

Etablissement des barèmes de décontamination par un procédé de granulation sur les aliments porc, pondeuse, poulet et dinde

Les règlements européens 183/2005 du 12/01/05 et 2160/2003 du 17/11/03, conduisent le secteur de l'alimentation animale à renforcer sa maîtrise du risque salmonelle. La traduction française de ces règlements a été effectuée au travers de l'arrêté du 23 avril 2007. Celui-ci met notamment l'accent sur le traitement des aliments pour poules pondeuses reproductrices. Les aliments destinés aux autres espèces monogastriques (poulet, dinde, porc) pourront, éventuellement, être, par la suite, concernés par ce type d'exigences. Afin d'aider les industriels à apporter une réponse à cette demande, un programme a été mis en œuvre afin de démontrer et d'établir les conditions assurant un effet bactériolytique du procédé de granulation classique sur ces quatre aliments. La première phase de ce programme a eu pour principal objectif de déterminer les paramètres de granulation nécessaires à leur décontamination en entérobactéries sur une presse pilote : réduire de 3 log la contamination des aliments et d'obtenir des aliments contenant moins de 1000 entérobactéries par gramme en sortie de refroidisseur. Cet i'Tec permet non seulement de diffuser ces barèmes, mais aussi d'expliquer la méthode utilisée pour leur élaboration et l'utilisation que peuvent en faire les industriels.

1. Principe

Les essais à partir desquels les barèmes sont établis consistent à :

- granuler à débit constant des lots d'aliments poulet, dinde, porc, pondeuse à cinq températures différentes en sortie de conditionneur et à partir de cinq filières d'épaisseurs différentes (soit 5 temps de séjour en filière différents).
- réaliser des prélèvements destinés à des analyses microbiologiques avant traitement, après incorporation de vapeur et en sortie de refroidisseur pilote après granulation.
- envoyer les échantillons au laboratoire d'analyse en conditions maîtrisées.
- procéder à une analyse statistique des résultats afin de déterminer les conditions minimales de températures et de temps de

séjour en filière conduisant à une décontamination satisfaisante.

- déduire de la statistique, un barème associant, pour chaque aliment, le temps de séjour en filière à la température nécessaire en sortie de conditionneur.

2. Matériel

2.1. Aliments

Les aliments utilisés sont fabriqués en une seule fois. Les formules Poulet de chair et Dinde sont en majorité sur base de blé. L'aliment pondeuse est sur base maïs et contient 8.5 % de carbonate en farine. L'aliment porc est sur base blé et orge.

Les mesures physiques effectuées (Tableau 1) tendent à distinguer deux catégories d'aliments. Les aliments porc et pondeuse, d'une part, qui présentent des granulométries plus fines et un écoulement moins aisé. Les aliments poulet et dinde, d'autre part, qui s'écoulent plus facilement et qui sont plus grossiers.

	Porc	Pondeuse	Poulet	Dinde
Diamètre médian (µm)	542.0	515.6	656.3	635.4
M. Vol. apparente (g/l)	628	685	629	607
Angle de talus par éboulement (°)	65.0	65.7	63.7	58.9

Tableau 1 : Caractéristiques physiques des aliments

Afin d'assurer une contamination initiale suffisante, ces aliments sont surcontaminés par l'incorporation, en mélange, de déchets d'épaveuse de meunerie. Ces déchets contiennent 5.10^6 entérobactéries par gramme et sont incorporés à raison de 1 % dans les aliments pour assurer une contamination à 5.10^4 .

2.2. Matériel de granulation et de refroidissement

La ligne utilisée au cours de ces essais est constituée :

- d'une trémie portant une vis d'alimentation maîtrisant le débit
- d'un conditionneur 'classique' de 80 cm de

long et de 15 cm de diamètre

- d'une presse de 11 kW à filière annulaire tournante avec 5 filières
- de sondes de température installées dans l'ambiance, en sortie de trémie d'alimentation, de conditionneur et de manière ponctuelle pour les granulés en sortie de presse.

Un capteur de puissance et une carte d'acquisition permettent de suivre les différentes températures et la puissance appelée par la presse. Le débit de vapeur est également enregistré.

Par ailleurs, afin d'assurer le séchage des prélèvements effectués en sortie de presse, des sècheurs-refroidisseurs verticaux pilotes d'une contenance de 7 l sont employés.

