

anses

agence nationale de sécurité sanitaire
alimentation, environnement, travail



Connaître, évaluer, protéger

Mesures de maîtrise des salmonelles en filière porcine : état des connaissances et appréciation quantitative des risques

Avis de l'Anses

Rapport d'expertise collective

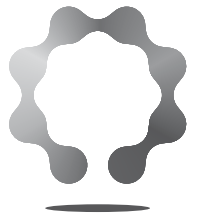
Septembre 2018

Édition scientifique



anses

agence nationale de sécurité sanitaire
alimentation, environnement, travail



Connaître, évaluer, protéger

Mesures de maîtrise des salmonelles en filière porcine : état des connaissances et appréciation quantitative des risques

Avis de l'Anses

Rapport d'expertise collective

Septembre 2018

Édition scientifique

Le directeur général

Maisons-Alfort, le 19 septembre 2018

AVIS

de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

relatif aux mesures de maîtrise des salmonelles en filière porcine : état des connaissances et appréciation quantitative des risques

L'Anses met en œuvre une expertise scientifique indépendante et pluraliste.

L'Anses contribue principalement à assurer la sécurité sanitaire dans les domaines de l'environnement, du travail et de l'alimentation et à évaluer les risques sanitaires qu'ils peuvent comporter.

Elle contribue également à assurer d'une part la protection de la santé et du bien-être des animaux et de la santé des végétaux et d'autre part à l'évaluation des propriétés nutritionnelles des aliments.

Elle fournit aux autorités compétentes toutes les informations sur ces risques ainsi que l'expertise et l'appui scientifique technique nécessaires à l'élaboration des dispositions législatives et réglementaires et à la mise en œuvre des mesures de gestion du risque (article L.1313-1 du code de la santé publique).

Ses avis sont publiés sur son site internet.

L'Anses a été saisie le 7 mars 2016 par la Direction générale de l'alimentation (DGAL) et la Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes (DGCCRF) d'une demande d'avis relatif aux mesures de maîtrise des salmonelles dans la filière porcine.

1. CONTEXTE ET OBJET DE LA SAISINE

Le règlement (CE) n°2160/2003 du Parlement européen et du Conseil du 17 novembre 2003 sur le contrôle des salmonelles et d'autres agents zoonotiques spécifiques présents dans la chaîne alimentaire prévoit, dans son annexe I, la fixation d'objectifs européens visant à réduire la prévalence des salmonelles dans les troupeaux de porcs charcutiers et les troupeaux de reproducteurs porcins. Préalablement à la fixation de ces objectifs, des enquêtes de prévalence ont été conduites dans chaque État membre, en 2006-2007 pour les porcs charcutiers et 2008 pour les reproducteurs porcins. La France se positionnait au 6^{ème} rang européen en termes de prévalence de *Salmonella* spp. dans la filière porcine. Les objectifs européens n'ont toujours pas été fixés au moment de la rédaction de ce texte.

Plusieurs études ont montré que les pratiques et les technologies utilisées lors de l'abattage des porcs avaient un impact important sur la prévalence de *Salmonella* spp. sur les carcasses. De plus, les procédures particulières de certaines salaisons sèches posent la question de leur efficacité au regard de la sécurité sanitaire des produits, dans le cas où les transformateurs utilisent des viandes potentiellement contaminées par *Salmonella* spp. La DGAL a réactivé, en 2012 et 2013, les réflexions menées dans ce domaine depuis plusieurs années et a réuni l'ensemble des acteurs des maillons de la filière afin de présenter l'état d'avancement des travaux

et d'échanger sur la stratégie de lutte. INAPORC (Interprofession de la filière porcine) et les représentants des différentes familles professionnelles ont présenté, lors des différentes rencontres, un projet de programme de lutte à la DGAL.

Par ailleurs, la Commission européenne a demandé à l'Autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA) de réaliser une appréciation quantitative des risques (AQR) pour le consommateur, liés à la présence de *Salmonella* spp. chez les porcs charcutiers et reproducteurs. Compte-tenu de la variabilité des données entre les Etats membres, l'avis rendu par l'EFSA souligne l'intérêt d'utiliser les modèles qui y sont développés, en y intégrant des données nationales.

Dans ce contexte, l'Anses a été saisie par la DGAL et la DGCCRF afin de mener les travaux suivants :

- 1 – Réaliser un état des connaissances sur l'efficacité des mesures de maîtrise pouvant être mises en œuvre dans la filière et évaluer leur impact sur la réduction du risque pour le consommateur.
- 2 - Définir des points de gestion prioritaires, de la fourche à la fourchette, pour maîtriser le risque de salmonellose pour le consommateur, en se basant sur une modélisation intégrée (c'est-à-dire sur l'ensemble des maillons de la filière) inspirée du modèle d'appréciation quantitative du risque (AQR) de l'EFSA (EFSA 2010b).

2. ORGANISATION DE L'EXPERTISE

L'expertise a été réalisée dans le respect de la norme NF X 50-110 « Qualité en expertise – Prescriptions générales de compétence pour une expertise (Mai 2003) ».

L'expertise relève du domaine de compétences du Comité d'experts spécialisé (CES) « Evaluation des risques biologiques dans les aliments » (CES BIORISK). L'Anses a confié l'expertise au groupe de travail (GT) « Mesures de maîtrise des salmonelles en filière porcine ». Le GT s'est réuni seize fois, de juin 2016 à juin 2018. Les travaux ont été présentés au CES BIORISK tant sur les aspects méthodologiques que scientifiques lors des réunions du 16 octobre 2016, 20 avril 2017, 10 avril 2018, 15 mai 2018, 19 juin 2018 et 11 juillet 2018. Ils ont été adoptés par le CES BIORISK le 11 juillet 2018.

L'Anses analyse les liens d'intérêts déclarés par les experts avant leur nomination et tout au long des travaux, afin d'éviter les risques de conflits d'intérêts au regard des points traités dans le cadre de l'expertise.

Les déclarations d'intérêts des experts sont publiées sur le site internet de l'Anses (www.anses.fr).

L'expertise du GT s'est déroulée en trois phases. Tout d'abord, afin de répondre à la première partie de la saisine (état des lieux), le GT a mené une revue approfondie et critique de la littérature sur les mesures de maîtrise en filière porcine en France et à l'étranger, à l'élevage, pendant le transport et l'attente, à l'abattoir, pendant la transformation, à la distribution et à la consommation. Les programmes de maîtrise mis en place par les professionnels et les autorités compétentes ont également été identifiés.

En parallèle, dans l'objectif de répondre à la seconde partie de la saisine (définition des points de gestion prioritaires pour maîtriser les risques), une revue des modèles d'AQR disponibles depuis 2009 a été conduite et le modèle européen a été adapté à la situation française. Les données à collecter ont été identifiées.

Une approche intégrée de la filière porcine française a été retenue et le modèle (appelé SiPFR¹) permet de suivre l'évolution de la prévalence de l'infection et de la concentration en *Salmonella*

¹ SiPFR pour *Salmonella* in Pig for France (EFSA 2010b).

depuis l'élevage jusqu'à l'assiette du consommateur. La probabilité de tomber malade pour l'Homme est obtenue grâce à l'intégration d'un modèle dose-réponse à SiPFR.

Enfin, des scénarios d'application de mesures de maîtrise, définis grâce aux connaissances acquises lors de la revue approfondie de la bibliographie, ont été testés et l'analyse des points de gestion prioritaires a été menée en mesurant l'impact relatif d'un scénario par rapport au scénario de référence sur la réduction du nombre de cas de salmonellose humaine.

3. ANALYSE ET CONCLUSIONS DU CES BIORISK

3.1. Revue approfondie de la bibliographie et description de la filière

La première étape des travaux a consisté à décrire les différentes étapes de la filière porcine, de l'élevage jusqu'aux produits transformés à base de porc.

3.1.1. Revue approfondie

Pour mener à bien cette tâche, le GT s'est basé sur l'expertise des membres qui le composent et a complété ses connaissances en menant des auditions de représentants des professionnels, des administrations et en visitant un abattoir de porcs.

Les mesures de maîtrise identifiées dans la bibliographie et la littérature grise ont été listées. Pour certaines de ces mesures, des « verrous² » potentiels à leur mise en œuvre en France ont été relevés.

L'évaluation de l'efficacité des mesures de maîtrise, à leur point d'application, a été réalisée grâce à la revue approfondie de la littérature, suivant la méthodologie du document guide de l'EFSA (2010a).

