l'ordre de 9 % dans H2 et de 4 à 6 % dans H1.



Figures F32, F33 et F34 : Pourcentage de pertes moyennes de poids pour chaque fabrication à J7 (mi-affinage) dans les deux hâloirs.

En fin d'affinage (J14), les pertes de poids des modalités 48h de séchage au hâloir sec sont de l'ordre de 5 à 10 % contre 2 à 4 % dans le hâloir humide. Pour les modalités 24h de séchage, les pertes de poids sont bien plus importantes et varient de 10 à 25 % dans le hâloir humide et de 8 à 12 % dans le hâloir sec.



Figures F35, F36, F37 : Pourcentage de pertes moyennes de poids pour chaque fabrication à J14 (fin d'affinage) dans les deux hâloirs.

Il semble que la durée de séchage courte (24h) a largement amplifié les pertes de poids observés aux hâloirs, qu'il soit sec ou humide, et ce, malgré une vitesse d'air forte (V10).

II. pH de surface et à cœur

La prise des pH à cœur et en surface à chaque date de prélèvement a permis de suivre l'évolution de la protéolyse, de la lipolyse et l'effet de la flore sur les fromages. Le pH est directement lié aux teneurs en eau de la surface ou de la matrice mesurées.

Sur la **figure F38**, nous pouvons suivre l'évolution des pH à cœur (pointillés) et de surface (traits pleins) des fromages pour chaque modalité. Ces valeurs ont été obtenues en faisant la moyenne des pH (cœur ou surface) des 3 fromages prélevés pour chaque modalité et à chaque date de prélèvement.

Les deux types de pH augmentent fortement pour chaque modalité de J0 à J7 (pente plus forte). Le pH de surface a ensuite tendance à se stabiliser ou a très légèrement poursuivi la désacidification de surface pour certaines modalités jusqu'à J14. Une redescence du pH entre J7 et J14 semble se produire pour certaines modalités, mais la mesure étant destructive à J7 et J14, ce ne sont pas les mêmes fromages dont le pH a été mesuré. Le pH à cœur continue d'augmenter après J7 mais de façon bien plus lente (diffusion des lactates vers la surface).

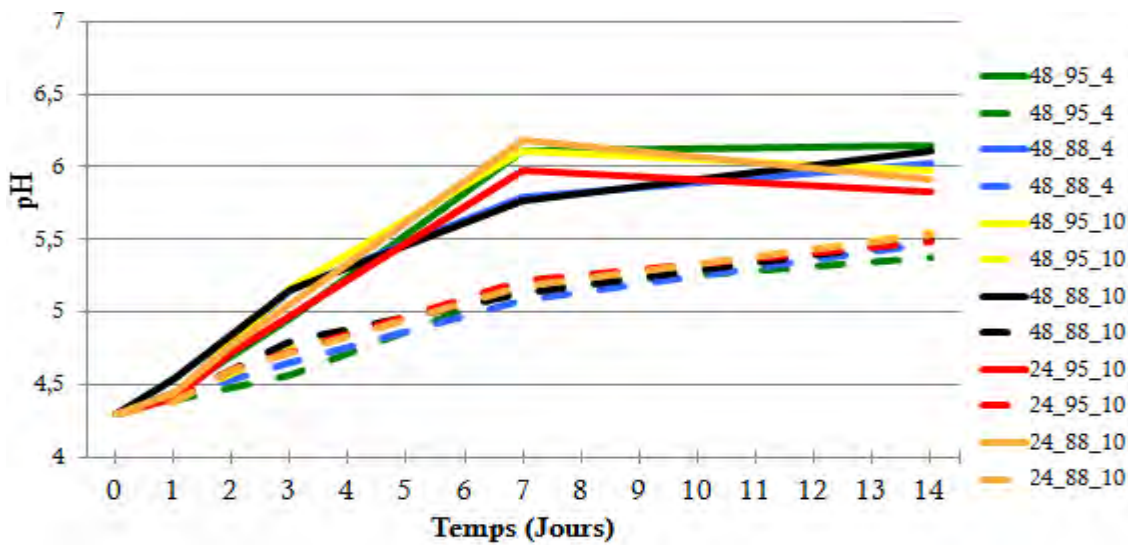
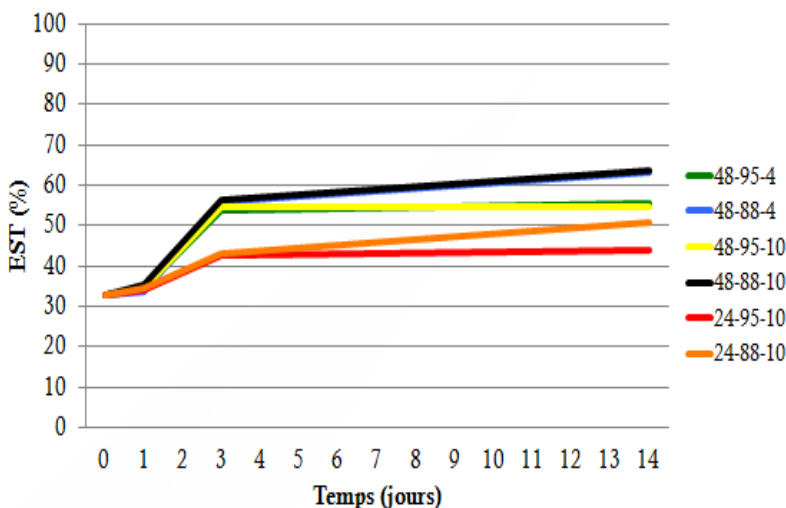


Figure F38 : Evolution moyenne des pH de surface et à cœur pour chaque modalité au démoulage (J0), en fin de ressuyage (J1), en sortie de séchage (J2-3), à mi-affinage (J7) et en fin d'affinage (J14).

Il est à noter que de fortes variations entre les fabrications et d'un pH à l'autre ont pu être observées. Cela a par moment compliqué l'analyse de ces résultats, dont l'évolution pour certaines modalités semblait étrange et difficile à expliquer.

III. Extrait Sec Total (EST), Matière Grasse et Sel



La **figure F39** présente l'évolution moyenne pour les trois fabrications des EST du démoulage à la fin de l'affinage à chaque modalité.

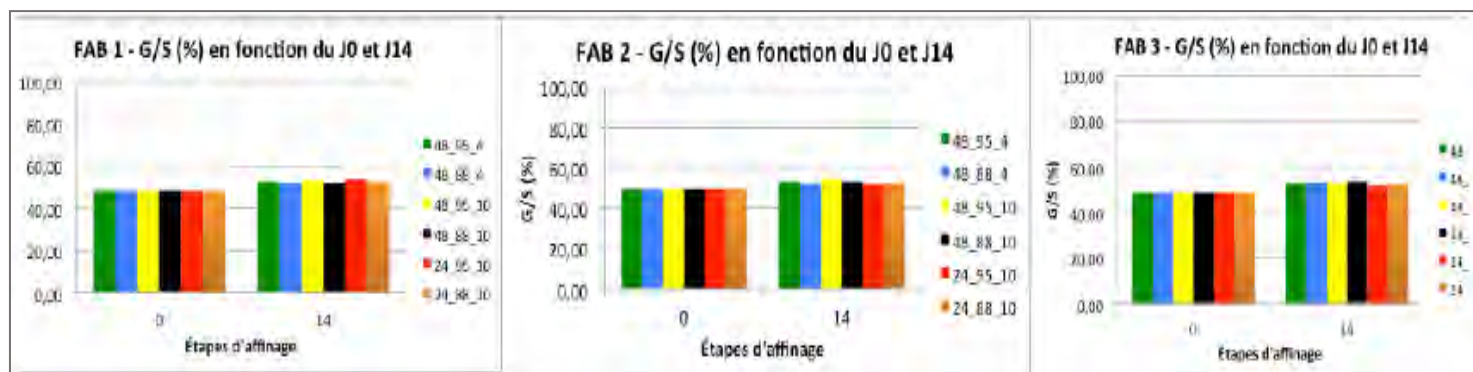
Nous observons que les modalités restées 48h au séchoir ont des EST plutôt proches (variant de 55 à 65 % environ), et que ceux des modalités 24h sont également regroupés ensemble, et bien inférieurs aux EST des modalités 48h de séchage (environ 20 points d'écart).

Selon le type de hâloir, et donc son HR, les concentrations d'EST ont tendance à être semblables d'une modalité à l'autre (même pente). Cela démontre que les paramètres d'ambiance des

Figure F39 : Evolution des Extraits Secs Totaux (EST) moyens de chaque modalité des 3 fabrications (en %) en fonction du temps.

hâloirs définissent l'EST final pour chaque modalité. Ainsi, les fromages restants dans un hâloir sec (HR = 88 %) perdent plus d'eau et auront donc tendance à avoir des EST supérieurs à des fromages s'affinant dans un hâloir humide (HR = 95 %).

Globalement, l'EST pour chaque modalité est fortement concentré du démoulage à la sortie du séchoir, où les pertes en eau sont les plus importantes (+ 10 % pour les modalités 24h; +20 à 25 % pour les modalités 48h). A l'entrée aux hâloirs, ils ont plutôt tendance à se stabiliser ou continuent d'augmenter mais très légèrement, ceci est observé quelle que soit la fabrication.



Figures F40, F41, F42 : Pourcentage du G/S de chaque modalité à J0 puis J14 pour les 3 fabrications.

Les rapports Gras/Sec (G/S) sont identiques d'une fabrication et d'une modalité à l'autre, et se concentrent légèrement entre J0 et J14 (figures F40 à F42). Cette intensification est due aux pertes en lactose et en sel lors du ressuyage où la phase d'égouttage est encore en cours.

Le sel, représenté par le rapport NaCl/H₂O, suit les mêmes tendances que l'EST pour chaque modalité des trois fabrications. Les modalités ayant un EST élevé ont de plus fortes concentrations en sel.

IV. Evaluation sensorielle

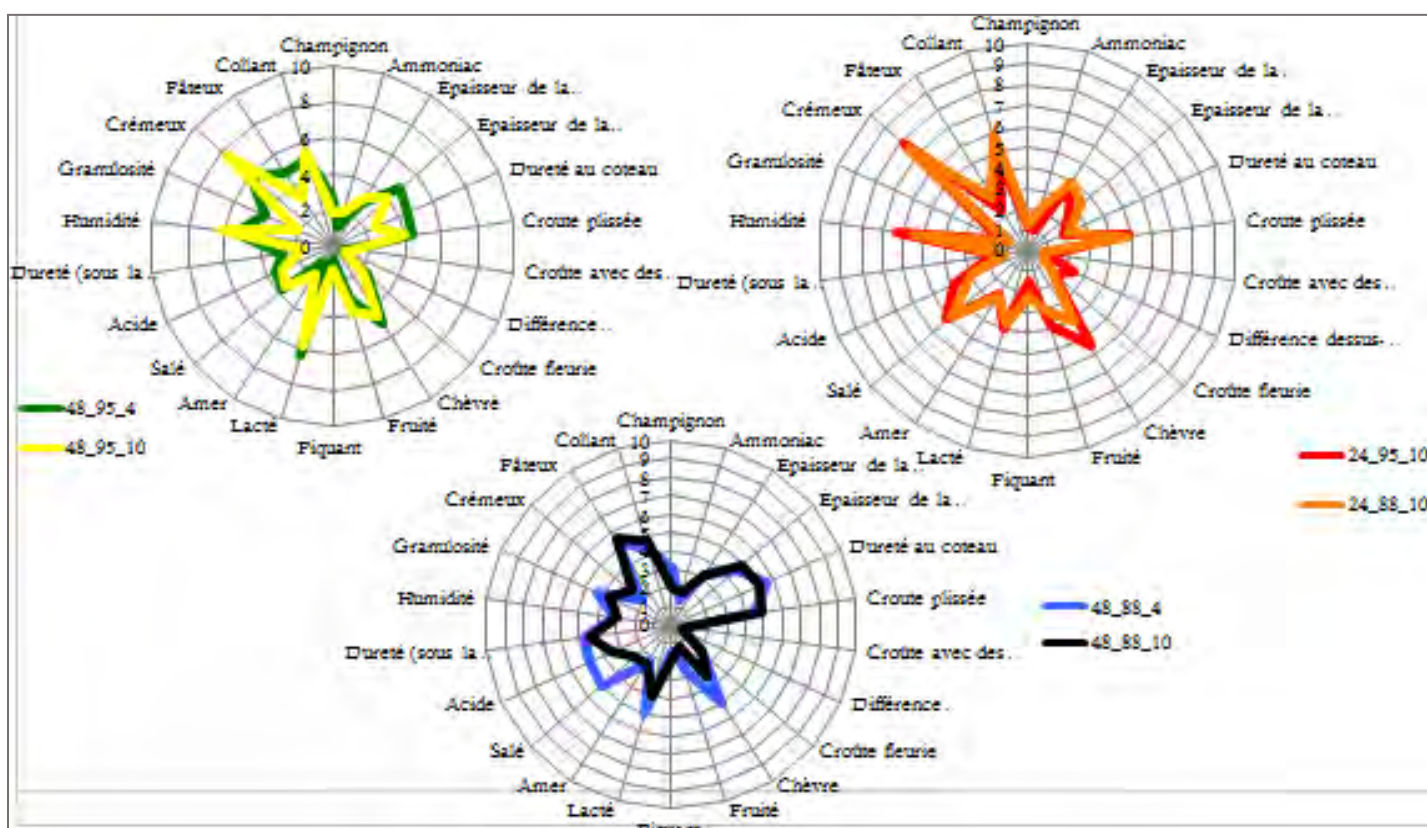
A la fin de la période expérimentale, les fromages de chaque modalité ont été dégustés et évalués par un jury de 10 personnes selon des critères objectifs d'un Picodon regroupés dans le [tableau T14](#).