2.3. Matériel de prélèvements et de conditionnement

Les prélèvements sont effectués avec des pelles métalliques désinfectées. Les prélèvements sont placés dans des sachets stériles puis stockés en chambre froide à +4°C. Les échantillons sont ensuite reconditionnés à l'aide de diviseurs à rifles désinfectés et envoyés au laboratoire d'analyse dans des caisses en polystyrène maintenues froides par des eutectiques congelés.

3. Méthode

3.1. Plan d'expérience

Les effets de 3 facteurs sont étudiés au cours de ces essais : le type d'aliment, le taux de compression et la température de consigne en sortie conditionneur. Dans ce but, un plan d'expérience 'étoile central composite' est mis en place pour chacun des aliments (Figure 1).

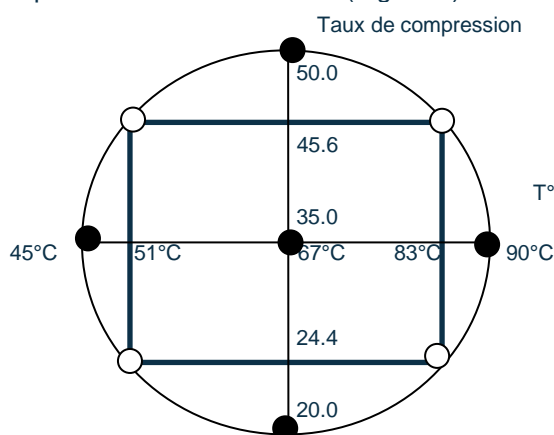


Figure 1 : Plan central composite appliqué

Ce plan correspond à un plan factoriel (points blancs) auxquels sont ajoutés cinq points expérimentaux (en noir) afin de balayer l'ensemble de l'espace expérimental défini. Le point central est répété plusieurs fois afin de tenir compte de l'influence de paramètres externes sur les résultats obtenus (Test de répétabilité). Ce plan permet de minimiser le nombre d'essais sur le domaine défini.

3.2. Etablissement des paramètres

Le débit appliqué au cours des essais (280 kg/h) est choisi afin de faire correspondre le temps de séjour obtenu avec la filière 4-35mm (point central) au temps de séjour moyen estimé en usine à 4 s. (Tableau 2). Le temps de séjour étant fonction du débit et de la masse d'aliment contenu dans la filière à un instant t (Temps de séjour = Masse de granulés dans la filière en grammes / Débit en gramme par seconde) et la masse d'aliment dans la filière étant connue, le débit peut être déterminé.

Température Sortie conditionneur (°C)	Epaisseur filière (mm)	Débit (kg/h)	Temps de séjour filière (s)
45	20	280	2.3
51	24.4	280	2.8
67	35	280	4.0
83	45.6	280	5.3
90	50	280	5.8

Tableau 2 : Paramètres de granulation

3.3. Déroulement des essais

Le premier prélèvement destiné à l'analyse microbiologique est effectué sur chaque lot en entrée de trémie avant traitement. La presse est ensuite démarrée avec de l'aliment natif jusqu'à obtenir la stabilisation des paramètres de granulation. Par la suite, les différents lots sont granulés aux paramètres prévus. Au cours de la granulation, durant une phase de prélèvement de 15 minutes par essai, 3 prélèvements de 150g sont effectués en sortie de conditionneur et placés dans des sachets stériles, puis dans une glacière au contact d'eutectiques à +4°C afin d'être refroidis. Trois prélèvements de 1 kg sont également effectués en sortie de presse et placés dans un refroidisseur pilote. Après séchage, un échantillon moyen est prélevé dans le refroidisseur par quartage. Les échantillons sont reconditionnés stérilement et envoyés en conditions froides au laboratoire d'analyse. Ce dernier détermine la flore en entérobactérie selon la Norme NF V08 054 à 37°C.

4. Résultats

4.1. Aliments poulet et dinde

A partir des résultats microbiologiques obtenus, un traitement statistique de régressions multilinéaires est réalisé afin de déterminer des modèles permettant de prédire : la décontamination en entérobactéries (ET-SR) de chaque aliment et la contamination finale en entérobactéries en fonction de la température en sortie de conditionneur et de l'épaisseur de filière pilote directement corrélée au temps de séjour dans la filière. Les modèles sont illustrés par des courbes d'isoreponse.