Sur les 1 503 articles sélectionnés initialement, 119 ont fait l'objet d'une lecture approfondie. Afin d'extraire et traiter de façon systématique les données qualitatives et quantitatives, un outil d'évaluation critique (OEC) a été développé en suivant les recommandations de l'EFSA (2015). A chaque publication, les experts ont attribué un score basé sur la pertinence de la méthode d'étude d'impact (choix de la méthode analytique, groupe témoins/tests, population testée), les hypothèses, les biais et la qualité globale de l'étude. Cette méthode d'analyse des publications permet d'évaluer chaque mesure de maîtrise de manière transparente et harmonisée. Le niveau de preuve, également établi pour chaque article, permet d'évaluer l'incertitude liée aux données extraites.

Seuls les articles avec un niveau de preuve estimé satisfaisant (associant la pertinence de la méthode d'évaluation de l'efficacité et un niveau de biais probablement ou formellement bas) sont pris en compte par le GT pour faire le bilan de l'efficacité des interventions et leur intégration dans la modélisation.

3.1.2. Audition de l'Institut technique et des représentants des professionnels de la filière porcine

Afin de mieux appréhender la diversité des pratiques, en termes de procédés de fabrication et de mesures de maîtrise (pratiques, contraintes, faisabilité, expérience d'évaluation d'efficacité de mesures de maîtrise aux différents maillons), le GT a auditionné des professionnels de la filière porcine et de l'institut technique concerné.

² Verrou : obstacle qui empêche la mise en œuvre d'une mesure de maîtrise en France. Les verrous peuvent être de cinq types (réglementaire, technologique, organoleptique, économique, sociétal).

Ces auditions ont permis d'échanger sur les mesures actuellement en place et sur l'historique des actions entreprises par les professionnels. Des données techniques et économiques ont également été transmises à l'Anses au cours et à l'issue de ces auditions.

Enfin, le GT a conduit une revue des programmes de maîtrise des salmonelles en filière porcine mis en place par les autres États membres depuis 2010.

3.2. Méthodologie de modélisation intégrée pour l'évaluation de l'impact des mesures de maîtrise sur la réduction du risque de salmonellose humaine

3.2.1. Choix du modèle

Une revue critique des modèles d'AQR existants a été menée par le GT :

- le modèle d'AQR de salmonellose humaine suite à la consommation de viandes fraîches porcines, en Belgique, issu du projet METZOOM (Bollaerts *et al.* 2010).
- le modèle d'infection par les salmonelles en troupeau porcin, développé par l'Institut national de la recherche agronomique (Lurette *et al.* 2011, Lurette 2007) : SalMoPiB v2.0 - Copyright INRA, 2011-2017 (transmis à l'Anses dans le cadre des travaux du GT).
- le modèle intégré d'AQR développé par le Consortium FCC³ pour l'EFSA (FCC Consortium, 2010).

L'approche retenue par le GT est basée sur le modèle EFSA (mis à la disposition du GT par le Consortium FCC) et reprend l'ensemble des modules proposés. Pour l'adaptation de ce modèle à la situation française, les travaux de modélisation ont été réalisés avec les logiciels MatLab® et Scilab®.

La structure générale de modélisation utilisée par l'EFSA (2010b) a été reprise pour SiPFR, et est présentée dans la figure 1.

³ Consortium mandaté par l'EFSA pour réaliser une AQR lié à *Salmonella* chez les porcs reproducteurs et charcutiers (FCC Consortium 2010).

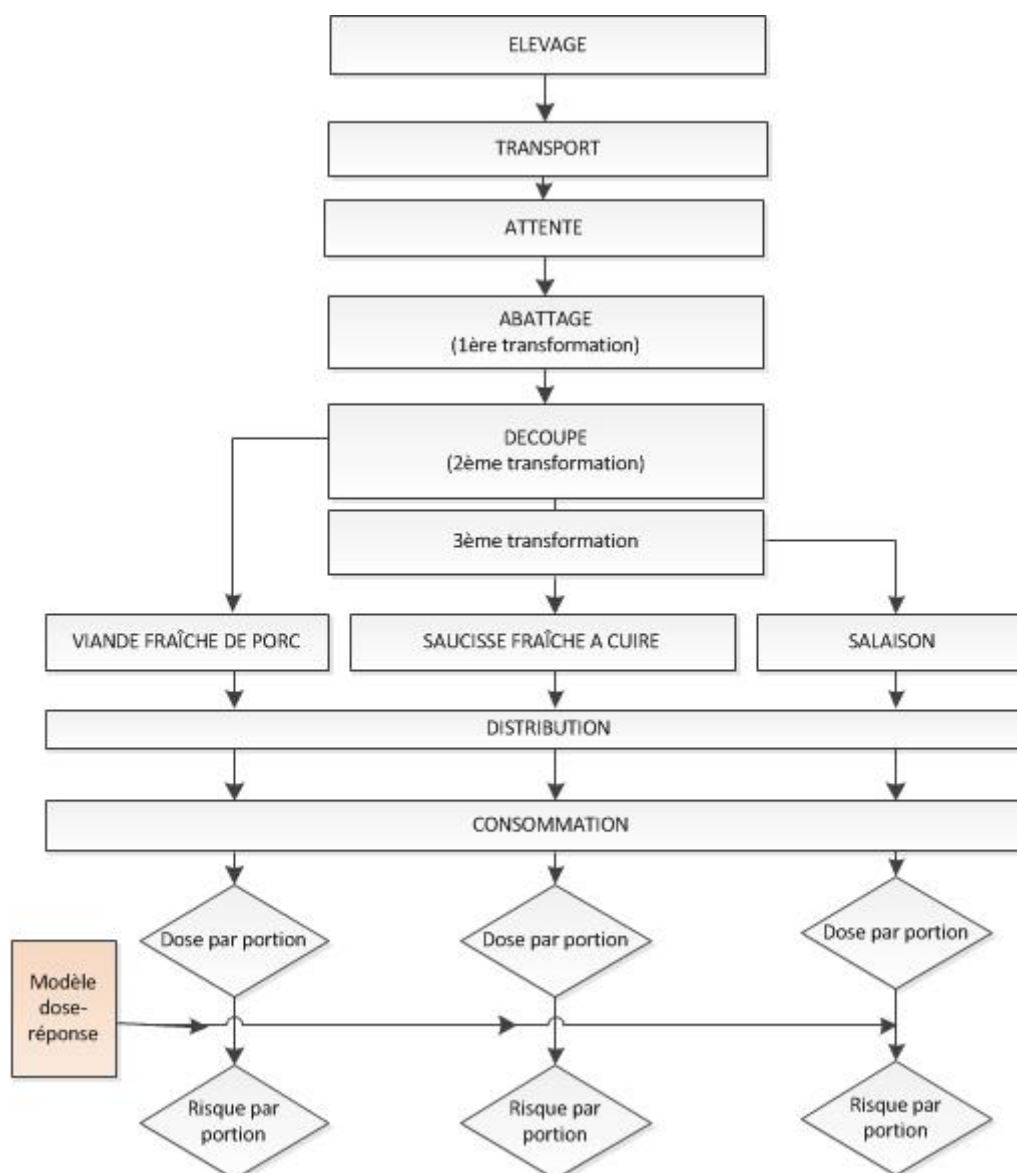


Figure 1. Structure générale du modèle d'évaluation du risque lié à la contamination par *Salmonella* spp. dans la filière porcine

Ce modèle a été retenu en particulier en raison de la possibilité de modifier ses paramètres en y intégrant les données françaises ainsi que certains éléments clés des modules notamment ceux portant sur la structure des élevages, les prévalences en alimentation animale et les points d'interventions.

La revue bibliographique et les auditions ont permis l'acquisition de nombreuses données utiles au paramétrage du modèle pour l'adapter au mieux aux caractéristiques de la filière porcine française.

Le modèle contient 165 paramètres (70 pour l'élevage, 39 pour le transport et l'attente, 27 pour l'abattoir, 5 pour la distribution et 24 pour la consommation des trois types de produits) qui ont été revus et modifiés par le GT. Certains d'entre eux, très spécifiques aux hypothèses de modélisation ou n'étant pas spécifiques d'un type de filière ou d'un pays, n'ont pas été revus par le GT.

3.2.2. Données de consommation

Les données de consommation utilisées pour estimer l'exposition alimentaire proviennent de l'étude INCA3 (Dubuisson *et al.* 2017), la troisième enquête nationale sur la consommation réalisée entre février 2014 et septembre 2015 en France métropolitaine, auprès de 2 698 enfants et adolescents de 17 ans et moins, et de 3 157 adultes de 18 à 79 ans, représentatifs de la France métropolitaine (hors Corse).

3.3. Le danger *Salmonella* spp. et les sources de contamination

Les salmonelles non typhiques sont responsables chez l'Homme et dans certaines conditions d'une infection principalement d'origine alimentaire, la salmonellose, caractérisée par des manifestations cliniques de type gastro-entérique.