Tableau T14 : Objectifs des caractéristiques principales d'un Picodon AOP (source: "plan de contrôle AOP Picodon").

Critères évalués	Objectifs pour un Picodon AOP
Forme	Absence de défauts. Cylindre plat. Hauteur comprise entre 1,8 et 2,5 cm.
Croûte	Non fleurie ou fleurie sans abondance. Colorée sans excès de bleu, blanc ou mélange.
Pâte	Régulière, sans trous. Souple ou cassante après affinage prolongé.
Goût	Caprique.
Arrière-goût	Fin. Noisette.
Texture	Homogène, fine et lisse en bouche.

Pour chaque modalité, 3 fromages ont été prélevés au hasard sur les grilles (mélange fabrications 1 à 3) pour être dégustés par le jury, puis nous avons traité les données en réalisant une moyenne des évaluations afin de dresser le profil sensoriel de chaque modalité pour les 3 fabrications.

Les graphiques F43, F44 et F45 présentent les résultats obtenus. Les modalités ont été regroupées par deux en fonction du type de séchage appliqué sur les fromages (durée et vitesse d'air). La première araignée regroupe les modalités 48h V4 (verte) ou V10 (jaune) qui sont ensuite allées dans le hâloir humide (H1). La seconde regroupe les modalités 24h V10 qui sont allées dans le hâloir humide (rouge) ou sec (orange). La troisième regroupe les modalités 48h V4 (bleue) ou V10 (noire) qui sont allées dans le hâloir sec (H2).



Figures F43, F44 et F45 : Moyennes des évaluations sensorielles pour chaque modalité testée.

En regroupant les modalités de cette manière, nous avons pu mettre en avant des tendances sensorielles similaires. Seules les modalités 48_95_10 et 48_95_4 (1ère araignée) sont un peu plus hétérogènes. Dans l'ensemble, elles sont plutôt lactées et un peu capriques, avec un caractère crémeux plus avéré pour la modalité jaune (vitesse d'air plus forte).

Les modalités 48_88_10 et 48_88_4 ont pour caractéristiques dominantes : la dureté, une texture pâteuse et un goût léger lacté et un arôme de chèvre.

Les modalités qui ont subi un séchage de 24h ont des caractéristiques presque identiques malgré des conditions d'affinage en hâloir différentes. Elles se caractérisent par un phénomène intense de protéolyse et de lipolyse noté par les critères : très crémeux, humides, collants avec un peu de saveur de chèvre.

Pour chaque modalité, le tableau T16 reprend les résultats obtenus en moyenne pour les trois fabrications de l'EST final, de la MG finale et de l'HFD (Humidité du Fromage Dégraissé) ainsi que de leur évaluation sensorielle. Il permet ainsi de dresser un profil moyen de fromages.

Tableau T16 : Profil moyen des fromages de chaque modalité en fonction de son EST final, sa MG finale, son HFD et ses caractéristiques sensorielles principales.

	Séjour au séchoir (heures)	Humidité au hâloir (%)	Vitesse de l'air au séchoir	EST final (%)	MG finale (%)	HFD(%)	Evaluation Sensorielle
48-95-4	48	95	4	56	29	63	Dureté au couteau, agréable goût lacté et de chèvre. Peut avoir des tendances à crémeux
48-88-4	48	88	4	63	33	55	Dureté au couteau, dure sous la dent, goût lacté et chèvre agréables
48-95-10	48	95	10	54	29	64	Crémeux, collant, goût bien lacté et légère de chèvre
48-88-10	48	88	10	64	34	55	Dureté au couteau, dureté sous la dent subtile de lacté et chèvre
24-95-10	24	95	10	44	23	73	Crémeux, humide, goût bien prononcé de chèvre
24-88-10	24	88	10	51	27	67	Crémeux, humide, goût bien prononcé de chèvre

Ce tableau fait ressortir que les fromages fortement séchés en 24h (24_95/88_10) et les fromages fortement séchés en 48h puis affinés dans un hâloir humide (48_95_10) sont plutôt crémeux, humides, collants avec une saveur « lacté et bien prononcé en chèvre ». Ils ont donc des caractéristiques qui s'éloignent plus des objectifs sensoriels d'un Picodon AOP. Les autres modalités regroupent des fromages plutôt durs au couteau ou sous la dent, à la saveur « lacté et de chèvre », plus proches du Picodon. Seule la modalité 48_95_4 peut également avoir des tendances à « crêmer » du fait de l'environnement humide du hâloir (HR = 95 %).

V. Tests complémentaires post-expérimentaux réalisés au séchoir

Les résultats des pertes de poids obtenus au séchoir, notamment pour la modalité 24h/V10, ne nous permettent pas encore de démontrer que l'augmentation de la vitesse d'air (séchage violent) peut compenser une durée de séchage plus courte. Suite à la période d'expérimentation, nous nous sommes interrogés sur les facteurs limitants pouvant inhiber ou empêcher partiellement l'effet de la vitesse violente sur les pertes de poids des fromages. Deux hypothèses principales pourraient expliquer, en partie, ce phénomène de limite de pertes de poids :

⇒ La **forte présence des levures** dans les fabrications expérimentales qui ont pu impacter de façon négative l'égouttage des fromages et, donc, limiter les pertes d'eau par la suite, notamment au séchoir.

⇒ Le **mélange et le brassage de l'air** en sortie des colonnes pourraient fausser les résultats des pertes dans le séchoir. En effet, dans un souci de logistique, nous avons testé les trois modalités de séchage en même temps et dans le même séchoir. Ainsi, les tourniquets 1 et 2 du 1^{er} évaporateur étaient réglés sur V10, et les tourniquets 3 et 4 du 2nd évaporateur étaient réglés sur V4. Cette organisation a pu limiter l'effet des colonnes soufflant violemment sur les piles via la dispersion de l'air dans l'ensemble de la pièce. C'est ce que nous avons voulu vérifier à partir de deux séries de tests :

Un premier essai post-expérimentation consistait à régler toutes les colonnes d'air sur la vitesse V10 (seuil bas de régulation redescendu à 65 % comme pendant l'expérimentation) et de peser les piles de fromages au démoulage et à la sortie du séchoir. Les résultats obtenus ainsi que les caractéristiques des deux fabrications suivies sont regroupés dans le **tableau T17** ci-dessous.

Pour la **fabrication 177**, les deux piles de fromages ont occupé les tourniquets N°1 et 3 pour le 1er jour de séchage. Les tourniquets 2 et 4 étaient vides durant ces 24h car les fromages qui les occupaient sont rentrés au hâloir à l'arrivée de la fabrication 177 dans le séchoir.

Le deuxième jour, les deux piles de la fabrication 177 ont été placées sur les tourniquets N°1 et 2 pour le deuxième jour de séchage. Les tourniquets 3 et 4 ont été remplis par les deux piles de la **fabrication 178**, deuxième fabrication suivie lors de cet essai. Le deuxième jour d'essai, le hâloir était donc totalement plein. Le troisième jour, les fromages de la 177 sont rentrés au hâloir et les fromages de la 178 ont effectué leur deuxième jour de séchage sur les tourniquets N°1 et 2.

Tableau T17 : pertes moyennes de poids sur 2 fabrications en appliquant V10 sur tous les tourniquets.

fab 177	Poids moyens des fromages en g				Pertes de poids moyennes des fromages en %			
	démoulage	fin ressuyage	24h séchoir	48h séchoir (sur T1 et T2)	Pertes (%) ressuyage	Pertes (%) 24 heures séchoir	Pertes (%) 2ème jour	pertes (%) 48H
P1	140,97	127,57	89,64	77,75	9,51%	29,74%	13%	39,05%
P2	139,49	125,47	101,90	90,16	10,05%	18,79%	12%	28,14%
fab 178								
P1	142,03	127,94	101,18	85,73	9,92%	20,91%	15%	33,0%
P2	139,62	128,23	99,97	84,75	8,16%	22,04%	15%	33,9%
Moyenne	140,53	127,30	98,17	84,60	9%	23%	14%	34%
Ecart-type	1,04	1,08	4,98	4,45	1%	4%	2%	4%

fab 177
 Date moulage 27/06/2015
 Entrée séchoir 29/06/2015
 (T1 et T3 => 24H)
 Toutsur V10
 T2 et T4 vides

fab 178
 Date moulage 28/06/2015
 Entrée séchoir 30/06/2015
 (T3 et T4 => 24H)
 Toutsur V10
 T1 et T2 pleins

En réglant tous les variateurs de vitesse sur la vitesse maximale V10, **nous n'arrivons toujours pas à perdre 35 % en 24h**, mais nous perdons 34 % en moyenne en 48h. Il semblerait difficile de faire évaporer en grande quantité l'eau dans les fromages avec un séchage violent et en peu de temps. **L'effet de croûtage pourrait être un autre facteur limitant** qui empêcherait l'évaporation de la majorité de l'eau contenue dans le fromage en sortie de ressuyage. Ce facteur est à étudier et à prendre en compte pour des futurs essais portant sur les pertes de poids. Cet essai permet, cependant, de mettre en évidence la meilleure efficacité du séchage et, donc, des pertes en eau lorsque tous les tourniquets sont réglés sur la même vitesse d'air. En effet, nous passons d'une perte d'environ 15 % en moyenne durant l'expérimentation en 24h à une perte moyenne de 23 %.

Un second essai a été réalisé après l'expérimentation. Le but était de tester à nouveau la vitesse V10 mais en limitant cette fois-ci le chargement du séchoir et en testant également l'effet de l'arrêt d'un évaporateur (donc 2 tourniquets éteints) sur les pertes de poids. Il s'est déroulé en deux temps sur deux fabrications différentes.

La première fabrication (Fab 297) est entrée durant 24h sur les tourniquets N°1 et 2 du séchoir qui étaient réglés sur V10, et les deux autres tourniquets (3 et 4) étaient également en marche sur V10 mais vides.

La seconde fabrication (Fab 298) est entrée durant 24h sur les tourniquets 1 et 2 du séchoir, réglés sur V10, et les deux autres tourniquets (3 et 4) étaient éteints (pas d'air ni de rotation) et vides.

Les résultats des pertes moyennes de poids sont présentés dans le **tableau T18** ci-dessous :

Tableau T18 : pertes moyennes de poids sur 2 fabrications en appliquant V10 sur deux ou quatre tourniquets et en limitant le chargement du séchoir.

Fab 297 P1 = 204 fromages P2 = 240 fromages Seuil bas de régulation HR= 65%
 V10 sur les 4 tourniquets (tous en marche)

Poids moyen des fromages en grammes				Pertes de poids moyennes en g au ressuyage et en 24 H séchage			
	démoulage	entrée séchoir	24h séchage	perte au ressuyage	%	perte après 24h de séchage	%
P1	140,7	122,94	81,67	17,76	12,62	41,27	33,57
P2	138,1	121,58	86,33	16,52	11,96	35,25	28,99
				moyenne	12,29	31,28	
				Ecart-type	0,33	2,29	

Fab 298 P1 = 240 fromages P2 = 245 fromages
 V10 sur les 2 tourniquets avec fromages, les T3 et T4 sont éteints

Poids moyen des fromages en grammes				Pertes de poids moyennes en g au ressuyage et en 24 H séchage			
	démoulage	entrée séchoir	24h séchage	perte au ressuyage	%	perte après 24h de séchage	%
P1	137,92	128,58	101	9,34	6,77	27,58	21,45
P2	136,9	127,18	99,43	9,72	7,10	27,75	21,82
				moyenne	6,94	21,63	
				Ecart-type	0,16	0,19	

V10 sur 2 ou 4 tourniquets avec seulement 2 tourniquets pleins de fromages (les autres = vides).

Les pertes de poids obtenues nous permettent, tout d'abord, de mettre en avant cet **effet de brassage d'air**. En effet, dans le premier cas (Fab 297) où tous les tourniquets marchent et sont réglés sur V10, la perte moyenne de poids en 24h est de 31 % alors qu'elle n'atteint qu'environ 21 % si seulement deux tourniquets sur quatre fonctionnent. Il semble donc que l'air soufflé par les tourniquets 3 et 4 (vides) a été brassé dans l'ensemble de la pièce et a eu un effet sur les fromages des tourniquets 1 et 2. De plus, dans le 2nd cas (Fab 298), où la perte moyenne est moindre. IL est supposé qu'une partie de l'air une fois sortie de la colonne s'éparpille à cause de l'effet brassage d'air et ne va pas directement sur les fromages devant les tourniquets, mais se disperse dans le reste de la pièce. Ceci diminuerait donc l'effet de la vitesse d'air, même à son maximum, sur les pertes en eau des fromages en 24h (ce qui a pu se passer durant l'expérimentation).