Afin de définir les barèmes, la première étape consiste à définir lequel des 2 modèles doit être retenu. Pour ces deux aliments, le modèle de

prédiction de la décontamination (ET-SR) correspond conditions les plus sévères, il est donc retenu. L'étape suivante consiste à définir quelle courbe d'isoréponse doit être suivie afin d'assurer l'atteinte des objectifs. Un premier barème, pour lequel aucune marge n'est prise, est ainsi établi en suivant la courbe 3 log. Ce barème, appelé barème sans marge, permet d'obtenir, en moyenne, une décontamination suffisante.

Afin de prendre en compte la variabilité des résultats et d'assurer, dans 95% des cas, une décontamination d'au moins 3 log, un deuxième barème est mis en place à partir d'une courbe d'isoréponse dont le calcul des intervalles de confiance a permis d'estimer une atteinte des objectifs dans 95 % des cas. Ce barème, appelé barème avec marge, correspond, pour l'aliment poulet, au suivi de la courbe \simeq de 4.5 log et, pour l'aliment dinde, au suivi de la courbe \simeq de 4 log.

Afin de pouvoir utiliser les barèmes en usine, les temps de séjour correspondant aux différentes épaisseurs de filière pilote sont établis. Suite aux essais de la première phase du programme, les temps de séjour ont été déterminés et ont ainsi permis de mettre en évidence une corrélation linéaire entre le temps de séjour et l'épaisseur de la filière utilisée (Figure 2).

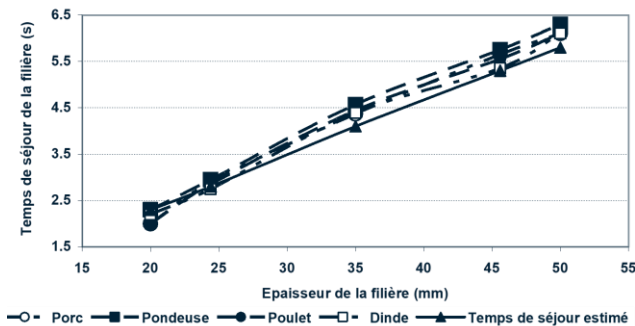


Figure 2 : Correspondance épaisseur de filière pilote – temps de séjour

Epaisseur filière pilote (mm)	Temps de séjour filière (s)	Barème avec marge (\simeq 4.5 log)	Barème sans marge (\simeq 3 log)
		Température sortie conditionneur (°C)	
20.0	2.0	87.0	77.5
22.5	2.5	88.0	
25.0	2.9	88.5	79.0
27.5	3.3	89.0	
30.0	3.7	89.0	79.5
32.5	4.1	88.0	
35.0	4.4	87.5	78.0
37.5	4.7	86.0	
40.0	5.0	84.5	74.0
42.5	5.2	82.5	71.0
45.0	5.5	80.0	67.5
47.5	5.8	77.0	61.0
50.0	6.1	72.5	T° minimum de 45°C

Tableau 3 : Barème de décontamination de l'aliment poulet

Une fois les deux barèmes établis, trois zones

apparaissent sur la Figure 4 et la Figure 3. Si les conditions de granulation correspondent à la zone avec marge, les objectifs de décontamination ont de fortes chances d'être atteints. La zone sans marge correspond à l'application de conditions situées entre les deux barèmes.