Les salmonelloses humaines non typhiques sont des maladies zoonotiques. La transmission à l'Homme se fait essentiellement lors de la consommation d'aliments contaminés, crus ou peu cuits ou recontaminés après l'étape de cuisson, et dans lesquels la bactérie a eu la possibilité de se multiplier. La part de la transmission de l'infection, par la voie alimentaire, est estimée à 95 %. Les autres voies de transmission peuvent être directes, interhumaines ou par contact avec des animaux infectés ou un environnement contaminé.

En raison de leur caractère zoonotique et de leur implication fréquente dans les cas de maladies infectieuses d'origine alimentaire, *Salmonella* spp. représentent un danger sur lequel beaucoup d'efforts de surveillance sont portés, aussi bien pour les souches à l'origine de cas humains que pour celles isolées en médecine vétérinaire et dans le domaine agro-alimentaire. Le réservoir principal de *Salmonella* spp. est le tractus gastro-intestinal des mammifères (porcs, bovins) et des oiseaux (volailles domestiques).

Les *Salmonella* sont classées selon leur formule antigénique. Il existe une très grande diversité de sérovars (plus de 2 600). *S. Typhimurium* est le sérovar prédominant dans le domaine alimentaire, mais l'importance relative des sérovars varie avec le temps et les sources d'isolement. Cependant, tous les sérovars de *Salmonella enterica* subsp. *enterica* doivent être considérés comme potentiellement pathogènes pour l'Homme. Par conséquent, le GT a choisi de traiter ce danger indépendamment de la nature du sérovar, considérant que les mesures de maîtrise ont une action identique sur l'ensemble des salmonelles en filière porcine. Néanmoins, il faut noter que la majorité des travaux des publications de la revue bibliographique portent spécifiquement sur le sérovar Typhimurium.

En France, entre 2002 et 2017, treize épidémies ou toxi-infections alimentaires collectives (TIAC) associées à des produits d'origine porcine ont été recensées.

Le travail présenté ci-après a été réalisé pour les trois mêmes types d'aliments identifiés comme produits d'intérêt par l'EFSA en 2010 :

- la viande fraîche de porc, ne subissant aucune transformation après sa préparation dans un atelier de découpe et subissant une cuisson juste avant sa consommation ;
- les produits de saucisserie fraîche destinés à la cuisson ;
- les produits de salaison sèche.

3.4. Mesures de maîtrise sélectionnées par le groupe de travail

Le GT a inventorié les mesures de maîtrise actuellement ou potentiellement à la disposition des professionnels et des gestionnaires ; les résultats de l'analyse de leur efficacité sur la contamination par les salmonelles sont présentés ci-après.

3.4.1. Mesures de maîtrise des salmonelles à l'élevage

L'écologie et le caractère ubiquitaire des salmonelles dans l'environnement rendent multiples leurs voies d'entrée dans un élevage. La contamination peut provenir des animaux introduits dans l'élevage, notamment les cochettes pour les élevages naisseurs/engraisseurs, ou les porcelets pour les élevages engraisseurs, d'oiseaux, de rongeurs ou d'animaux de compagnie, du personnel (éleveurs, vétérinaires, techniciens), du matériel amovible, des véhicules circulant autour du bâtiment, ainsi que des visiteurs. La contamination peut également provenir de l'eau d'abreuvement ou des aliments destinés aux animaux.

Si les études n'ont, jusqu'à présent, pas permis de privilégier réellement l'une ou l'autre de ces voies, aucune ne peut cependant être exclue comme point de départ d'une contamination.

L'amplification de la contamination passe par la colonisation puis l'excrétion des salmonelles par les animaux. La capacité de rompre les cycles de contamination des lots successifs nécessite donc une excellente maîtrise non seulement des opérations de nettoyage et de désinfection, mais également de la mise en place de mesures de biosécurité, dont l'efficacité doit être validée. Dans ces conditions, en fonction du niveau de biosécurité appliqué dans un élevage, certaines voies de contamination peuvent prendre de l'importance : dans un élevage fermé et correctement protégé (exemple des élevages reproducteurs pour lesquels les dispositifs de biosécurité internes et externes⁴ sont renforcés), l'importance relative d'une introduction par la voie alimentaire peut devenir prédominante.

L'aliment destiné aux animaux constitue une des voies d'introduction des salmonelles dans les bâtiments d'élevage. La distribution des aliments aux porcs se réalise sous deux formes (sèche ou humide) en fonction de l'âge des animaux. Il existe très peu de données récentes sur le lien entre la distribution sous forme liquide (soupe) et la contamination des animaux par les salmonelles. Cependant, il semblerait que, dans ce type de distribution, une flore microbienne importante s'installe, généralement à dominante lactique et donc plutôt défavorable au développement des salmonelles (Corrége et Minvielle 2013).

Le GT en charge de la saisine liée 2016-SA-0029 pour des questions relatives aux salmonelles en alimentation animale (ANSES, 2018) a conclu que la contamination par *Salmonella* spp. des matières premières végétales et des aliments composés demeure un évènement rare (taux de contamination de l'ordre de 1 à 2%). Cependant, cette contamination peut entraîner celle des animaux et de leur environnement et par voie de conséquence, la présence de salmonelles dans les aliments destinés à l'Homme. Pour autant, « les données actuellement disponibles ne permettent pas de préciser quelle est la part de transmission de *Salmonella* spp. entre les différents maillons de la chaîne alimentaire, qui serait liée à l'alimentation animale ». L'application de Guides de Bonnes Pratiques d'Hygiène dans les établissements français de fabricants d'aliments composés et dans les élevages est une mesure importante de maîtrise des salmonelles dans la filière porcine.

La vaccination des porcs peut également être une mesure de maîtrise efficace, mais son efficacité se limiterait au seul sérovar ciblé par le vaccin alors que plusieurs sérovares sont identifiés dans la filière porcine (en particulier *S. Typhimurium* et son variant monophasique, *S. Derby*). Enfin, il faut souligner que la vaccination n'est actuellement pas autorisée par la réglementation française.

⁴ Biosécurité interne : mesures visant à réduire la propagation des micro-organismes à l'intérieur de l'élevage ; biosécurité externe : mesures prises pour éviter l'introduction d'agents pathogènes.

Au niveau des élevages, trois grandes catégories de mesure de maîtrise se distinguent :

- les mesures de maîtrise impliquant une **transformation physique de l'aliment** pour animal (soupe / sec) ;
- les mesures de **biosécurité** internes et externes⁴ ;
- la **vaccination**.

3.4.2. Mesures de maîtrise des salmonelles pendant le transport et l'attente à l'abattoir

Les étapes de chargement / transport / déchargement / attente sont des sources de stress pour les porcs. L'animal est déplacé pour se retrouver dans des environnements nouveaux et il peut être mis en contact avec des congénères qui ne lui sont pas familiers. Chez les animaux porteurs de salmonelles, ce stress active l'excrétion fécale, entraînant ainsi une contamination environnementale dans les camions de transport et les porcheries d'attente. La bactérie se dissémine dans l'environnement et la contamination des autres animaux se fait par contact direct avec les matières fécales ou l'environnement contaminé par celles-ci. Les porcs sains peuvent devenir infectés dès deux heures de contact avec des porcs contaminés par *Salmonella* spp. (Hurd *et al.* 2001).

La bibliographie rappelle l'importance des **mesures de nettoyage et de désinfection** pour réduire la prévalence et la quantité de salmonelles dans les camions et dans l'environnement des aires d'attente à l'abattoir. Elle confirme également la nécessité de respecter le protocole comportant un pré lavage, un nettoyage à l'aide d'un détergent, une action mécanique de décapage, une désinfection et un séchage.

Malgré l'absence de publications spécifiques dans la revue conduite par le GT, le cloisonnement de l'aire de stockage, le changement de vêtements et le lavage et la désinfection des bottes du chauffeur entre chaque transport sont des mesures d'hygiène complémentaires qui contribuent à limiter la diffusion des salmonelles.

Concernant l'attente à l'abattoir, les lignes de preuves vont dans le sens d'une réduction de la contamination par *Salmonella* par l'application :

- d'une **durée de transport, de l'élevage à l'abattoir, la plus courte possible** ;
- d'une **durée d'attente à l'abattoir** la plus courte possible (pour rappel la réglementation impose une durée de stabulation minimale de deux heures) ;
- d'une **gestion des lots en fonction de leur statut sérologique ou de leur niveau d'excrétion fécale à l'élevage** (abattage logistique) ;
- de **mesures (opérations de nettoyage et de désinfection) évitant l'accumulation de *Salmonella* dans les aires d'attente**.