En comparant les résultats de pertes moyennes de poids de la fabrication 297 avec celles du premier essai post expérimental, il est mis en évidence qu'il y a également **un effet chargement du séchoir** sur les pertes de poids en 24h. En effet, lorsque tous les tourniquets sont réglés sur V10 mais qu'il n'y en a que deux pleins, les pertes de poids sont plus importantes (31,28 % de perte en moyenne pour la fab 297, contre 23 % lors de l'essai 1).

DISCUSSION

LES PERTES DE POIDS

1) Au séchoir

Sur nos trois modalités de séchage testées, deux d'entre elles n'ont pas atteint leurs objectifs de pertes de poids. A chaque fois, il s'agissait des vitesses d'air violentes (V10) appliquée en 24h (séchage court) ou 48h (séchage long) sur les fromages. En effet, nous avons obtenu les mêmes pertes de poids en 48h avec deux vitesses d'air bien différentes (V4 et V10). De plus, nous n'avons perdu en moyenne que 15 % en 24h au lieu des 35 % attendus en appliquant la vitesse maximale V10. Nous ne sommes donc pas arrivés à démontrer d'effet « vitesse d'air » sur les pertes moyennes au séchoir en 24h ou 48h. Les tests, effectués après l'expérimentation, ont permis de mettre en avant trois facteurs limitants qui ont pu biaiser les résultats obtenus durant l'expérimentation :

- **L'effet brassage et mélange d'air** en sortie des colonnes, qui peut avoir un effet positif si l'on règle tous les tourniquets sur la même vitesse d'air ; mais qui a également un effet négatif lorsqu'une partie de l'air en sortie des colonnes se disperse dans la pièce et ne participe donc pas à l'évaporation de l'eau des fromages placés devant le tourniquet.
- **L'effet croûtage** des fromages, qui empêche l'évaporation optimale de l'eau en 24h lorsque l'on applique un séchage trop violent (V10) et limite donc les pertes de poids en favorisant l'effet de crémage au hâloir.
- **L'effet chargement** dans le séchoir. Des pertes de poids plus importantes sont observées lorsqu'il y a moins de fromages dans le séchoir (2 tourniquets remplis versus 4 tourniquets remplis).

De plus, ces tests ont permis de mettre en évidence la nécessité de régler les 4 tourniquets **sur la même vitesse d'air** pour pouvoir observer réellement son effet sur les pertes de poids. Pour les essais à venir, cela signifie qu'il faudra « étaler » davantage la période expérimentale au séchoir afin de **tester chaque vitesse de séchage séparément** et non pas en même temps sur les deux évaporateurs comme cela a été réalisé en mai 2015.

Il est également nécessaire de refaire des essais de la vitesse maximale dans tout le séchoir sur 48h puis d'observer à nouveau l'effet hâloir (humide ou sec) sur les fromages.



Les fortes **variabilités des vitesses d'air** d'un trou à l'autre dans chaque colonne sont un biais important à prendre en compte au séchoir. En effet, nous avons pu constater des variations de vitesse d'air intra et inter- tourniquets importantes. Il est donc difficile d'attribuer une valeur moyenne à ces vitesses d'air pour chaque programme testé (V4 et V10) en m/s.

pile/niveau	Vitesse (m/s) de la sortie vitesse 4				Vitesse (m/s) de la sortie vitesse 10			
	1	2	3	4	1	2	3	4
14	1.9	1.0	1.3	0.9	3.5	2.2	1.3	1.3
13	1.7	1.1	1.3	0.9	3.3	2.5	1.6	1.6
12	1.9	1.2	1.6	1.2	3.4	2.9	1.9	1.9
11	2.4	1.3	1.5	1.3	4.2	2.6	2.3	2.1
10	2.6	1.3	1.6	1.5	4.0	3.0	2.8	2.4
9	2.6	1.3	1.7	1.7	3.8	3.2	2.9	2.7
8	2.8	1.6	2.0	2.0	4.4	3.1	3.2	2.9
7	2.8	1.6	2.0	1.9	4.0	3.5	3.0	3.2
6	2.9	1.4	1.9	2.3	4.3	3.5	3.3	4.5
5	2.8	1.6	1.7	2.4	4.7	3.1	3.2	4.7
4	2.3	1.8	1.8	2.4	4.3	3.4	3.7	3.5
3	2.0	1.7	1.9	2.2	4.2	3.2	3.3	3.4
2	1.8	1.6	1.5	2.0	3.9	3.0	3.5	3.7
1	2.1	1.2	1.6	2.4	3.7	2.5	3.8	4.0
moyenne	2.33	1.41	1.67	1.79	3.98	2.98	2.84	2.99
ecart type	0.41	0.23	0.22	0.53	0.39	0.38	0.75	1.01



2) Aux hâloirs



Fromage modalité 24 88 10

Les objectifs de pertes de poids dans les deux hâloirs ont globalement été atteints. Nous avons pu démontrer que, dans un hâloir plus humide, les fromages perdaient en moyenne moins d'eau et, donc moins de poids chaque jour que dans un hâloir sec.

Seules les modalités n'étant restées que 24h au séchoir ont largement dépassé les objectifs de pertes de poids prévus, ceci est dû à une perte de matière qui a totalement faussé les pesées. En effet, les fromages n'ayant pas assez séché ont fortement flué et certains se sont même liquéfiés, formant des flaques de fromage au sol.



Fromage modalité 24_95_10



texture finale » du fromage.

Ce phénomène montre également que le **séchage est un point clef à maîtriser pour permettre un affinage correct** des fromages qui conditionne leur évolution au hâloir.

L'humidité du hâloir a un effet sur la perte de poids. Elle peut permettre de la diminuer ou de l'augmenter. Mais lorsque le séchage est insuffisant (pertes d'eau des fromages trop faibles), il est impossible de « rattraper la



MESURE DES pH

Au ressuyage, nous observons une forte augmentation des pH à cœur et en surface, qui est due à la présence trop importante de levures constatées durant l'expérimentation. Le phénomène de redescende des pH (de surface) observé à partir de J7 pour certaines modalités n'a pas pu être expliqué et provient sûrement de la variabilité de la matrice d'un fromage à l'autre, ou peut-être d'un biais de mesure (difficulté de la mesure du pH de surface avec une électrode de pénétration). Il sera donc important de **caler la méthode de mesure du pH à cœur et de surface** sur des fromages plus ou moins affinés afin d'éliminer ce biais pour des futurs essais.

CONCLUSIONS DES EXPERIMENTATIONS AU PRADEL

L'expérimentation conduite en mai 2015 a été assez lourde et compliquée à mettre en œuvre, car elle a été réalisée durant la période de forte production et concernait trois fabrications entières de Picodons. De plus, elle nécessitait d'importants changements de paramètres au niveau du séchoir et des deux hâloirs. Une organisation rigoureuse et des modifications importantes de logistique ont été nécessaires afin de pouvoir conduire à bien l'expérimentation en parallèle de la production classique de Picodons.

Ce premier essai a obtenu des résultats plus ou moins satisfaisants, selon les paramètres observés, vis-à-vis des objectifs initiaux fixés. Ainsi, les effets de la vitesse d'air et de la durée de séchage sont difficilement mis en évidence car deux modalités de séchage sur trois n'ont pas fonctionné comme prévu. Les essais post-expérimentaux ont, cependant, permis de mettre en évidence des hypothèses de facteurs limitants qui auraient pu fausser les résultats, à savoir :

- **L'effet brassage et mélange d'air**
- **L'effet croûtage**
- **L'effet chargement** au séchoir
- **la variabilité des vitesses d'air** inter et intra- tourniquets

Ces essais nous permettent de dresser des perspectives d'amélioration de méthodes et de mesures à mettre en place l'année prochaine concernant les pertes de poids au séchoir. Il s'agira, par exemple, de ne tester qu'une seule vitesse d'air à la fois sur l'ensemble du séchoir afin de pouvoir apprécier le plus justement possible l'effet de ce paramètre sur les pertes de poids.

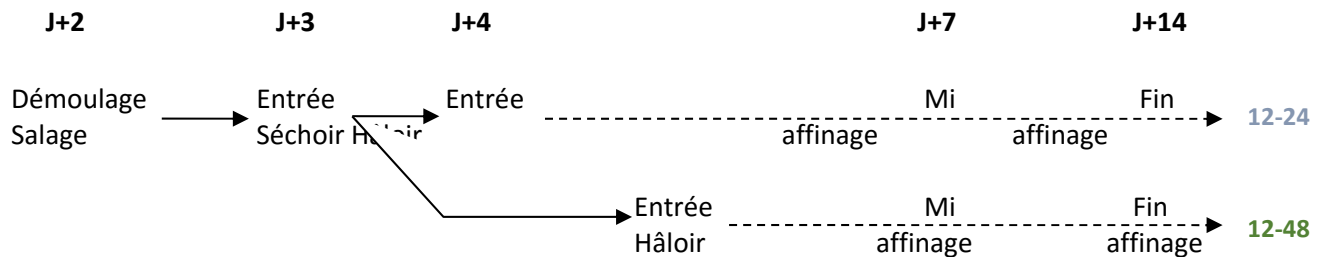
Nous pouvons également imaginer refaire cette expérience et la répéter sur un échantillon de fromages plus petit (la moitié d'une fabrication maximum ou seulement plusieurs grilles ?), afin de mieux maîtriser les effets des paramètres et de simplifier l'organisation de la conduite de l'expérimentation.

Pour ce qui est des paramètres testés aux hâloirs, les résultats obtenus ont été très satisfaisants. Les pertes de poids journalières d'un hâloir sec (1 g/jour/fromage) et d'un hâloir humide (0,5 g/jour/fromage) ont pu être validées. De plus, cette expérimentation a permis de tester de nombreuses méthodes pour augmenter l'humidité dans un hâloir, toutes applicables en fermes, et de dresser un bilan de leurs points forts et leurs points faibles ainsi que leurs effets significatifs ou non sur les pertes de poids.

Malgré des paramètres à « caler » de nouveau au niveau du séchoir et des essais à reconduire afin de tirer de meilleurs résultats concernant les effets des vitesses d'air de séchage, cette expérimentation a pu permettre de définir un premier panel de profils de fromages selon la conduite adoptée au séchoir puis au hâloir. De plus, elle a permis de mettre en évidence le rôle clef de la phase de séchage des fromages, qui conditionne clairement leur évolution au sein du hâloir et le développement de leurs caractéristiques sensorielles finales.

PROTOCOLE

PLAN EXPÉRIMENTAL



A chaque entrée en hâloir, une moitié des fromages est placée en hâloir à 88 % d'H.R., l'autre moitié en hâloir à 98 % d'H.R.

Afin d'assurer de bonnes conditions d'ambiance et au vu des difficultés d'approvisionnement en lait de chèvre à l'ENILBIO, des fabrications au lait de vache conduites selon la technologie ci-dessous ont été utilisées pour remplir les hâloirs avant d'y introduire les fabrications suivies au lait de chèvre.

SCHÉMA TECHNOLOGIQUE

- **J** : Lait thermisé (68 °C - 20 s) 100 L → 85 L
 - Ensemencement en ferment lactique mésophile **MBT 20 DCU/100 L** à 28 °C – 30 °C
 - Ensemencement en flores d'affinage : *Debaryomyces Hansenii* (DH) + *Candida Utilis* (CUM) (2 d/1000L) + *Geotrichum candidum* (Geo17) (4 d/1000L)
 - **Emprésurage à pH 6,30 ± 0,05 - Température : 18 - 20 °C**
- **J+1** : Moulage à **pH 4,40-4,50 T°C 18 - 20°C**
 - 1 retournement dans la journée et 1 le soir
- **J+2** : Salage 1^{ère} face en moule avant démoulage
 - Démoulage sur claies
 - Salage 2^{ème} face + talon
 - Début ressuyage (16 - 18 °C - 85 % HR) [durée du ressuyage : 24 h]
- **J+3** : Séchoir → plan d'expérience

PARAMÈTRES DES CELLULES

- ✓ Salle de fabrication après moulage : 19 - 20 °C, pas de régulation d'hygrométrie
- ✓ Salle de ressuyage : 16 - 18 °C - 85 % HR
- ✓ Séchoir : 16 °C – 75 % HR
- ✓ Hâloirs : 12 °C – 88 % HR
12 °C – 98 % HR

RÉSULTATS

COMPOSITION DES LAITS

Les 3 laits ont des compositions en MG et MAP équivalentes sur la période des essais.

Tableau T19 : composition des laits pour les différents essais

	MG (g/L)	MAP (g/L)
Essai 1 (07/04/15)	30,75	29,41
Essai 2 (13/04/15)	30,50	29,67
Essai 3 (20/04/15)	30,63	29,52

EVOLUTION DE LA TEMPÉRATURE ET DE L'HYGROMÉTRIE DURANT LA PÉRIODE DES ESSAIS

Les figures ci-dessous représentent durant la période des essais, l'évolution de la température et de l'hygrométrie.