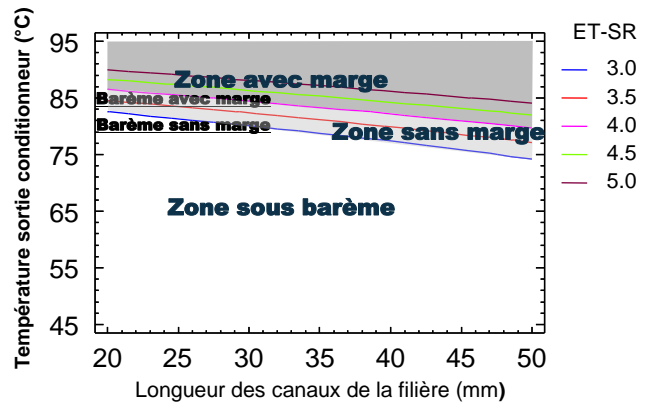


Figure 3 : Zones de décontamination de l'aliment dinde

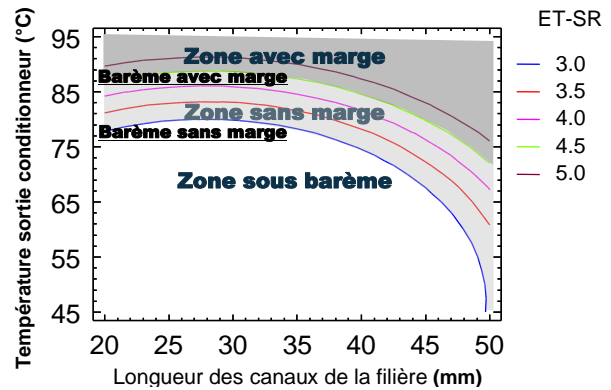


Figure 4 : Zones de décontamination de l'aliment poulet

Epaisseur filière pilote (mm)	Temps de séjour filière (s)	Barème avec marge (\simeq 4 log)	Barème sans marge (\simeq 3 log)
		Température sortie conditionneur (°C)	
20.0	2.2	86.5	82.5
22.5	2.5	86.0	
25.0	2.8	85.5	81.0
27.5	3.2	85.0	
30.0	3.6	84.5	80.0
32.5	4.0	84.0	
35.0	4.4	83.5	79.0
37.5	4.6	83.0	
40.0	4.8	82.5	77.0
42.5	5.1	81.5	
45.0	5.3	81.0	75.5
47.5	5.7	80.5	
50.0	6.1	80.0	74.0

Tableau 4 : Barème de décontamination de l'aliment Dinde

Il est possible d'atteindre les objectifs de décontaminations, toutefois, un risque est alors pris. La dernière zone (zone sous barème) correspond à l'application de paramètres en deçà des

recommandations. Dans ce cas, les chances de décontamination selon les objectifs sont faibles. Ces courbes et ces limites de zones sont traduites en barèmes dans le Tableau 3 et le Tableau 4.

4.2. Aliments porc et pondeuse

Pour ces deux aliments, la démarche opérée pour les deux précédents aliments ne permet pas d'obtenir de barème fiable. Ces deux aliments présentent un comportement en filière très différent des deux autres. Une autre démarche prenant en compte le fort échauffement en filière des deux aliments doit être suivie. Celle-ci consiste à prédire la température des granulés en sortie de filière à atteindre afin d'assurer une décontamination suffisante.

prédire par un deuxième modèle la température sortie conditionneur à appliquer pour une épaisseur de filière donnée afin d'atteindre la température en sortie de filière souhaitée.

4.2.1. Aliment porc

Pour l'aliment porc, deux modèles ont été établis afin de déterminer la température que doivent atteindre les granulés en sortie de filière afin d'atteindre les deux objectifs concernant la flore en entérobactéries. La première étape consiste à nouveau à déterminer le modèle à retenir. Le premier modèle (ET-SR) plus sévère est retenu. Pour établir le barème sans marge, la courbe d'isoréponse \approx de 3 log est suivie (courbe du bas, Figure 5). Le modèle indique qu'en moyenne, une température de granulés de 77°C permet d'assurer une décontamination suffisante.

Il est toutefois difficile de recommander une température de granulés, cette variable étant souvent subie au niveau industriel. Un deuxième modèle permettant de prédire la température en sortie de filière en fonction des paramètres stimulés est donc établi (Figure 5).