Cependant, les experts estiment que l'abattage logistique ne peut être efficace pour la maîtrise des salmonelles qu'aux conditions suivantes :

- que celui-ci soit précédé d'un ramassage des lots à la ferme en fonction du statut en salmonelles des lots d'animaux à abattre (ramassage des négatifs ou séronégatifs en début de semaine ou de journée, puis des positifs ou séropositifs) ;
- qu'il y ait une gestion séparée des lots négatifs et des lots positifs de l'élevage jusqu'à l'abattoir (avec camions, quais de déchargement, et cases d'attente attribués selon le statut du lot) suivi d'un abattage, en priorité, des lots négatifs ;
- et que, comme pour les autres conditions d'abattage, les opérations de nettoyage et de désinfection des aires de stockage, des quais d'embarquement, des camions, des quais de déchargement, des cases d'attente, et de l'abattoir, soient rigoureusement et fréquemment réalisées.

3.4.3. Mesures de maîtrise des salmonelles à l'abattoir

En filière porcine, à l'abattoir et par rapport à un danger aussi important que *Salmonella*, les opérateurs doivent mettre en place un plan de maîtrise sanitaire (PMS) comprenant les bonnes pratiques d'hygiène (BPH), les procédures fondées sur les principes HACCP, la traçabilité et la gestion des non-conformités. Par surcroît, ils sont tenus de vérifier que les mesures de maîtrise définies sont efficaces. Les autocontrôles (recherche de *Salmonella* spp. sur les carcasses réfrigérées) réalisés dans le cadre du règlement (CE) n°2073/2005 peuvent être utilisés à cette fin, en vue du respect d'un critère d'hygiène des procédés pour cet agent pathogène.

L'étape d'abattage concentre, en un laps de temps très court (une trentaine de minutes), des opérations, pour la plupart définies réglementairement, qui peuvent favoriser la contamination ou la décontamination. Par principe, considérant que les opérations réglementaires sont effectuées conformément aux BPH, les possibilités de mettre en place d'autres interventions sont peu nombreuses et vont consister en un rajout d'opérations optionnelles de décontamination dont la mise en œuvre doit être rapide. Ces opérations doivent être efficaces sur *Salmonella* spp. et sans verrous réglementaires et/ou économiques.

Les lignes de preuves relevées pour les mesures de maîtrise applicables à l'abattoir vont dans le sens d'une réduction du nombre de salmonelles par l'application :

- d'un **double flambage** pouvant assurer 0,5 réduction décimale ;
- d'un **traitement au lactate de potassium ou avec une solution d'acide citrique et de chlorite de sodium** (à ce jour, le traitement chimique des carcasses à l'abattoir n'est pas autorisé) ;
- d'un **lavage après l'éviscération** et avant le refroidissement (notamment avec de l'eau chaude).

Cas de la **dépouille** : retirer la peau des carcasses en fin de chaîne semble être une mesure de maîtrise des salmonelles intéressante mais son efficacité reste à valider. Cette technique n'est pas, ou très peu, utilisée dans les abattoirs de porcs français.

Les experts rappellent que ces mesures ne peuvent être efficaces que si les **opérations de nettoyage et de désinfection** sur l'ensemble du maillon (des cases d'attente aux chambres froides utilisées pour le refroidissement et le stockage) sont rigoureusement réalisées et surveillées, et dans un contexte où les opérations d'abattage sont réalisées en application rigoureuse et optimisée des BPH.

3.4.4. Mesures de maîtrise des salmonelles pendant la deuxième et troisième transformation

Les travaux publiés montrent une réduction de la contamination en *Salmonella* spp. lors de l'utilisation de **procédés chimiques** (utilisation de **nitrites/nitrates** dans certains produits transformés ou application d'une solution **d'acide lactique** sur les pièces de découpe ou les produits finis). L'efficacité varie de 0,5 à 2 réductions décimales selon les traitements utilisés. Le conditionnement sous vide ou sous atmosphères modifiées peut également réduire la multiplication des salmonelles dans les produits de type « viande fraîche » et « saucisserie ».

Différentes actions visant à réduire la quantité ou la prévalence de *Salmonella* spp. dans les produits finis peuvent être menées sur les matières premières (pièces de découpe), ainsi que sur les produits en cours de fabrication et finis.

Les mesures de maîtrise appliquées sur les matières premières (pièces de découpe) entrant dans la fabrication des produits transformés permettent de réduire le niveau de contamination en début de fabrication. Si l'utilisation de traitements chimiques comme l'utilisation d'acides ou de chlore peut s'avérer efficace, elle n'est pas autorisée en Europe. L'utilisation des nitrites et nitrates est également encadrée réglementairement. Les traitements par **hautes pressions hydrostatiques** peuvent être autorisés et s'avèrent efficaces pour réduire la contamination en *Salmonella* spp.

En ce qui concerne les produits de salaison séchés et fermentés ou séchés (exemple jambon cru, saucisson sec), le procédé de fabrication peut être un moyen de maîtrise de *Salmonella*, mais son efficacité est fortement dépendante des conditions d'acidification et de séchage et doit, par conséquent, être validée pour chacun des procédés de fabrication.

3.4.5. Mesures de maîtrise des salmonelles à la distribution et chez le consommateur

Lors de la revue bibliographique approfondie, aucun article portant sur des mesures de maîtrise au stade de la distribution n'a été retenu. Toutefois, il existe principalement deux leviers d'action concernant : (i) les conditions de conservation (la chaîne du froid notamment) et (ii) la lutte contre la contamination des produits nus ou en vrac (non protégés par un emballage).

Après l'étape de distribution, il faut distinguer les actions concrètes menées en restauration hors domicile, de celles, plus limitées, qu'il est possible d'avoir au domicile. En restauration hors domicile, la préparation se fait dans un cadre professionnel, en principe dans le respect de bonnes pratiques d'hygiène et de fabrication. Il en va différemment au domicile du consommateur où, par exemple, la cuisson peut se faire selon les goûts de chacun et/ou selon des modes pouvant entraîner une insuffisance de celle-ci (cas des barbecues par exemple). Les informations données aux consommateurs sont alors primordiales. Elles peuvent être très spécifiques lorsqu'elles figurent sur l'étiquette du produit (« cuire la côte pendant deux minutes de chaque côté dans une poêle bien chaude ») ou plus génériques (fiche « hygiène domestique » par exemple).

3.5. Évaluation de l'impact des mesures et des programmes de maîtrise sur la réduction du risque de salmonellose humaine

Pour rappel, le GT a choisi d'utiliser le modèle développé pour l'EFSA, disponible sous Matlab®. La structure générale de modélisation utilisée par EFSA (2010) est reprise, avec l'ensemble des hypothèses et des biais identifiés, dans le rapport du consortium.

3.5.1. Calcul du risque de référence R_{ref}

Le risque de référence, noté R_{ref} , correspond à la probabilité de déclencher une salmonellose humaine (P_{iii}) suite à la consommation d'une portion d'un des trois produits étudiés. Cette probabilité est calculée sans appliquer la moindre intervention dans le modèle.

3.5.2. Validation de l'approche avec les données existantes

La validation de l'approche retenue est obtenue par les deux constatations suivantes :

- La prévalence estimée à la fin de chaque module du modèle SiPFR ainsi que la séroprévalence avant le transport des porcs vers l'abattoir sont très proches des valeurs observées en production.
- Le nombre de cas de salmonellose humaine estimé par le modèle (43 000 cas) est proche de l'estimation (62 400 cas) résultant de l'estimation épidémiologique de Van Cauteren *et al.* (2018) combinée à la fraction attribuable à la filière porcine estimée par Pires *et al.* (2014).

3.5.3. Calcul du risque relatif

Le risque sous scénario, R_{scex} , correspond au nombre de cas de salmonellose humaine suite à l'application d'une intervention.