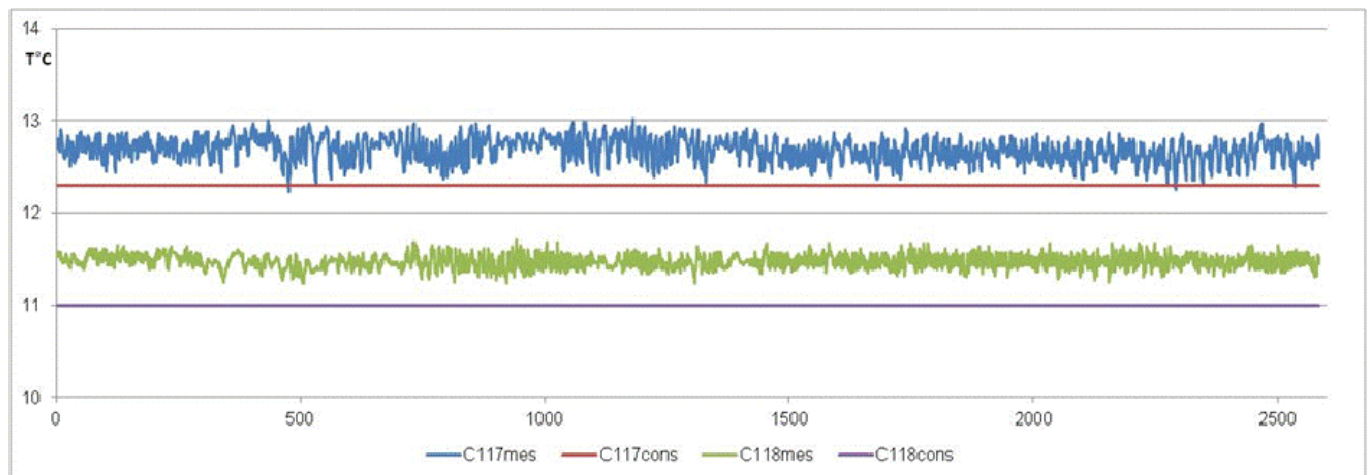


Figure F46 : Evolution de la température pour les caves 117 et 118.

L'objectif était de maintenir une température de 12 °C quelles que soient les conditions d'hygrométrie. Nous observons un écart de 1 °C entre les 2 caves.

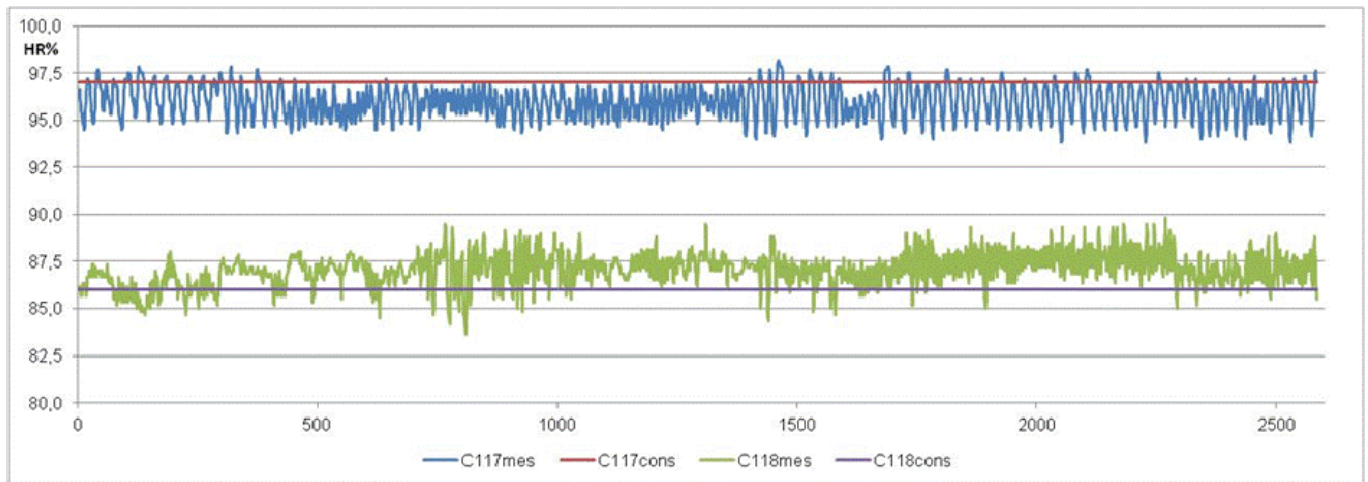


Figure F47 : Evolution de l'hygrométrie relative (en %) pour les caves 117 et 118.

Pour la cave 117, l'objectif était de 97 - 98 %, nous avons une valeur moyenne proche de 96 - 97 % avec une amplitude de 2,5 % ce qui est tout à fait satisfaisant contenu de la difficulté de mesure de l'HR au-delà de 90 - 92 %. La cave 118 devait avoir une HR de 87 - 88 %, la valeur moyenne est proche de 87,5 %. Les conditions de température et d'hygrométrie correspondent donc aux objectifs fixés.

EVOLUTION DES POIDS

La figure ci-dessous représente la freinte (=perte de poids) moyenne des fromages au cours des différentes phases de l'affinage (Res = ressuyage ; séchoir et hâloir = cave)

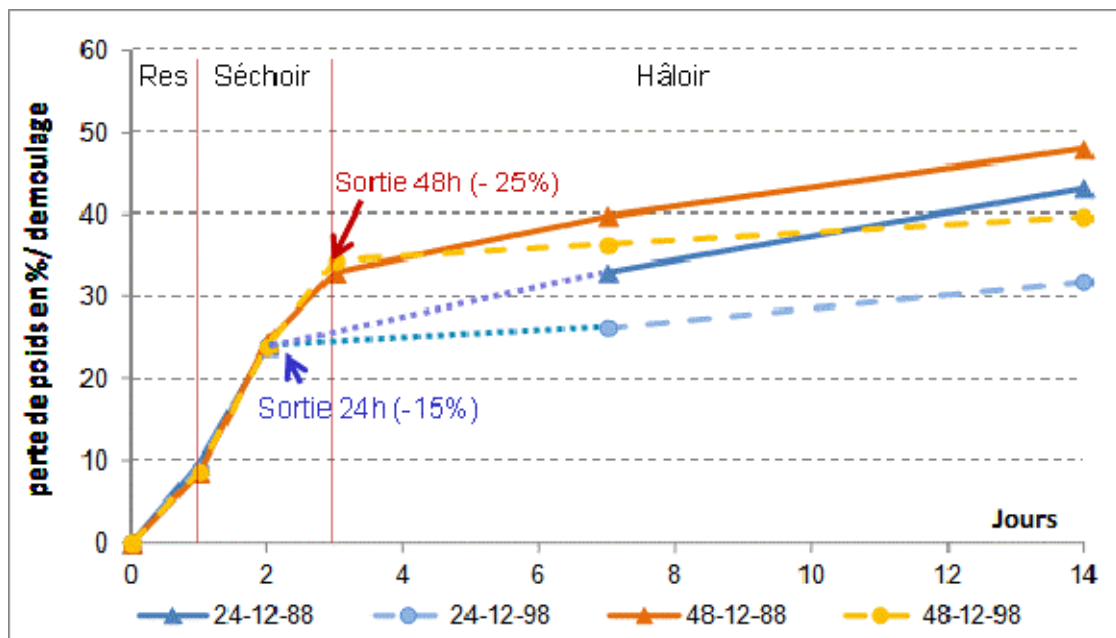


Figure F48 : Evolution des freintes des fromages au cours de l'affinage (moyenne des 3 séries)

Les dynamiques des courbes correspondent aux effets attendus, c'est-à-dire que les pertes de poids sont fortement liées aux conditions d'HR des caves, mais également à la durée de la phase de séchoir (24h/48 h).

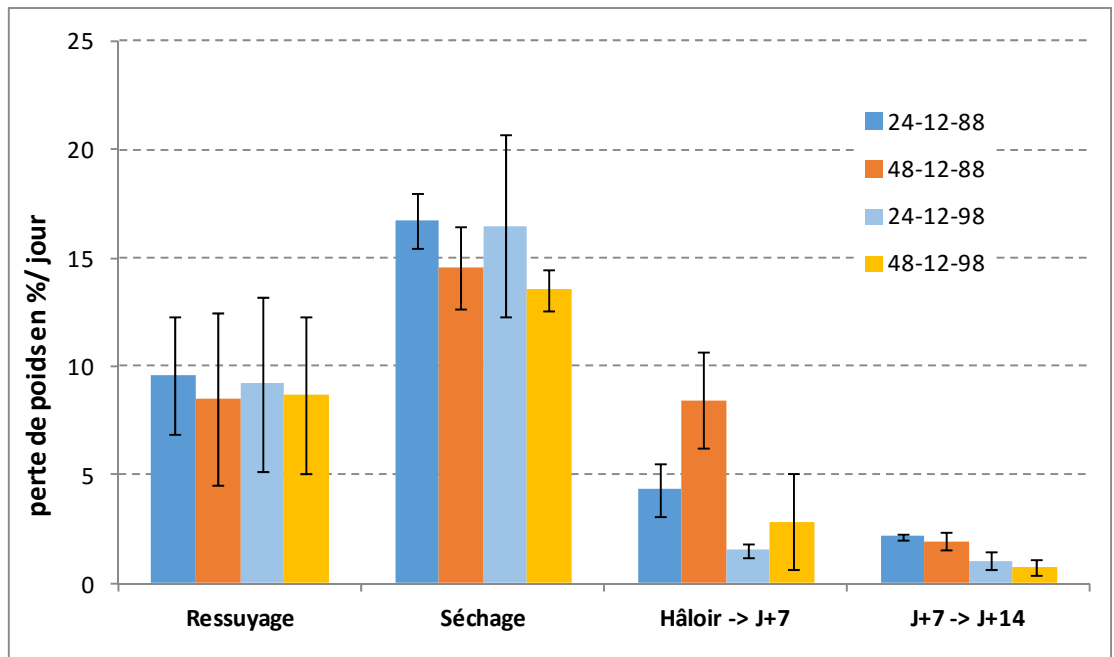


Figure F49 : Evolution des freintes par jour en fonction du stade d'affinage (moyenne des 3 séries) – Les barres d'erreur donnent \pm l'écart-type.

Le graphique ci-dessus montre que les pertes de poids /jour au cours des différentes étapes sont :

- Identiques au ressuyage
- Sensiblement plus faible après 48 h de séchoir comparativement à 24 h (formation d'une croûte limitant l'évaporation durant le 2^{ème} jour de séchoir et début d'implantation des flores de surface).
- Moins importante en hâloir et dépendante de l'HR.

EVOLUTION DES TENEURS EN EST

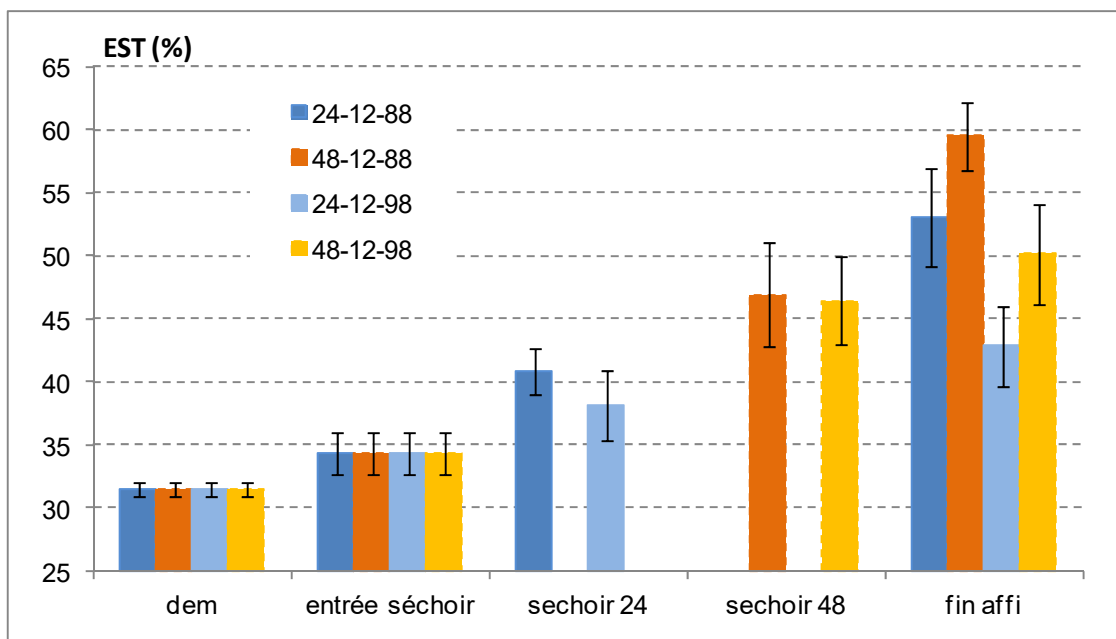


Figure F50 : Evolution des teneurs en EST des fromages à différents stades de la fabrication (moyenne des 3 séries).

L'évolution de l'EST des fromages, au cours de différentes étapes, est directement liée aux conditions d'affinage (Hygrométrie).