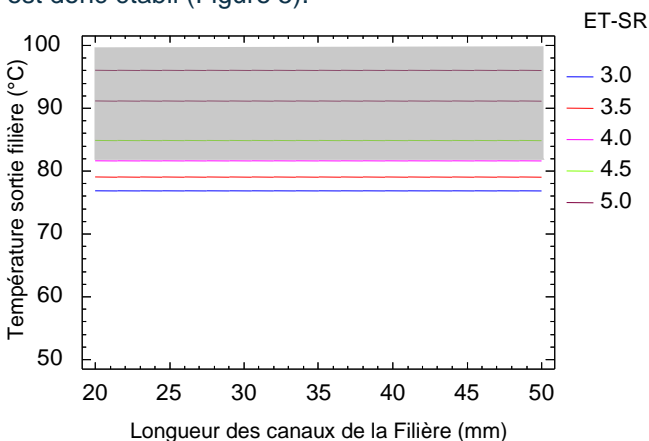


Figure 5 : Température sortie filière nécessaire à la décontamination en entérobactéries de l'aliment porc

Afin de connaître les conditions de granulation permettant d'atteindre 77°C en sortie de filière, la courbe « 77°C », matérialisée par la limite grisée intitulée 'barème sans marge' sur la Figure 6, est suivie. Ce barème sans marge est ainsi déterminé

(Tableau 5).

Pour établir le deuxième barème, deux marges sont appliquées. La première permet d'assurer que la température des granulés implique, dans 95% des cas, une décontamination suffisante.

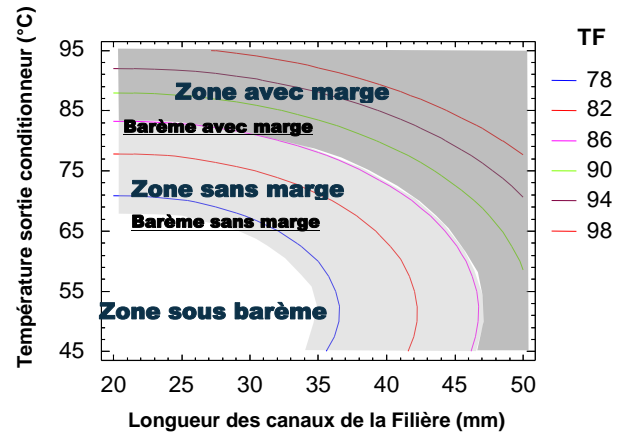


Figure 6 : Zones de décontamination de l'aliment porc

Épaisseur de la filière pilote associée (mm)	Temps de séjour filière (s)	Barème avec marge (\approx 4 log \Rightarrow 86°C sortie filière)	Barème sans marge (\approx 3 log \Rightarrow 77°C sortie filière)
		Température sortie conditionneur (°C)	
20.0	2.0	83.5	
22.5	2.5	83.0	
25.0	3.0	83.0	68.0
27.5	3.3	82.0	
30.0	3.7	81.0	
32.5	4.0	80.0	64.0
35.0	4.4	78.5	52.0
37.5	4.7	75.5	
40.0	5.0	72.5	
42.5	5.3	69.0	
45.0	5.6	61.0	T° minimum de 45°C
47.0	5.8	53.5	
> 47.0	> 5.8	T° minimum de 45°C	

Tableau 5 : Barème de décontamination de l'aliment Porc

Cette première marge correspond au suivi de la courbe de décontamination \approx 4 log qui demande une température en sortie de filière de 82°C (limite grisée en Figure 5). La deuxième marge est appliquée sur cette température pour déterminer quelle température sortie conditionneur permet de l'obtenir, sur une filière pilote donnée, dans 95% des cas. Cette deuxième marge correspond au suivi de la courbe 86°C de la Figure 6 (Barème avec marge). L'ensemble conduit au barème avec marge du Tableau 5.

4.3. Aliment pondeuse

Une démarche similaire à celle de l'aliment porc est suivie pour cet aliment. Toutefois, dans ce cas, le modèle de prédiction de la décontamination de l'aliment est plus sévère pour les filières les moins comprimantes alors que le modèle de prédiction de

la contamination en sortie de refroidisseur, l'est pour les filières les plus comprimantes.