L'efficacité des scénarios d'intervention est comparée en termes de pourcentage de réduction du risque de salmonellose par portion de chaque produit (R_{scex}) par rapport au risque de référence R_{ref} . La réduction de risque, après application d'interventions, est donnée par la formule suivante :

$$\% RedRisque = \left(1 - \left(R_{scex} / R_{ref} \right) \right) * 100$$

3.5.4. Définition des scénarios testés

Au regard des conclusions établies pour chaque maillon de la filière porcine et de l'incertitude liée à la quantification de l'impact des mesures de maîtrise identifiées dans la bibliographie, il est convenu d'introduire, dans le modèle, des niveaux de réduction de la prévalence (en pourcentage) de *Salmonella* spp. ou de leur concentration (en nombre de réductions décimales), sans indiquer de façon précise les mesures de maîtrise qui permettraient d'atteindre ces niveaux. Il n'y a donc pas de lien univoque entre ces niveaux de réduction et l'efficacité des mesures disponibles, telles qu'elles sont listées dans la section 3.4

Les scénarios testés (tableau 1) sont les suivants :

- a. Au maillon élevage :
 - Le scénario PREVREPRO teste l'effet de la réduction de la prévalence de *Salmonella* dans le cheptel reproducteur de 0,5 à 0,25 ;
 - le scénario SC1 teste l'effet de valeurs de réductions décimales de la concentration en *Salmonella*, en log d'UFC/g de fèces, en fin d'élevage (de 0,1 à 2 réductions décimales) ;
 - le scénario ALAN0 teste l'impact d'une prévalence en *Salmonella* nulle dans les aliments destinés aux animaux ;
 - le scénario PIL0.1 teste l'impact, en termes d'une réduction du risque, si la prévalence intra-lot (en présence/absence de *Salmonella* dans les fèces) est abaissée à 0,1 ;
 - le scénario AH (aliment humide) teste l'impact, en termes d'une réduction du risque, d'une alimentation des porcs uniquement sous une forme humide.
- b. Au maillon abattoir :
 - le scénario AL (abattage logistique) teste l'impact, en termes d'une réduction du risque, de l'abattage systématique des lots fortement contaminés, en fin de journée ;
 - le scénario SC2 teste l'effet de valeurs de réductions décimales de la concentration en *Salmonella* en log d'UFC/unité de surface de carcasse échantillonnée, mesurée en sortie de flambage (de 0,1 à 2 réductions décimales) ;
 - le scénario SC3 teste l'effet de valeurs de réductions décimales de la concentration en *Salmonella* en log d'UFC/unité de surface de carcasse échantillonnée, mesurée en fin de refroidissement (de 0,1 à 2 réductions décimales) ;
 - le scénario SC4 teste l'effet de valeurs de réductions décimales de la concentration en *Salmonella*, en UFC/g de produit (c'est-à-dire viande fraîche, chair à saucisse à cuire ou saucisse sèche) avant consommation (de 0,1 à 2 réductions décimales).
- c. Combinaisons de mesures :
 - le scénario SCG teste l'impact, en termes d'une réduction du risque, de 0,5 réduction décimale de la concentration en *Salmonella* à la sortie de chaque module (élevage, abattoir et consommateur), associé à une alimentation humide à l'élevage et à un abattage logistique systématique.
 - le scénario SCGbis teste l'impact, en termes d'une réduction du risque, de 0,5 réduction décimale de la concentration en *Salmonella* à la sortie de chaque module (élevage, abattoir et consommateur).

Il convient de noter que tous les modules n'ont pas fait l'objet d'un scénario d'intervention.

Tableau 1. Description des scénarios d'interventions évalués

Identification du scénario		Module et/ou produit concernés	Réduction décimale ou prévalence
PREVREPRO		Cheptel reproducteur	P = 0,25
ALAN0		Prévalence alimentation animale nulle	P = 0
SC1	SC1-1	Porc / fin d'élevage	RD = 0,1
	SC1-2	Porc / fin d'élevage	RD = 0,25
	SC1-3	Porc / fin d'élevage	RD = 0,5
	SC1-4	Porc / fin d'élevage	RD = 1
	SC1-5	Porc / fin d'élevage	RD = 2
PIL0.1		Abaissement de la prévalence intra-lot à 0,1 (au lieu de 0,5)	P = 0,1
AH		Elevage - Alimentation animale uniquement humide (100% alimentation humide)	
AL		Abattage logistique (abattage des lots fortement contaminés en fin de journée)	
SC2	SC2-1	Carcasse après flambage	RD = 0,1
	SC2-2	Carcasse après flambage	RD = 0,25
	SC2-3	Carcasse après flambage	RD = 0,5
	SC2-4	Carcasse après flambage	RD = 1
	SC2-5	Carcasse après flambage	RD = 2
SC3	SC3-1	Carcasse entière en fin d'abattage (sortie refroidissement)	RD = 0,1
	SC3-2	Carcasse entière en fin d'abattage (sortie refroidissement)	RD = 0,25
	SC3-3	Carcasse entière en fin d'abattage (sortie refroidissement)	RD = 0,5
	SC3-4	Carcasse entière en fin d'abattage (sortie refroidissement)	RD = 1
SC4	SC4-1	Produit fini	RD = 0,1
	SC4-2	Produit fini	RD = 0,25
	SC4-3	Produit fini	RD = 0,5
	SC4-4	Produit fini	RD = 1
SCG		0,5 réduction décimale à chaque module + AH + AL	RD 0,5 + AL + AH
SCGbis		0,5 réduction décimale après chaque module	RD = 0,5

3.5.5. Résultats

La réduction observée du risque relatif, suite à la mise en œuvre des différents scénarios, est reportée dans le tableau 2.

Tableau 2 : Effet des scénarios testés sur le risque relatif pour les produits « chair à saucisse à cuire », « viande fraîche de porc », « salaison »

Scénario		% Red Risque pour la chair à saucisse à cuire	% Red Risque pour la viande fraîche de porc	% Red Risque pour les salaisons
PREVREPRO		58	53	65
ALANO		13	11	13
AH		3	5	16
PILO,1		75	73	70
SC1	SC1-1	3	3	10
	SC1-2	5	7	13
	SC1-3	6	7	14
	SC1-4	8	8	15
	SC1-5	11	13	17
AL		9	8	13
SC2	SC2-1	0	0	0
	SC2-2	0	6	5
	SC2-3	10	6	16
	SC2-4	12	9	17
	SC2-5	12	10	18
SC3	SC3-1	37	26	30
	SC3-2	40	26	33
	SC3-3	59	65	89
	SC3-4	76	90	99
SC4	SC4-1	4	5	7
	SC4-2	7	10	11
	SC4-3	31	31	13
	SC4-4	47	40	14
SCG		95	97	99
SCGbis		76	89	89

Ainsi, en élevage (SC1), l'application des réductions décimales de 0,1 - 0,25 - 0,5 - 1 ou 2, n'entraîne pas des réductions importantes du risque relatif pour le consommateur. Par exemple, sur les produits de salaison, les réductions prévisibles du risque relatif pour le consommateur varient de 10% à 17% en fonction de la réduction décimale appliquée. De même, la mise en place en élevage d'une alimentation des porcs avec un aliment humide (AH) ou d'un abattage logistique (AL) ne permet pas d'obtenir des taux de réduction très élevés du risque relatif pour le consommateur (par exemple respectivement 16% et 13% pour les produits de salaison). Réduire la prévalence de *Salmonella* spp. à zéro dans les aliments destinés aux porcs (ALANO) n'entraîne pas une réduction importante du risque relatif pour le consommateur (10 à 13% en fonction des produits concernés). En revanche, le scénario (PREVREPRO) prévoyant une diminution de la prévalence de *Salmonella* spp. dans le cheptel des porcs reproducteurs de 0,5 à 0,25% permet d'obtenir une réduction relative de 53 à 65% en fonction du produit considéré.

La réduction de la contamination des carcasses obtenue après le module abattoir (SC3) entraîne une forte réduction du risque relatif de contamination des portions, quel que soit le produit concerné ; par exemple, pour les salaisons, la réduction du risque relatif est de 30% lorsque l'on applique 0,1 réduction décimale et de 99% lorsque l'on applique 1 réduction décimale. Les moyens pour atteindre ces objectifs en abattoir sont à la fois préventifs et curatifs visant, pour les premiers, à minimiser les transferts de salmonelles sur les carcasses et, pour les seconds, à inactiver les salmonelles qui ont été transférées lors de ce module ou des modules précédents. Le modèle n'a pas testé individuellement chaque intervention possible à l'abattoir (sauf pour l'étape du double flambage) sachant qu'il s'agit d'une succession d'opérations dont le résultat n'est pas strictement indépendant des autres. De plus, certaines interventions potentielles, d'ordre général comme « améliorer la mise en œuvre et la surveillance des BPH » semblent efficaces mais délicates à objectiver. En outre, il est raisonnable de penser que l'efficacité globale du module abattoir n'est pas entièrement indépendante des efforts réalisés dans les modules précédents pour réduire la pression de contamination par les salmonelles.

De fait, les scénarios combinant plusieurs interventions se sont révélés très intéressants. Ainsi, le scénario SCG, combinant une alimentation humide, un abattage logistique et une réduction décimale de 0,5 de la contamination des carcasses à la fin des opérations d'abattage permet d'obtenir une réduction relative de 95, 97 et 99% respectivement pour les produits de chair à saucisse, de viande fraîche et de salaison. De même, le scénario SCGbis, correspondant à une réduction décimale de 0,5 dans chaque module, permettrait d'obtenir des réductions du risque relatif de 76, 89 et 88% respectivement pour les produits de chair à saucisse, de viande fraîche et de salaison.