Le gain d'EST (%) / jour est similaire après 24 ou 48 h de séchage. Au cours de l'affinage, le gain est de 1 g ES / 100 g à 88 % d'HR et de l'ordre de 0,5 g ES à 98 % (voir figure F51 ci-dessous) comme initialement prévu.

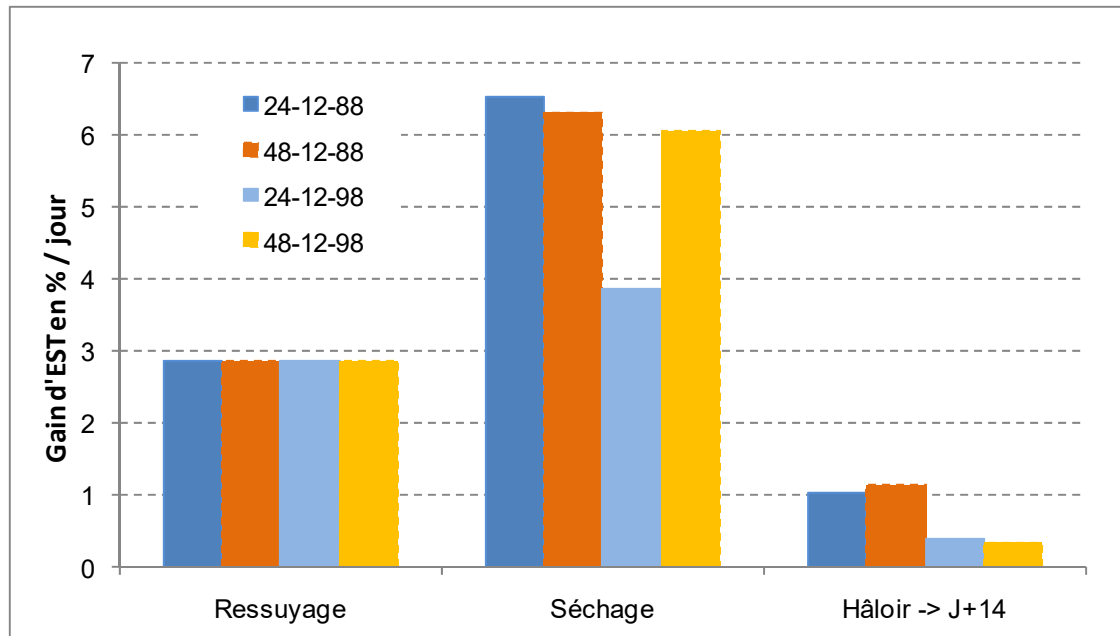


Figure F51 : Gain d'EST en % / jour des fromages aux 3 stades d'affinage (moyenne des 3 séries).

EVOLUTION DES PH

Le pH est mesuré sur un broyat de l'ensemble du fromage.

Les figures ci-dessous représentent l'évolution du pH moyen des fromages au cours de l'affinage et aux différents stades.

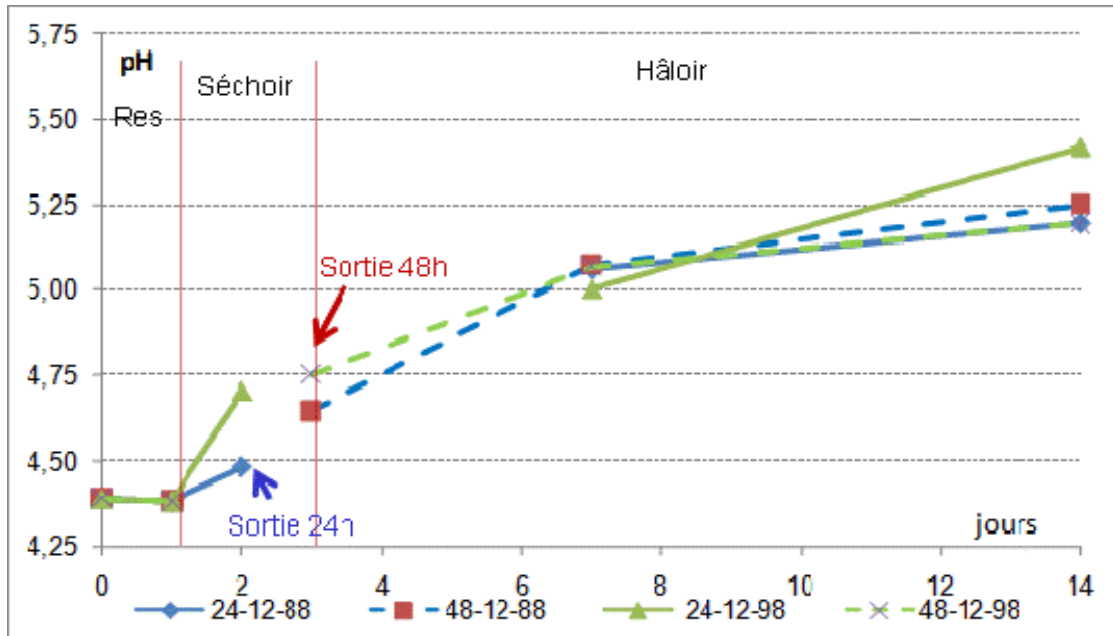


Figure F52 : Evolution des teneurs du pH des fromages à différents stades de la fabrication (moyenne des 3 séries),

L'évolution du pH (*) au cours de l'affinage est similaire quelles que soient les conditions d'affinage. La perte de poids n'affecte pas l'évolution du pH moyen des fromages.

(*) pH pénétation mesuré sur la totalité du fromage après broyage

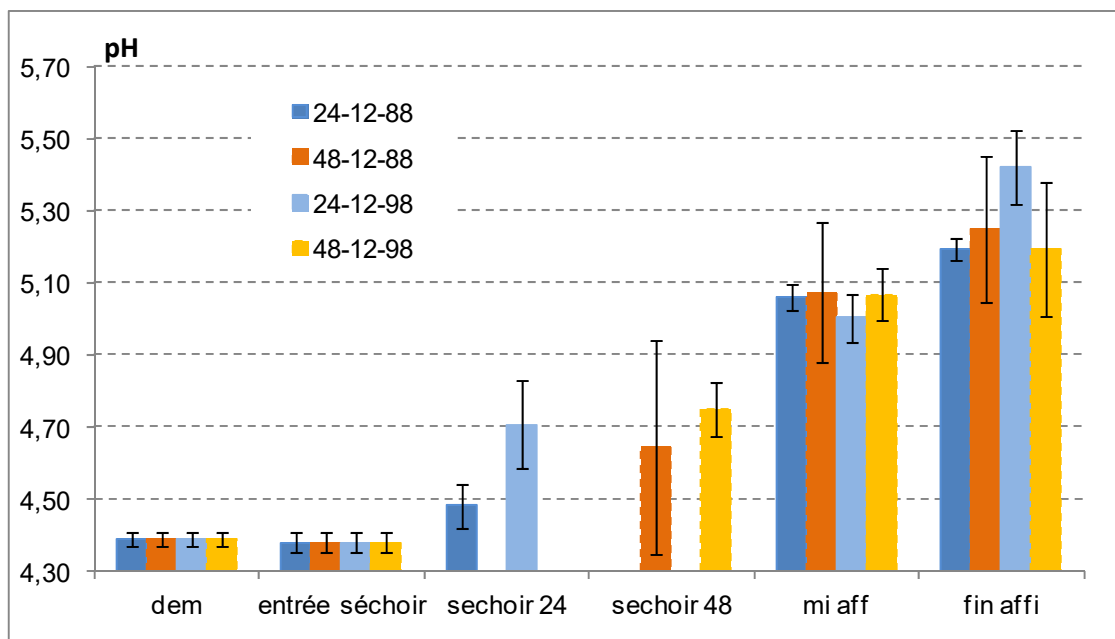


Figure F53 : Evolution des pH des fromages à différents stades de la fabrication (moyenne des 3 séries)

Au cours des différentes étapes de l'affinage, on constate que l'évolution du pH est similaire.

Les résultats confirment les données expérimentales de l'INRA de Versailles-Grignon et de Theix.

La perte de poids, durant les 1^{ers} jours (ressuyage et séchoir), influe fortement l'évolution des fromages au niveau de leur aspect et de leur texture.

L'hygrométrie des hâloirs (88 ou 98 %) contribue à créer des états de surfaces significativement différentes du point de vue de leur aspect mais également des pertes de poids. Les fromages affinés à 88 % perdent en moyenne 1 g pour 100 g par journée de hâloir, tandis que ceux placés à 97 - 98 % perdent moins de 0,5 g pour 100 g. Cette différence de perte de poids contribue fortement à « dégrader » l'aspect visuel des fromages mais également accélère la protéolyse et la lipolyse sous croûte par une activité de l'eau qui reste trop importante.

CONCLUSIONS

Les liens entre les conditions d'ambiance et la qualité du fromage ont été étudiés au laboratoire et en fromageries expérimentales. Le rôle clé de l'hygrométrie a été mis en évidence en affinage, ainsi qu'au séchage où la vitesse d'air joue, cependant, un rôle encore plus important. Les effets des paramètres d'ambiance sur la composition physico-chimique et les caractéristiques sensorielles des fromages ont été quantifiés pour un type de fromage donné. Le taux de CO₂ de l'ambiance s'avère peu variable dans les fermes et a peu d'effet sur la qualité des fromages.

De plus, l'expérimentation au Pradel a permis de tester différentes solutions techniques pour augmenter l'hygrométrie dans un hâloir statique.

Les résultats de ces expérimentations ont été utilisés pour alimenter et illustrer les fiches techniques et la formation élaborées dans le cadre du programme LACTAFF. Ces documents devraient permettre aux techniciens et aux producteurs de mieux maîtriser l'affinage des fromages lactiques d'une façon moins empirique.

BIBLIOGRAPHIE

Collectif, 2016. L'affinage des fromages fermiers lactiques. Collection les Incontournables de l'Institut de l'Élevage. Edition Technipiel. Coordination Sabrina Raynaud et Yves Lefrileux (Institut de l'Élevage), Sylvie Morge (PEP caprin Rhône-Alpes), Marion Pétrier (CTFC). 141 pages.

Collectif, 2016. L'affinage des fromages fermiers lactiques. Fiches techniques disponibles en ligne sur le site internet de l'Institut de l'Élevage. Coordination Sabrina Raynaud (Institut de l'Élevage), Sylvie Morge (PEP caprin Rhône-Alpes), Marion Pétrier (CTFC). 192 pages.

Favier R., Lefrileux Y., Picque D., Morge S., Raynaud S., Alaoui-Sosse L., Doutart E., Mirade P.S., 2015. Influence des paramètres de séchage sur les pertes de poids de fromages de chèvre fermiers. 22ème Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants. INRA-Institut de l'Élevage, p. 395.

Le Jan E., 2014. Impact des conditions d'affinage (température et humidité relative) sur l'évolution sensorielle, biochimique et physico-chimique des fromages lactiques fermiers de type Picodon. Rapport de stage de fin d'étude UTC Compiègne – INRA. 54 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., Guillemin 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'Élevage n° 00 16 403 014. 204 pages.

ANNEXE 1 – GRIGNON - ANALYSE SENSORIELLE

L'étude des facteurs « température et hygrométrie » sur les perceptions des fromages montrent des effets significatifs des conditions d'affinage sur un grand nombre de propriétés sensorielles. En effet, 16 attributs sur 22 varient significativement lorsque l'humidité relative varie de 88 à 98 % et 6 attributs sur 22 lorsque la température d'affinage varie de 10°C à 14°C. Pour quantifier les effets « température et hygrométrie », on peut calculer un pourcentage de variation de l'intensité perçue du descripteur grâce à la formule suivante :

$$\% \text{ de variation} = [(intensité \text{ moyenne max} - intensité \text{ moyenne min}) / (intensité \text{ moyenne max})] * 100$$

Les intensités moyennes par descripteur sont issues des moyennes calculées sur l'ensemble des juges et des répétitions par conditions d'affinage et sont illustrées en annexes 8 et 9. La figure 11 illustre les effets « température » et « hygrométrie » pour chaque descripteur et chaque condition.