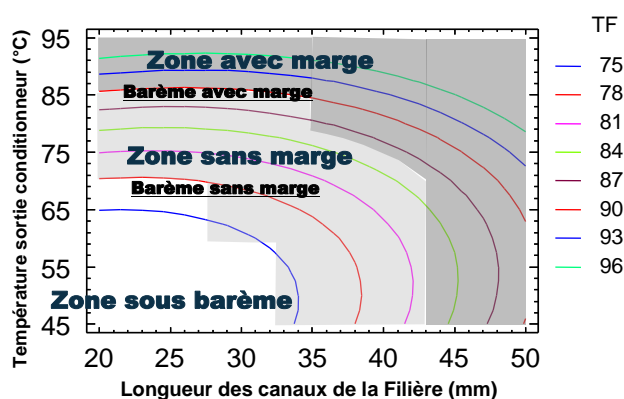


Figure 7 : Zones de décontamination de l'aliment pondeuse

Épaisseur de la filière pilote (mm)	Temps de séjour filière (s)	Barème avec marge	Barème sans marge
		Température sortie conditionneur (°C)	
20.0	2.3	85.0	70.0
22.5	2.7	85.0	
25.0	3.0	84.0	69.0
27.5	3.4	84.0	
30.0	3.8	83.0	61.0
32.5	4.2	83.0	
35.0	4.6	79.0	T° minimum de 45°C
37.5	4.9	77.0	
40.0	5.1	75.0	T° minimum de 45°C
42.5	5.4	71.0	
> 42.5	> 5.4	T° minimum de 45°C	

Tableau 6 : Barème de décontamination de l'aliment Pondeuse

Les deux modèles sont donc retenus en fonction du type de filière : le premier pour les filières d'épaisseur comprises entre 20 et 43 mm, le second pour les filières plus épaisses. Pour établir le barème sans marge, la courbe d'isoreponse \simeq de 3 log du modèle ET-SR puis la courbe 3 log du modèle SR sont suivies pour déterminer les températures de granulés à atteindre en fonction des filières. Le modèle de prédiction de la température des granulés est ensuite utilisé (Figure 7). Pour mettre en place le barème avec marge, les courbes \simeq de 4 log du modèle de prédiction de décontamination et présence de 2 log du modèle de prédiction de la contamination en sortie de refroidisseur sont retenues. A ces précautions, est ajoutée la marge prise pour le modèle de prédiction de la température qui aboutit à la mise en place du barème avec marge illustré par la limite basse de la zone avec marge (Figure 7). Le barème final des aliments pondeuses est donné dans le Tableau 6. Il est toutefois important de préciser que l'échauffement en filière de cet aliment est principalement expliqué par la présence de carbonate de calcium farine dans la formule. Le

choix de ce barème doit donc être opéré pour des aliments présentant cette même caractéristique. Dans le cas contraire, il est recommandé de se référer au barème de l'aliment poulet.

5. Application de ces barèmes sur les lignes industrielles

Afin d'adapter ces barèmes sur une ligne industrielle, il est indispensable de déterminer le temps de séjour de l'aliment dans la filière de la presse. Pour cela, plusieurs informations sont à collecter :

Le nombre de canaux de la filière

L'épaisseur comprimante de la filière

La masse de 1 cm de granulés

Le débit instantané de granulation, c'est-à-dire la quantité d'aliment passant réellement dans la filière par unité de temps

Le temps de séjour correspond alors au rapport entre la masse de granulés dans la filière et le débit instantané (Voir i'Tec S6). Le choix du barème réalisé, le temps de séjour déterminé, la température à assurer en sortie de conditionneur peut être connue via le barème.

6. Conclusion

Ces barèmes ont fait l'objet de 84 essais de validation sur sites industriels. Ils ont permis de constater que le barème sans marge est souvent suffisant, tant pour les aliments poulet, dinde, porc que pondeuse. Pour les aliments poulets, un essai effectué au barème sans marge conduirait à recommander, quel que soit le temps de séjour dans la filière, une température minimale de conditionnement de 68°C.

Pour les aliments pondeuses, il convient d'être prudent, car les sites industriels n'ont pas l'habitude de granuler ce type d'aliments et les conditions de granulation appliquées lors des essais n'étaient pas totalement optimisées.

Pour les aliments porc et pondeuse, les débits de granulation ont été inférieurs à ceux des aliments volaille, d'où des temps de séjour en filière assez longs. Ainsi, peu d'efforts d'évolutions sont nécessaires aux industriels pour appliquer les barèmes et les résultats obtenus tendent à montrer l'efficacité du barème sans marge grâce aux forts échauffements en filière.

Ces validations sur sites industriels sont une indication favorable, mais ne sont pas complètement significatives. Il convient donc à chacun de réaliser une adaptation de ces barèmes à ses propres lignes et à en valider l'efficacité dans les conditions de granulation choisies.