En conclusion, les scénarios testés montrent que les interventions proposées ont des conséquences différentes sur la réduction du risque pour les consommateurs, quel que soit le produit concerné. Certains, mis en place individuellement, notamment sur le module élevage, ont peu d'influence. D'autres, au contraire, appliqués à l'abattoir, permettent d'obtenir des réductions très significatives du risque relatif. Enfin, les scénarios les plus efficaces sont ceux combinant des interventions appliquées tant à l'élevage qu'à l'abattoir. Ainsi, 0,5 réduction décimale après chaque module (élevage, transport-attente et abattoir), appliquée sur l'ensemble de la production porcine française, permettrait de réduire de 75 à 90% le risque relatif de salmonellose humaine liée à la consommation de ces produits.

3.5.6. Prise en compte des incertitudes

⇒ Incertitudes liées aux données disponibles sur l'efficacité des mesures de maîtrise en filière

La revue bibliographique approfondie menée par le GT, qui complète celle effectuée par le consortium FCC en 2010, a mis en évidence un niveau d'incertitude important, associé aux données d'efficacité des mesures de maîtrise, parmi lesquelles :

- le faible nombre d'études récentes disponibles ;
- le nombre non-négligeable d'études jugées à niveau de preuve non satisfaisant (biais méthodologique principalement) ;
- le manque de données de quantification, en condition autres qu'expérimentales ;
- le fait que de nombreuses mesures de maîtrise et leur efficacité potentielle sur *Salmonella* spp. ne sont pas évaluées (ou les données relatives à l'évaluation de leur efficacité ne sont pas disponibles/accessibles).

Ces données limitent la possibilité de conclure, à un niveau quantifié, sur l'efficacité associée aux mesures de maîtrise, et donc d'identifier les leviers d'action à mettre en place pour la maîtrise des salmonelles.

La collecte des données utilisées par le GT a reposé, en partie, sur des extractions de publications/articles sélectionnées au moyen des bases de données Scopus et Pubmed, ainsi que des données des experts membres du GT (certaines provenant de la littérature grise) : il convient donc de noter qu'une incertitude peut être associée à la non exhaustivité des données collectées sur l'efficacité des mesures de maîtrise ainsi que sur les valeurs de paramètres du modèle (biais de publication).

⇒ Incertitude liée aux données utilisées pour modéliser la filière et le comportement de *Salmonella* spp.

Le rapport du consortium FCC et l'avis de l'EFSA publié en 2010 font état d'un haut niveau d'incertitude sur les hypothèses de modélisation utilisées à ce moment. Par son travail de paramétrage, le GT a probablement limité certaines incertitudes sur les paramètres du modèle, mais celles relatives à la structure et à l'approche générale de modélisation restent inchangées (cf. identification des incertitudes du rapport du consortium pour le détail des éléments identifiés).

Enfin, l'absence de données récentes de surveillance nationale (publiques et privées), aux différents maillons de la filière porcine, limite les interprétations et la capacité de valider les sorties du modèle et ainsi de conclure véritablement quant à l'efficacité des scénarios d'intervention testés.

3.6. Conclusions et recommandations du CES BIORISK

3.6.1. Conclusions de l'expertise collective

3.6.1.1. État des lieux des connaissances sur l'efficacité des mesures de maîtrise pouvant être mises en œuvre dans la filière et évaluation de leur impact sur la réduction du risque pour le consommateur

Le GT a conduit une revue approfondie des publications disponibles entre 2010 et 2016 : aucune avancée technologique significative dans la maîtrise des salmonelles dans la filière porcine n'a été identifiée.

La filière porcine a été étudiée selon les modules suivants : élevage, transport et attente, abattoir et transformation, consommateur.

Différentes actions sont, dès à présent, menées lors des étapes d'élevage, de transport, d'attente, d'abattage et de transformation des porcs, notamment par la mise en place de mesures de bonnes pratiques d'hygiène.

L'élevage constitue la principale voie d'introduction des salmonelles dans la chaîne alimentaire. Les vecteurs d'introduction sont multiples, sans qu'il soit possible de les hiérarchiser. Cependant, dans les élevages avec un niveau de biosécurité élevé, les animaux reproducteurs et l'aliment distribué peuvent être considérés comme des voies principales d'introduction des salmonelles. Par la suite, la période d'élevage doit être considérée comme une étape de multiplication et de dissémination des salmonelles entre les animaux et dans le bâtiment.

Pour le volet élevage, les mesures de maîtrise suivantes ont un impact favorable :

- ✓ Dans l'aliment :
 - l'alimentation sous forme liquide (soupe) semble un élément protecteur vis-à-vis de la contamination par *Salmonella* spp., mais ce type d'aliment ne peut pas être distribué à tous les stades physiologiques des animaux.
 - l'ajout d'acide(s) organique(s) dans l'aliment.
- ✓ L'application des mesures de biosécurité, en se référant au GBPH à l'élevage.
- ✓ La vaccination : cette mesure n'est pas appliquée en France, car elle n'est pas autorisée à ce jour. De plus, son efficacité se limiterait probablement au seul sérovar ciblé par le vaccin alors que plusieurs d'entre eux prédominent dans la filière porcine (en particulier *S. Typhimurium* et son variant monophasique, *S. Derby*).

L'attente et le transport vers l'abattoir sont des étapes importantes car sources de stress pour les animaux, entraînant une excrétion fécale, une dissémination de *Salmonella* spp. dans l'environnement et une contamination des autres animaux. Les mesures suivantes semblent efficaces pour réduire la contamination des porcs par *Salmonella* spp. :

- ✓ Une durée de transport, de l'élevage jusqu'à l'abattoir, la plus courte possible.
- ✓ Une durée d'attente, à l'abattoir, la plus courte possible, sous réserve de respecter les deux heures de repos exigées par la réglementation.
- ✓ L'abattage logistique des animaux (les lots d'animaux étant abattus successivement en fonction de leur niveau de contamination) pourrait être avantageux sous réserve que :
 - celui-ci soit précédé d'un ramassage des lots à la ferme en fonction du statut, vis-à-vis de *Salmonella* spp., des lots d'animaux à abattre ;
 - qu'il y ait une gestion séparée des lots négatifs et des lots positifs de l'élevage jusqu'à l'abattoir (camions et cases d'attente attribués selon le statut du lot), suivi d'un abattage, en priorité, des animaux reconnus indemnes de *Salmonella* spp. ;
 - que les opérations de nettoyage et de désinfection des aires de stockage, des quais d'embarquement, des camions, des quais de déchargement, des cases d'attente, et de l'abattoir, soient rigoureusement et fréquemment réalisées.

L'abattoir est un lieu favorable à la dissémination des salmonelles par les outils, le matériel et en raison de pratiques inadéquates, par exemple lors d'accidents d'éviscération.

Au cours de ce processus, certaines opérations ont cependant un effet de réduction de la contamination des carcasses. En ce sens, les mesures suivantes semblent efficaces pour réduire la contamination en salmonelles :

- ✓ Le double flambage : 0,5 réduction décimale de la contamination par *Salmonella* spp.
- ✓ L'application d'un traitement au lactate de potassium ou d'une solution d'acide citrique et de chlorite de sodium. Cependant, à ce jour, le traitement chimique des carcasses n'est pas autorisé.
- ✓ L'application d'un lavage des carcasses avant le refroidissement, notamment avec de l'eau chaude.

Ces mesures seront d'autant plus efficaces que :

- Les opérations de nettoyage et de désinfection sur l'ensemble du module (des cases d'attente aux chambres froides utilisées pour le refroidissement et le stockage) seront rigoureusement réalisées et surveillées ;
- Les opérations potentiellement contaminantes du diagramme d'abattage seront conduites conformément aux bonnes pratiques d'hygiène afin de limiter cette contamination.

Pour le volet 2^{ème} et 3^{ème} transformation, les mesures suivantes semblent efficaces pour réduire la concentration en salmonelles :

- ✓ L'utilisation de différents procédés chimiques : utilisation de nitrites/nitrates ou application d'une solution d'acide lactique, dans le respect des réglementations en vigueur.
- ✓ Le conditionnement sous vide ou sous atmosphères modifiées ralentissant la multiplication des salmonelles.
- ✓ Les traitements par hautes pressions hydrostatiques sur les pièces de découpe ou les produits finis s'avèrent efficaces pour réduire la concentration en salmonelles.
- ✓ L'ionisation, procédé soumis à autorisation, pourrait également s'avérer efficace, mais demeure un verrou sociétal et réglementaire.

Pour le volet distribution, les experts n'ont connaissance d'aucune nouvelle publication mais ils rappellent que les mesures suivantes sont reconnues pour leur efficacité :

- ✓ Les conditions de conservation (maintien de la chaîne du froid notamment).
- ✓ Eviter les transferts de contaminations pour les produits nus ou en vrac (non protégés par l'emballage).

Pour le volet consommateur, le seul article identifié par le GT porte sur l'impact favorable de la cuisson.