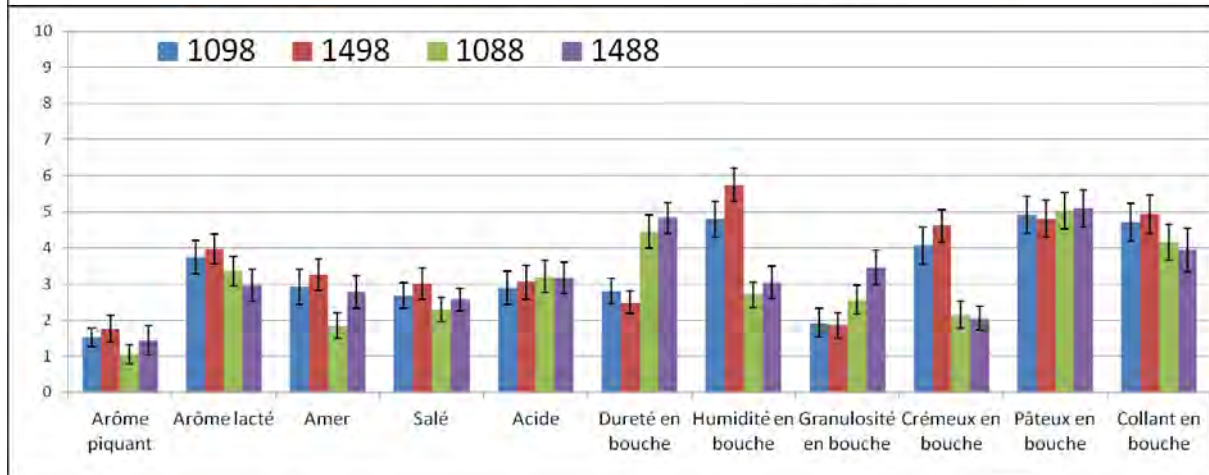
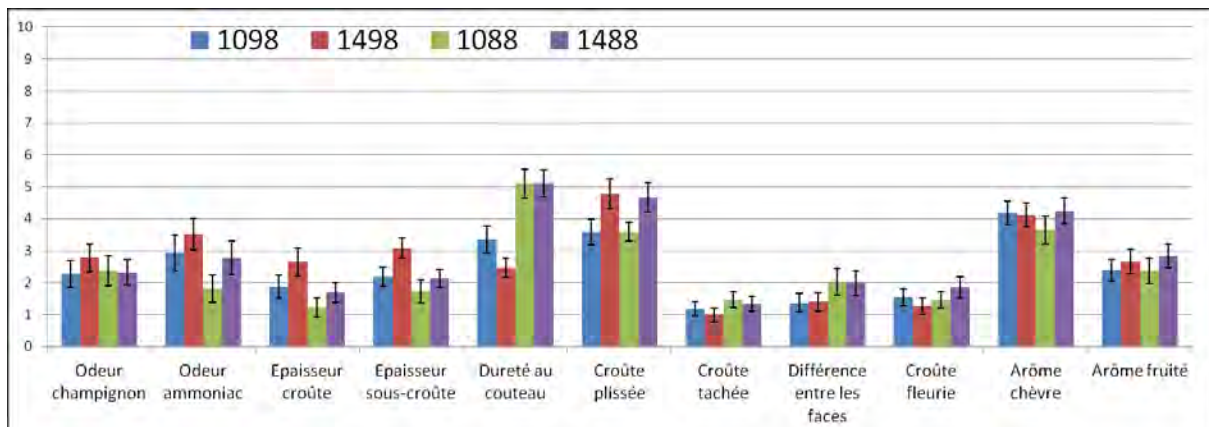
Lorsque l'humidité augmente de 10 %, une augmentation de l'intensité des perceptions est constatée pour les attributs : odeur ammoniac (+34 %), épaisseur de la croûte (+30 %), épaisseur de la sous-croûte (+29 %), arôme lacté (+9 %), amer (+32 %), salé (+14 %), humidité en bouche (+44 %), arôme piquant (+27 %), crémeux en bouche (+52 %) et ce quelle que soit la température.

Au contraire, les attributs : croûte avec des tâches (-19 %), différences entre les faces (-27 %), dureté en bouche (-45 %) voient une diminution de leur intensité perçue quelle que soit la température lorsque l'humidité augmente de 88 à 98%.

Enfin, l'intensité perçue pour la dureté au couteau diminue de 31 % à 10 °C et de manière plus importante (-49 %) à 14°C lorsque l'humidité augmente de 10 %. De même, la granulométrie en bouche augmente de 31 % à 10°C et de 44 % à 14°C. Enfin, aucune variation de la croûte fleurie n'est observée à 10°C, alors qu'une diminution de l'intensité perçue de 31 % est constatée à 14°C. Ces différences de comportement entre 14 et 10°C observés pour ces 3 derniers descripteurs sont illustrées par des interactions « température x hygrométrie » significatives.

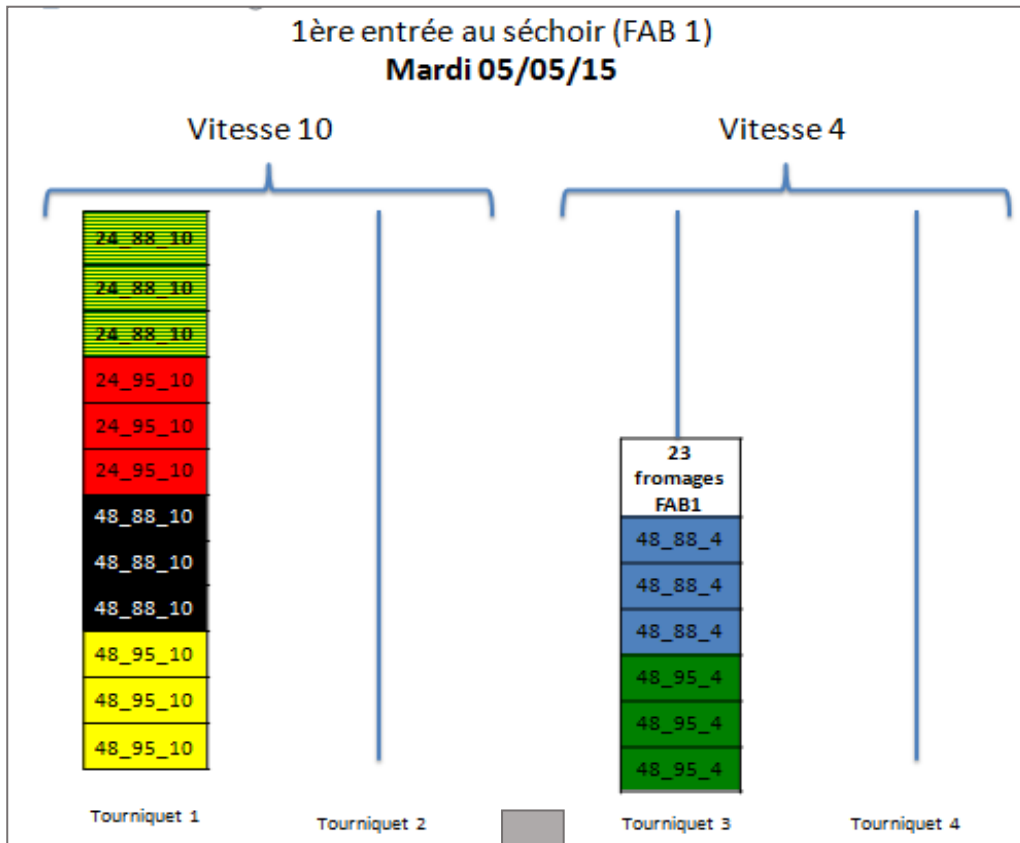
Lorsque la température augmente de 4°C, l'intensité des perceptions augmente de façon significative pour 6 descripteurs. À savoir l'odeur « ammoniac » (+31 %), l'aspect « croûte plissée » (+20 %), l'aspect « épaisseur de la croûte » (+28 %), l'aspect « épaisseur sous-croûte » (+15 %), la texture en bouche « humidité » (+8 %), et la saveur « amer » (+29 %).

	CJ	T °C	HR %	CJ*T °C	CJ*HR	T °C*HR
<i>O champignon</i>	< 0,0001	0,255	0,432	0,217	0,003	0,194
<i>O ammoniac</i>	< 0,0001	0,003	0,001	0,044	0,522	0,560
<i>As épaisseur cr</i>	< 0,0001	0,001	< 0,0001	0,474	0,153	0,293
<i>As épaisseur so</i>	< 0,0001	0,002	0,001	0,917	< 0,0001	0,172
<i>As dureté Coute</i>	< 0,0001	0,056	< 0,0001	0,630	0,112	0,046
<i>As_croûte pliss</i>	< 0,0001	< 0,0001	0,745	0,294	0,556	0,712
<i>As_croûte tache</i>	< 0,0001	0,184	0,007	0,502	0,177	0,863
<i>As_différence d</i>	< 0,0001	0,970	0,001	0,153	0,230	0,851
<i>As_croûte fleur</i>	< 0,0001	0,830	0,044	0,135	0,167	0,009
<i>Ar chèvre</i>	< 0,0001	0,214	0,419	0,039	0,805	0,177
<i>Ar fruitée</i>	< 0,0001	0,056	0,660	0,350	0,412	0,613
<i>A_piquant</i>	< 0,0001	0,096	0,030	0,221	0,732	0,750
<i>Ar lactée</i>	< 0,0001	0,705	0,002	0,771	0,119	0,169
<i>S amer</i>	< 0,0001	0,014	0,003	0,294	0,358	0,313
<i>S salé</i>	< 0,0001	0,137	0,040	0,796	0,027	0,924
<i>S acide</i>	< 0,0001	0,855	0,369	0,557	0,013	0,678
<i>_ dureté</i>	< 0,0001	0,938	< 0,0001	0,638	0,573	0,147
<i>T humidité</i>	< 0,0001	0,025	< 0,0001	0,544	0,166	0,216
<i>T granulosité</i>	< 0,0001	0,076	< 0,0001	0,154	0,008	0,036
<i>T crémeux</i>	< 0,0001	0,408	< 0,0001	0,848	0,406	0,211
<i>T pâteux</i>	< 0,0001	0,913	0,475	0,204	0,000	0,650
<i>_ collant</i>	< 0,0001	0,963	0,002	0,054	< 0,0001	0,385
tot significatif		6	16			