3.6.1.2. Définition des points de gestion prioritaires pour maîtriser le risque de salmonellose pour le consommateur en se basant sur une modélisation intégrée (c'est-à-dire sur l'ensemble des maillons de la filière) inspirée du modèle d'appréciation quantitative du risque (AQR) de l'EFSA en 2010

⇒ Résultats du modèle

Le modèle a permis de tester différents scénarios faisant l'hypothèse d'une réduction de prévalence de portage ou de concentration en *Salmonella* spp. aux différentes étapes de la filière porcine.

Les scénarios testés montrent que les interventions proposées ont des conséquences différentes sur la réduction du risque pour les consommateurs, quel que soit le produit concerné. Certains scénarios, mis en place sur un seul module, ont peu d'influence, avec moins de 20% de réduction du risque relatif. D'autres, au contraire, par exemple appliqués au niveau de l'abattoir, permettent d'obtenir des réductions plus importantes. Néanmoins, les scénarios les plus efficaces sont ceux combinant des interventions appliquées tant au niveau de l'élevage que de l'abattoir. Ainsi, une réduction décimale de 0,5 après chaque module (élevage, transport-attente et abattoir), appliquée sur l'ensemble de la production porcine française, permettrait de réduire de 75 à 90% le risque relatif de salmonellose humaine liée à la consommation de ces produits.

⇒ Limites du modèle

Les résultats de la modélisation doivent être considérés au regard des incertitudes qui les accompagnent. Celles-ci sont liées à la disponibilité et à la qualité des données nécessaires pour la modélisation (notamment la disponibilité de données quantitatives d'excrétion/contamination) ainsi qu'aux hypothèses de modélisation. Pour autant, ces résultats permettent de tester des hypothèses d'interventions dans la filière. Tous ces résultats devront être confirmés par la conduite d'études sur le terrain.

De plus, il faut noter que la mise en place de certaines pratiques n'est pas connue avec précision. Ainsi, il est en général difficile d'évaluer si une intervention est déjà mise en place et dans quelle mesure elle est appliquée et, par conséquent, quel serait son effet réel si elle était appliquée de façon systématique.

⇒ Considération finale

Parmi l'ensemble des mesures de maîtrise identifiées par le GT, il faut souligner que très peu d'entre elles sont spécifiques à la maîtrise des salmonelles. Toutes ces mesures relèvent de l'application des principes de l'hygiène et des bonnes pratiques tout au long de la chaîne alimentaire et elles s'appliquent donc à la majorité des agents pathogènes. Les seules mesures spécifiques à *Salmonella* identifiées par le GT sont la vaccination et l'abattage logistique, avec les limites présentées ci-dessus.

3.6.2. Recommandations de l'expertise collective

Les recommandations présentées ci-dessous ne sont pas hiérarchisées.

R1 - Un plan national de maîtrise de *Salmonella* spp. en filière porcine impliquant tous les acteurs de la chaîne alimentaire, sans exception, devrait être mis en place. En effet, comme le montrent les résultats du modèle, pour obtenir une forte diminution du risque relatif, il conviendrait de combiner des interventions appliquées à chacune des étapes de la filière.

R2 - Une meilleure connaissance des sources de salmonellose humaine est nécessaire (étude d'attribution (Anses, 2017). En effet, cette maladie n'est pas uniquement liée à la consommation de produits issus de porcs élevés en France. Les produits importés et d'autres aliments peuvent également en être la cause. Les résultats présentés dans cette expertise doivent donc être compris comme ne représentant qu'une proportion des cas de salmonellose humaine.

R3 - La validation et la vérification de la mise en œuvre des GBPH à l'élevage et lors des transformations devraient être renforcées.

R4 - L'élaboration d'un GBPH relatif au transport et à l'abattage des porcs est recommandée.

R5 - Toutes les démarches organisées et planifiées dans les entreprises visant à améliorer l'hygiène des opérations devraient être encouragées : les opérations de nettoyage et de désinfection (locaux, matériels) ne sont pratiquement jamais incluses formellement dans les diagrammes des opérations. Or, cette absence ne doit pas conduire à sous-estimer leur nécessité car il s'agit d'opérations très importantes visant à obtenir quotidiennement la propreté microbiologique des surfaces et des matériels. La validation, la surveillance et la vérification des opérations de nettoyage et de désinfection sont donc des points clés qu'il convient de ne pas négliger.

R6 - Une nouvelle enquête sur la situation vis-à-vis de *Salmonella* spp. (prévalence, niveau de contamination) dans la filière porcine en France devrait être conduite et suivie d'une surveillance régulière.

R7 - Le statut sanitaire des porcs vis-à-vis de *Salmonella* spp., notamment des animaux reproducteurs, devrait être amélioré : la réduction du portage et de la contamination avant l'abattage participent à la maîtrise des salmonelles à l'abattoir, de même que la logistique d'abattage (les lots positifs devraient être abattus en fin de journée).

R8 - Le CES BIORISK rappelle l'importance de la cuisson à cœur pour les produits de porc en particulier pour les produits de saucisserie (cuisine domestique et collective).

R9 - Lors de la revue bibliographique, il a été noté que la plupart des études ne contiennent pas de données quantitatives de prévalence ou de concentrations. Les interventions qui n'ont fait l'objet que d'une étude n'ont pas été retenues. Le CES BIORISK émet donc des recommandations pour l'acquisition de données concernant plus particulièrement les points suivants :

✓ A l'élevage :

- l'effet de la vaccination des animaux mériterait un effort de recherche important ;
- acquérir les données nationales permettant de mieux renseigner les modèles existants.

✓ A l'abattoir :

- à l'étape d'attente,
- à l'étape d'échaudage :
 - pour évaluer l'efficacité ou non des systèmes actuels par trempage, sur la contamination des carcasses par les salmonelles,
 - pour comparer les pratiques d'échaudage en bac ou en « cuisson vapeur »,
- à l'étape du flambage (double flambage),
- à l'étape d'éviscération,
- au lavage avant refroidissement.

4. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS DE L'AGENCE

L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail endosse les conclusions et recommandations du Comité d'experts spécialisé BIORISK.

En santé publique vétérinaire, depuis la fin des années 1990, les priorités en termes de lutte contre les salmonelloses ont porté sur les filières avicoles, avec des mesures dédiées qui ont prouvé leur efficacité sur certains sérovars. La filière porcine a une implication croissante dans les salmonelloses humaines alimentaires. A ce titre, l'Agence souligne l'importance d'une approche intégrée de la gestion de ce danger dans la filière, depuis les maillons de production primaire et tout particulièrement celui des porcs reproducteurs jusqu'au consommateur comme le montre les résultats de la modélisation mise en œuvre dans la présente expertise.

Selon le rapport de l'Anses de juin 2017 relatif à l'attribution des sources de maladies infectieuses d'origine alimentaire, la priorité pour les salmonelles est de collecter des souches issues d'autres filières que la filière volaille (filière porcine et bovine en particulier). Le recueil de données lors de TIAC (surveillance événementielle avec actions d'enquête) devra demeurer une des actions prioritaires pour la documentation épidémiologique des cas de salmonelloses humaines. Cette action sera alimentée et soutenue par une étroite collaboration de l'Anses (LNR) avec Santé publique France et le CNR (souches humaines), en recourant au sein du LNR au séquençage complet du génome, outil-clef de la surveillance des salmonelles.

Pour affiner les stratégies de lutte contre les salmonelloses alimentaires, l'épidémiosurveillance et la mise à jour des connaissances scientifiques permettant d'affiner les conclusions sur l'attribution des sources de *Salmonella* doivent se poursuivre. Cette démarche pourra utilement se prolonger dans le cadre des travaux de la plateforme de surveillance de la chaîne alimentaire.

Dr Roger Genet

MOTS-CLÉS

Salmonella, porc, règlement (CE) n°2160/2003, intervention, appréciation quantitative des risques, AQR, mesures de maîtrise.

Salmonella, pig, Regulation (EC) n°2160/2003, intervention, quantitative risk assessment, QMRA, control measures.



Mesures de maîtrise des salmonelles en filière porcine : état des connaissances et appréciation quantitative des risques

Saisine 2016-SA-0037

Saisine liée 2016-SA-0029 : Avis relatif au danger *Salmonella* spp. en alimentation animale

RAPPORT d'expertise collective

Comité d'experts spécialisé « Evaluation des risques biologiques dans les aliments »
Groupe de travail « Mesures de maîtrise des salmonelles en filière porcine »

Juin 2018

Mots clés

Salmonella spp., porc, règlement (CE) n°2160/2003, intervention, appréciation quantitative des risques, AQR, mesures de maîtrise

Salmonella spp., pig, Regulation (EC) n°2160/2003, intervention, quantitative risk assessment, QMRA, control measures

Présentation des intervenants

PRÉAMBULE : Les experts membres de comités d'experts spécialisés, de groupes de travail ou désignés rapporteurs sont tous nommés à titre personnel, *intuitu personae*, et ne représentent pas leur organisme d'appartenance.