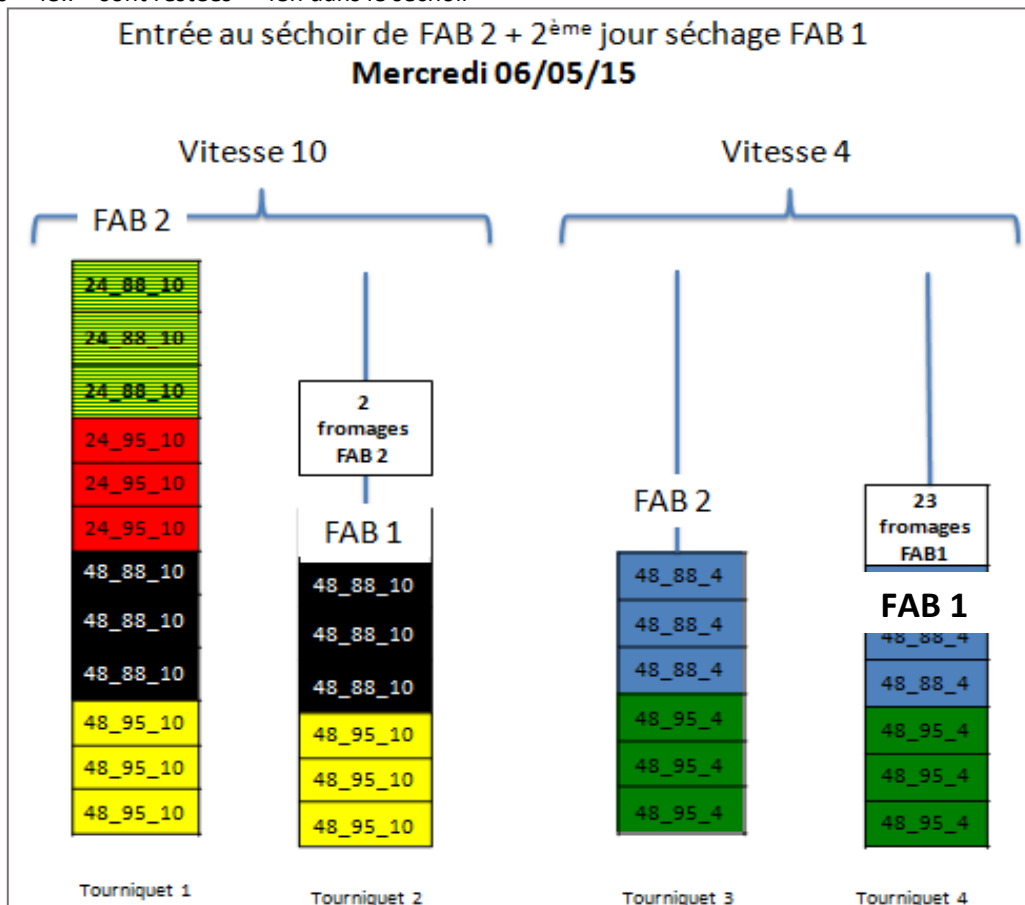


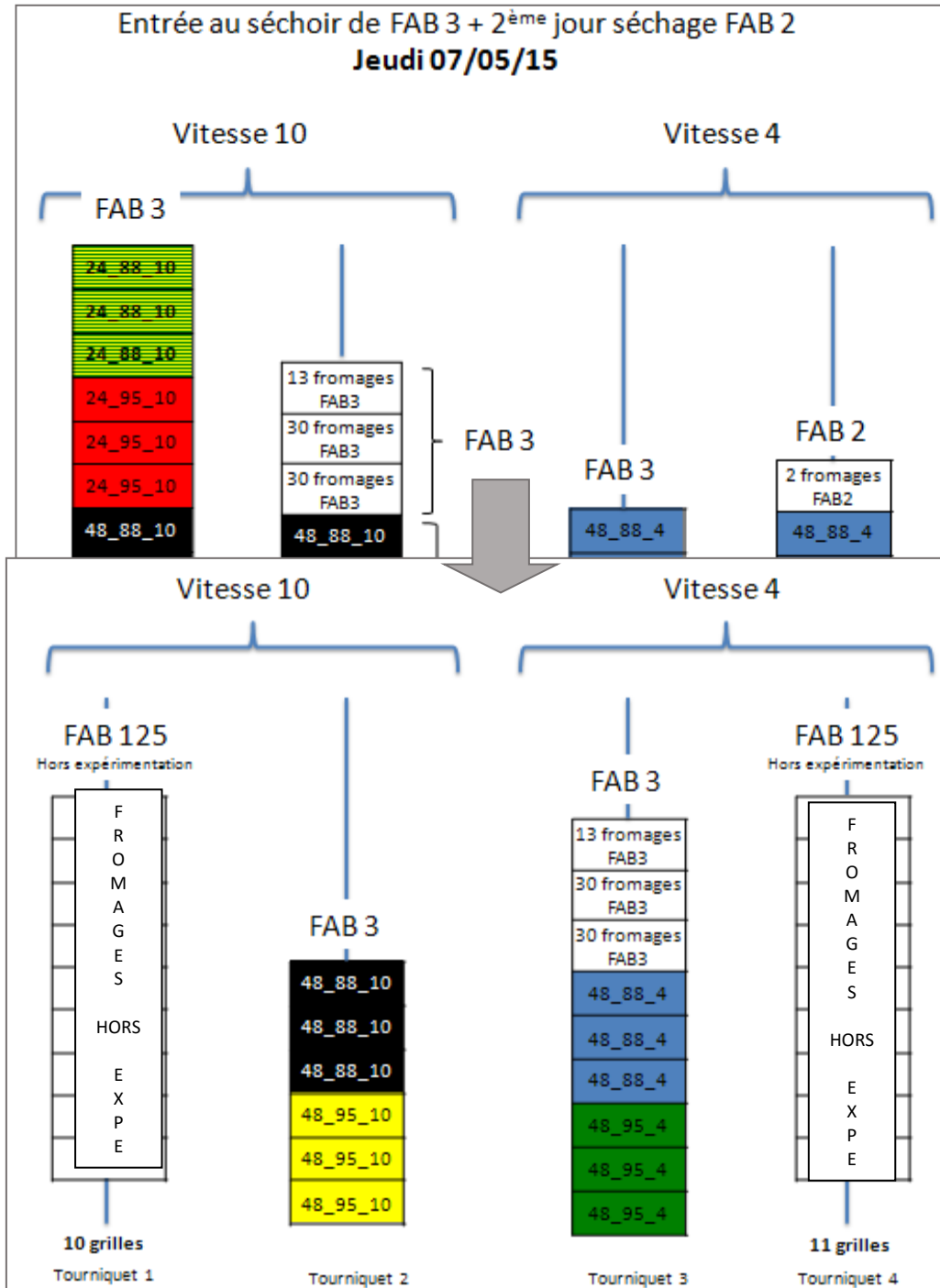
ANNEXE 2 – PRADEL - DISPOSITION DES MODALITÉS DANS LE SÉCHOIR ET ENTRÉES DANS LES HÂLOIRS

Chaque cube de couleur représente une grille de fromage codée selon sa modalité. Les cubes blancs représentent des fromages "hors expérimentation" présents dans le séchoir, c'est-à-dire : soit les fromages supplémentaires de chaque fabrication expérimentale, soit les fromages des autres fabrications traditionnelles, moulés en parallèle (FAB N°125).

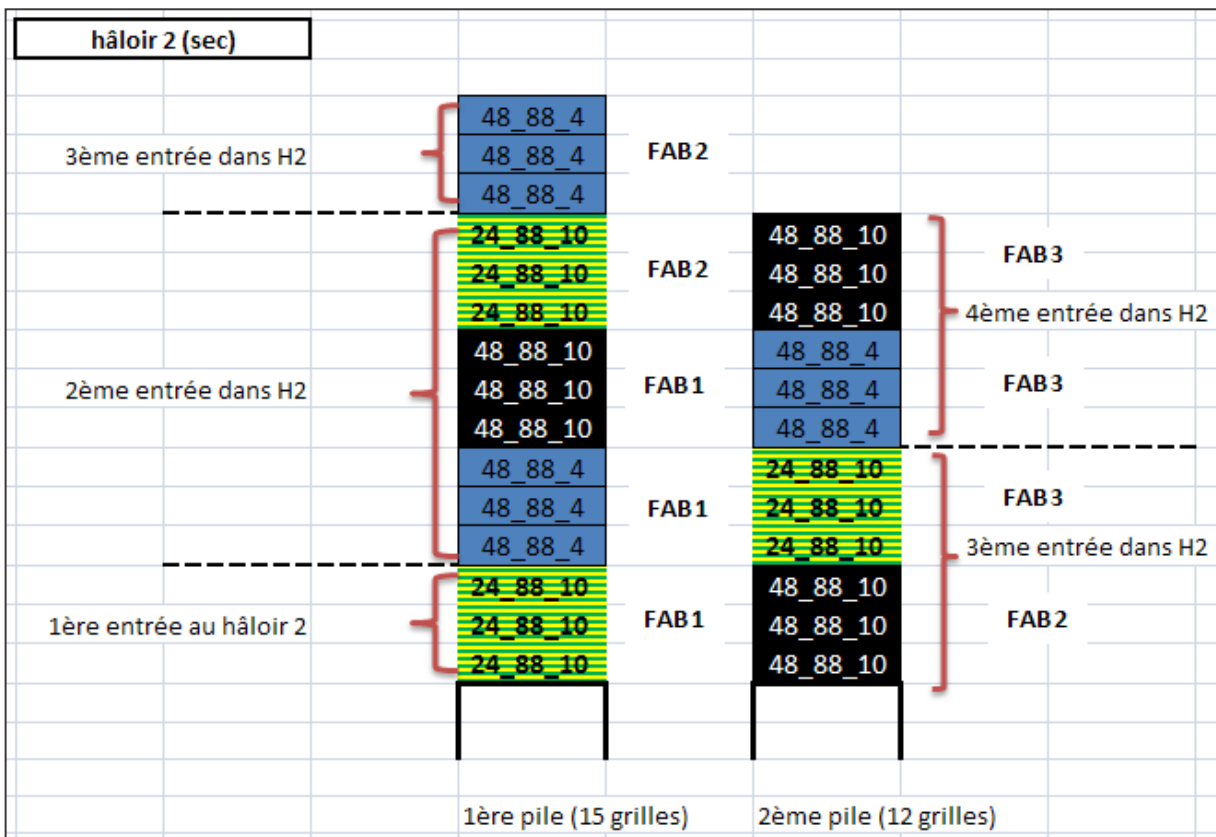
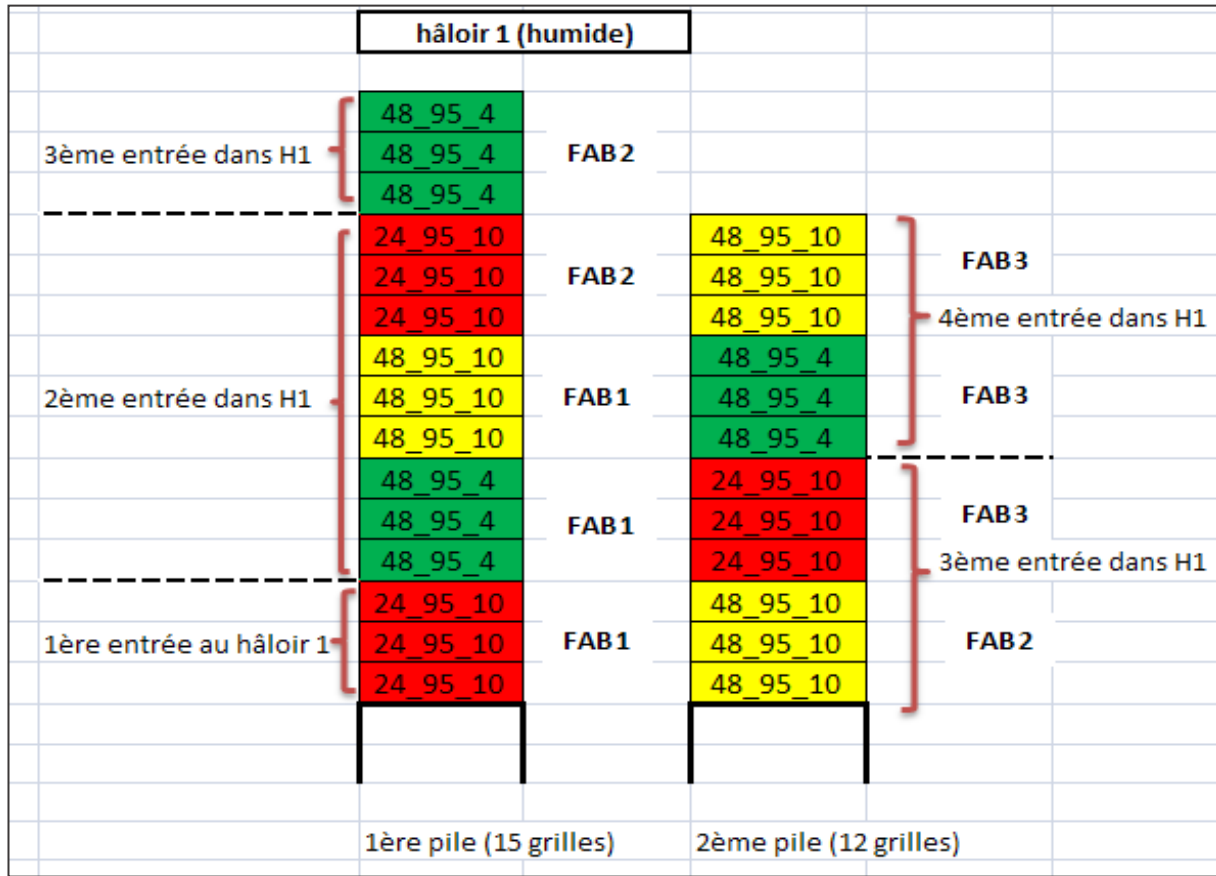


Toutes les grilles « 24.. » sont restés 24h dans le séchoir.
Toutes les grilles « 48.. » sont restées 48h dans le séchoir









Empilement des différentes modalités dans le hâloir 1 (humide) et dans le hâloir 2 (sec) à chaque sortie du séchoir


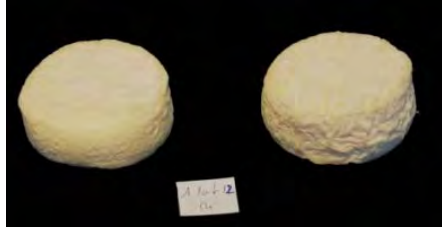

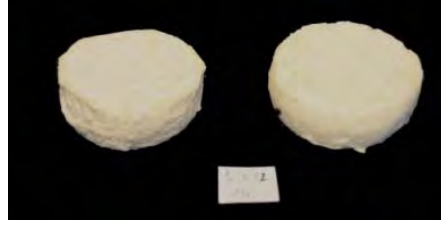


ANNEXE 3 – POLIGNY – DESCRIPTION DES FROMAGES EXPERIMENTAUX À DIFFERENTS STADES


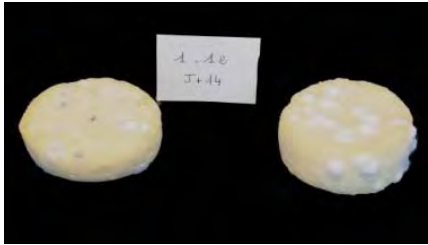


Sortie séchoir

	1-11	1-12	1-21	1-22
				
Forme Extérieure	Pas régulier	Pas régulier		Pas régulier
Aspect croûte	Petits plis homogènes	Petits plis homogènes		Petits plis homogènes
Couleur dominante	Ivoire-crème	Ivoire-crème		Ivoire-crème
Remarques	Manque de géo	Manque de géo		Manque de géo
Texture au couteau à la coupe	Ferme Friable	Ferme Friable		Ferme Friable
Aspect à la coupe	Reste en place	Reste en place		Reste en place
Aspect de la pâte au niveau de la coupe	Lisse Compacte Léger cassant	Lisse Compacte Léger cassant		Lisse Compacte


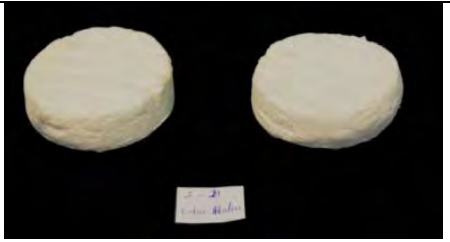
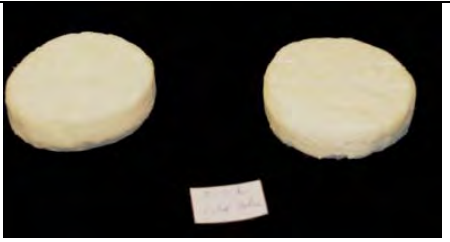
J+7

	1-11	1-12	1-21	1-22
				
Forme Extérieure	Pas régulier	Régulier	Pas régulier	Pas régulier
Aspect croûte	Petits plis homogènes	Nombreux plis homogènes	Nombreux plis homogènes	Nombreux plis homogènes
Couleur dominante	Ivoire-crème	Ivoire-crème	Ivoire-crème et blanche	Ivoire-crème
Répartition de la couleur de croûte blanche	Nombreux gros spots, début de duvet	Entièrement couvert de duvet	Entièrement couvert de duvet + quelques spots	Entièrement couvert de duvet
Texture au couteau à la coupe	Ferme Friable	Ferme Friable	Ferme Friable	Ferme Friable
Aspect à la coupe	Reste en place	Reste en place	Reste en place	Reste en place
Aspect de la pâte au niveau de la coupe	Lisse Compacte	Lisse Compacte	Lisse Compacte	Lisse Compacte
Protéolyse	< 2 mm	< 2 mm	< 2 mm	-

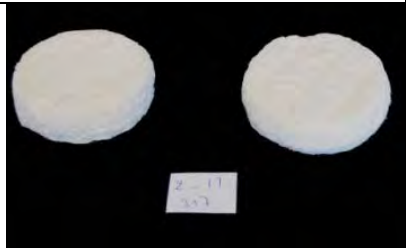
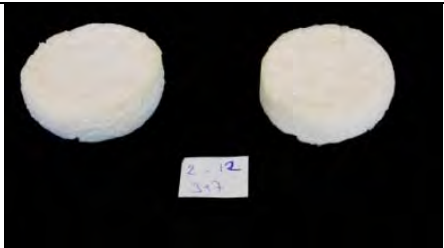


J+14

	1-11	1-12	1-21	1-22
				
Forme Extérieure	Pas régulier	Régulier	Pas régulier	Régulier
Aspect croûte	Peau de crapaud	Petits plis homogènes	Nombreux plis homogènes	Petits plis homogènes
Couleur dominante	Ivoire-crème Blanche	Ivoire-crème Blanche	Ivoire-crème Blanche	Blanche
Répartition de la couleur de croûte blanche	> 16 spots	1 à 5 spots	Entièrement couvert de duvet, sauf sur les bords + quelques spots	Entièrement couvert de duvet + quelques spots
Répartition de la couleur de croûte bleue	1 à 5 spots	1 à 5 spots		
Répartition de la couleur de croûte grise	Nombreuses tâches			
Texture au couteau à la coupe	Peu ferme Pas friable	Très ferme Pas friable	Très ferme Pas friable	Ferme pas friable
Aspect à la coupe	Reste en place	Reste en place	Reste en place	Reste en place
Aspect de la pâte au niveau de la coupe	Lisse Compacte	Lisse Compacte Un peu cassante	Lisse Compacte Un peu cassante	Lisse Compacte
Protéolyse	1 mm	-	-	-

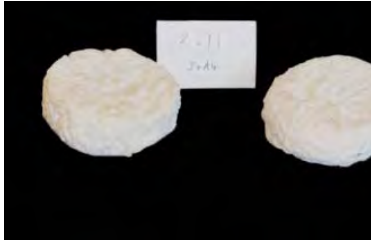



Sortie séchoir

	2-11	2-12	2-21	2-22
				
Forme Extérieure	Pas régulier	Pas régulier	Régulier	Régulier
Aspect croûte	Lisse sans flore avec Petits plis homogènes	Lisse sans flore	Lisse sans flore	Lisse sans flore
Couleur dominante	Ivoire-crème	Ivoire-crème	Ivoire-crème	Ivoire-crème
Remarques				
Texture au couteau à la coupe	Peu ferme Friable	Peu ferme Friable	Peu ferme Friable	Peu ferme Friable
Aspect à la coupe	Reste en place	Reste en place	Reste en place	Reste en place
Aspect de la pâte au niveau de la coupe	Lisse Compacte	Lisse Compacte	Lisse Compacte	Lisse Compacte


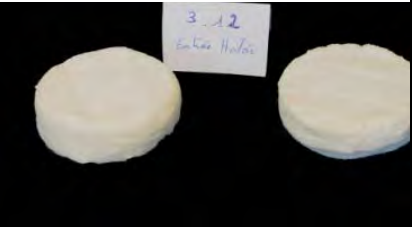


J+7

	2-11	2-12	2-21	2-22
				
Forme Extérieure	Régulier	Régulier	Pas régulier	Pas régulier
Aspect croûte	Petits plis homogènes + légère peau de crapaud	Petits plis homogènes	Petits plis homogènes + peau de crapaud Coulante	Nombreux plis homogènes + peau de crapaud
Couleur dominante	Blanche	Ivoire-crème et blanche	Blanche	Ivoire-crème et blanche
Répartition de la couleur de croûte blanche	Entièrement couvert de duvet	Entièrement couvert de duvet, sauf bord	Entièrement couvert de duvet	Entièrement couvert de duvet
Texture au couteau à la coupe	Ferme	Ferme	Ferme	Ferme
Aspect à la coupe	Reste en place	Reste en place	Reste en place	Reste en place
Aspect de la pâte au niveau de la coupe	Lisse Compacte	Lisse Compacte	Lisse Compacte	Lisse Compacte
Protéolyse	-	-	1 mm	1 mm

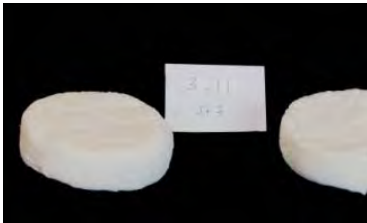
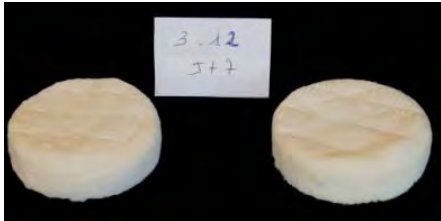
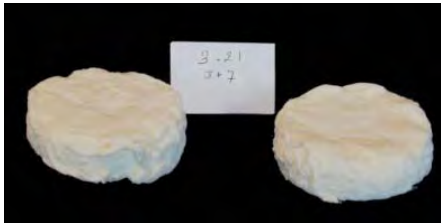
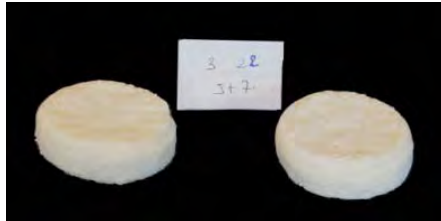
J+14

	2-11	2-12	2-21	2-22
				
Forme Extérieure	+ ou - régulier	Régulier	Pas régulier	Régulier
Aspect croûte	Peau de crapaud	Nombreux plis homogènes	Peau de crapaud	Nombreux plis homogènes
Couleur dominante	Blanche	Ivoire-crème /Blanche	Blanche	Blanche
Répartition de la couleur de croûte blanche	Entièrement couvert de duvet	Entièrement couvert de duvet , un peu moins le bord	Entièrement couvert de duvet	Entièrement couvert de duvet
Répartition de la couleur de croûte bleue				
Répartition de la couleur de croûte grise				
Texture au couteau à la coupe	Ferme Pas friable	Très ferme Pas friable	Ferme pas friable	Ferme pas friable
Aspect à la coupe	Reste en place	Reste en place	Reste en place	Reste en place
Aspect de la pâte au niveau de la coupe	Lisse Compacte Cassante	Lisse Compacte Cassante	Lisse Compacte Cassante	Lisse Compacte Cassante
Protéolyse	1 mm	-	La croûte se détache	1 à 2 mm





Sortie
séchoir

	3-11	3-12	3-21	3-22
				
Forme Extérieure	Régulier	Régulier	+ ou - régulier	Régulier
Aspect croûte	Lisse sans flore	Lisse sans flore	Lisse sans flore	Lisse sans flore
Couleur dominante	Ivoire-crème	Ivoire-crème	Ivoire-crème	Ivoire-crème
Remarques				
Texture au couteau à la coupe	Peu ferme Pas friable	Ferme Pas friable	Peu ferme Pas friable	Ferme Pas friable
Aspect à la coupe	Reste en place	Reste en place	Reste en place	Reste en place
Aspect de la pâte au niveau de la coupe	Lisse Compacte	Lisse Un peu compacte	Lisse Compacte	Lisse Un peu compacte

J+7

	3-11	3-12	3-21	3-22
				
Forme Extérieure	Régulier	Régulier	Pas régulier	Régulier
Aspect croûte	Nombreux plis homogènes	Nombreux plis homogènes	Peau de crapaud	Nombreux plis homogènes
Couleur dominante	Ivoire-crème	Ivoire-crème	Ivoire-crème	Ivoire-crème et blanche
Répartition de la couleur de croûte blanche	Nombreux gros spots, début de duvet	Nombreux gros spots, début de duvet	Nombreux gros spots, début de duvet	1 à 5 spots
Texture au couteau à la coupe	Ferme Pas friable	Très ferme Pas friable	Peu ferme Pas friable	Ferme Pas friable
Aspect à la coupe	Reste en place	Reste en place	Reste en place	Reste en place
Aspect de la pâte au niveau de la coupe	Lisse Compacte	Lisse Compacte Cassante	Lisse Compacte Un peu cassante	Lisse Compacte Un peu cassante
Protéolyse	-	-	croûte se détache	-

J+14

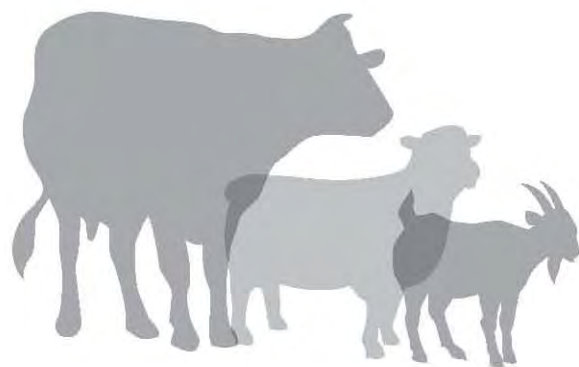
	3-11	3-12	3-21	3-22
				
Forme Extérieure	Régulier	Régulier	Pas régulier	Régulier
Aspect croûte	Couverture lisse homogène	Lisse sans flore	Peau de crapaud	Lisse sans flore
Couleur dominante	Ivoire-crème	Ivoire-crème	Blanche	Ivoire-crème
Répartition de la couleur de croûte blanche			Entièrement couvert de duvet	
Répartition de la couleur de croûte bleue			Nombreux spots	
Répartition de la couleur de croûte grise				
Texture au couteau à la coupe	Peu ferme Pas friable	Ferme Pas friable	Peu ferme Pas friable	Peu ferme Pas friable
Aspect à la coupe	Reste en place	Reste en place	Croûte qui coule	Reste en place
Aspect pâte au niveau de la coupe	Lisse	Compacte Cassante	Lisse Beaucoup de trous	Lisse
Protéolyse	< 1 mm	< 1 mm	< 1 mm	< 1 mm

Effets des paramètres d'ambiance dans les locaux d'affinage sur la qualité des fromages en conditions expérimentales au laboratoire et en locaux pilotes

Action 2 du projet « Qualité des fromagers fermiers lactiques : locaux et maîtrise de l'affinage (LACTAFF) » -
Projet Casdar 1270

Cette étude est la deuxième partie du programme CASDAR LACTAFF 2012-2015 (« Qualité des fromages fermiers lactiques : locaux et maîtrise de l'affinage ») dont un des objectifs était d'acquérir des connaissances et des références techniques adaptées au contexte fermier, pour une technologie qui avait été peu décrite dans la bibliographie, bien que la plus courante à être utilisée à la ferme, la technologie lactique. Ces connaissances sont essentielles pour la maîtrise de la qualité des produits, qui conditionne la pérennité et la santé financière des exploitations fermières. Cette action avait pour objectif de quantifier les effets des paramètres d'ambiance (température, humidité relative, teneur en CO₂) sur la qualité des fromages. La première partie de cette action (2-1) a permis de quantifier au laboratoire les effets des paramètres d'ambiance indépendamment les uns des autres sur l'évolution de la qualité du produit au cours des phases de séchage en séchoir et d'affinage au hâloir. La deuxième partie (2-2) a permis de vérifier sur quelques combinaisons de paramètres d'ambiance que la maîtrise de ces derniers est possible à l'échelle de locaux pilotes comparables à des locaux fermiers, et que cette maîtrise permet d'observer les mêmes effets que ceux observés au laboratoire sur la qualité des produits.

Le rôle clé de l'hygrométrie a été mis en évidence en affinage, ainsi qu'au séchage où la vitesse d'air joue cependant un rôle encore plus important. Les effets des paramètres d'ambiance sur la composition physico-chimique et les caractéristiques sensorielles des fromages ont été quantifiés pour un type de fromage donné. Le taux de CO₂ de l'ambiance s'avère peu variable dans les fermes et a peu d'effet sur la qualité des fromages. Les résultats de ces expérimentations ont été utilisés pour alimenter et illustrer les fiches techniques et la formation élaborées dans le cadre du programme LACTAFF.



Édité par :
L'Institut de l'Élevage
www.idele.fr

Dépôt légal :
4^{ème} trimestre 2016
© Tous droits réservés à l'Institut de l'Élevage
Décembre 2016
Réf. 00 16 403 037
ISSN 1773-4738