GROUPE DE TRAVAIL

Président

M. Pascal GARRY – IFREMER, Nantes. Filière porcine, hygiène et microbiologie des aliments (produits porcins)

Membres

Mme Catherine BELLOC – ONIRIS. Filière porcine, *Salmonella* spp.

Mme Anne BRISABOIS – ANSES, Laboratoire de sécurité des aliments. Microbiologie des aliments, *Salmonella* spp. Méthodes analytiques, écologie microbienne

M. Pierre COLIN – Professeur émérite, Université de Bretagne Occidentale. Hygiène et microbiologie des aliments, filière porcine, *Salmonella* spp.

Mme Martine DENIS – ANSES, Laboratoire de Ploufragan-Plouzané. *Salmonella* spp., filière porcine

M. Michel FEDERIGHI – ONIRIS. Hygiène et microbiologie des aliments (viandes et produits carnés), procédés de décontamination

M. Guillaume FOURNIE – Royal Veterinary College, Royaume-Uni. Modélisation et méthodologie en évaluation du risque

Mme Maryline KOUBA – Agrocampus Ouest, Rennes. Alimentation animale

RELECTEURS

M. Olivier CERF – Professeur émérite. École nationale vétérinaire d'Alfort. Évaluation des risques microbiologiques, microbiologie des aliments

M. Philippe FRAVALO – Université de Montréal. Hygiène et microbiologie des aliments (viandes et produits carnés), méthodes phénotypiques et moléculaires

M. Laurent GUILLIER – Anses, Laboratoire de sécurité des aliments. Modélisation, appréciation quantitative des risques, microbiologie des aliments

COMITÉ D'EXPERTS SPÉCIALISÉ

Les travaux, objets du présent rapport ont été suivis et adoptés par le CES suivant :

- CES « Évaluation des risques biologiques dans les aliments » (BIORISK)

Présidente

Mme Isabelle VILLENA – CHU Reims (parasitologie, infectiologie).

Membres

M. Jean-Christophe AUGUSTIN – Ecole nationale vétérinaire d'Alfort. Modélisation, appréciation quantitative des risques, microbiologie des aliments

Mme Anne BRISABOIS – Anses, Laboratoire de sécurité des aliments. Microbiologie des aliments, écologie microbienne, méthodes analytiques

M. Frédéric CARLIN – INRA. Microbiologie des aliments, filière fruits et légumes, technologie de décontamination

M. Olivier CERF – Professeur émérite. École nationale vétérinaire d'Alfort. Evaluation des risques microbiologiques, microbiologie des aliments

M. Pierre COLIN – Professeur émérite. Université de Bretagne Occidentale. Hygiène et microbiologie des aliments (viandes et produits carnés – volailles)

M. Philippe DANTIGNY – AgroSup Dijon. Mycologie, procédés de décontamination, écologie microbienne

Mme Florence DUBOIS-BRISSONNET – AgroParisTech. Microbiologie des aliments, mécanismes d'adaptation au stress, biofilms, hygiène des surfaces et des procédés

M. Michel FEDERIGHI – ONIRIS, Nantes. Hygiène et microbiologie des aliments (viandes et produits carnés), procédés de décontamination

M. Benoit FOLIGNE – Faculté de pharmacie de Lille. Microbiote intestinal, interaction écosystème alimentaire/microbiote

Mme Florence FORGET-RICHARD – INRA. Mycotoxines, champignons filamenteux, biochimie, filières céréales

M. Philippe FRAVALO – Université de Montréal. Hygiène et microbiologie des aliments (viandes et produits carnés)

M. Pascal GARRY – Ifremer, Nantes. Hygiène et microbiologie des aliments (viandes et produits carnés, coquillages)

M. Michel GAUTIER – Agrocampus Ouest. Microbiologie des aliments, biologie moléculaire, génie génétique

M. Laurent GUILLIER – Anses, Laboratoire de sécurité des aliments. Modélisation, appréciation quantitative des risques, microbiologie des aliments

Mme Nathalie JOURDAN-DA SILVA – Santé publique France. Epidémiologie des maladies entériques et zoonoses

M. Alexandre LECLERCQ – Institut Pasteur. Microbiologie des aliments (*Listeria monocytogenes*, *Yersinia entéropathogènes*), méthodes phénotypiques et moléculaires

M. Simon LE HELLO – Institut Pasteur. *Salmonella*, épidémiologie, méthodes phénotypiques et moléculaires

M. Eric OSWALD – CHU Toulouse. Infectiologie clinique, écologie microbienne, *E. coli*

Mme Nicole PAVIO – Anses, Laboratoire de santé animale de Maisons-Alfort. Virologie

Mme Sabine SCHORR-GALINDO – Université Montpellier 2. Mycologie, écologie microbienne

Mme Muriel THOMAS – INRA. Microbiote intestinal, probiotiques

AUTRES COMITÉS D'EXPERTS SPÉCIALISÉS

Ces travaux ont également été suivis par le CES « Santé et bien-être des animaux » (SABA) et le CES « Alimentation animale » (ALAN) (composition en Annexe 8.5)

PARTICIPATION ANSES

La coordination scientifique du projet a été assurée par l'Unité d'Evaluation des Risques liés aux Aliments (UERALIM) sous la direction de M. Moez SANAA (chef d'unité – jusqu'à octobre 2017) et Mme Nathalie ARNICH (adjoindte au chef d'unité).

Coordination scientifique

Mme Diane CUZZUCOLI – Coordinatrice d'expertise scientifique – UERALIM – Direction de l'Evaluation des Risques

Mme Marie Bénédicte PEYRAT – Coordinatrice d'expertise scientifique – UERALIM – Direction de l'Evaluation des Risques

Coordination scientifique transversale saisine 2016-SA-0029

Mme Elissa KHAMISSE – Coordinatrice scientifique d'expertise – UERSABA – Direction de l'Evaluation des Risques

Mme Charlotte DUNOYER – Chef d'Unité – UERSABA – Direction de l'Evaluation des Risques

Mme Caroline BOUDERGUE – Chef de projet scientifique – UERSABA – Direction de l'Evaluation des Risques

Contribution scientifique – Appui méthodologique

M. Laurent GUILLIER – Laboratoire de sécurité des aliments.

Mme Sabrina HAVARD – Unité Méthodologie et Etudes – Direction de l'Evaluation des Risques

Mme Anne THEBAULT – Unité Méthodologie et Etudes – Direction de l'Evaluation des Risques

Secrétariat administratif

Mme Angélique LAURENT – Direction de l'Evaluation des Risques

Mme Catherine FRANCOIS – Direction de l'Evaluation des Risques

Audition de personnalités extérieures

Représentants professionnels

M. Fabien VERLIAT – Interprofession nationale porcine – 28 septembre 2016

Mme Isabelle CORREGE – Institut technique du porc (IFIP) – 28 septembre 2016

Mme Sabine JEUGE – Institut technique du porc (IFIP) – 28 septembre 2016

M. Brice MINVIEILLE – Institut technique du porc (IFIP) – 28 septembre 2016

Mme Nathalie VEAUCLIN – Culture Viande – 14 novembre 2016

Mme Fabienne NIGER – Fédération nationale de l'industrie et des commerces en gros des viandes - 14 novembre 2016

M. Thierry GREGORI – Fédération des industriels de la charcuterie – 27 septembre 2016

Personnalité scientifique

Dr. Robin R.L. SIMONS – Animal and Plant Health Agency (APHA, United Kingdom). Epidémiologiste, membre du Consortium FCC responsable du modèle EFSA - 27 septembre 2016

SOMMAIRE

Mots clés	2
Présentation des intervenants	3
1 Contexte, objet et modalités de réalisation de l'expertise	15
1.1 Contexte	15
1.2 Objet de la saisine	15
1.3 Modalités de traitement : moyens mis en œuvre et organisation	15
1.4 Prévention des risques de conflits d'intérêts	16
2 Méthode d'expertise	17
2.1 Champ d'application	17
2.1.1 Le danger <i>Salmonella</i> spp. et les sources de contamination	17
2.1.2 Surveillance et choix des produits testés	19
2.1.3 Revue des pratiques de la maîtrise du danger <i>Salmonella</i> dans la filière porcine française	20
2.1.4 Revue des programmes de maîtrise des salmonelles mis en place en filière porcine par les Etats membres depuis 2005	20
2.2 Méthodologie pour la réalisation de l'état des lieux des connaissances - Revue approfondie de la littérature sur l'impact des mesures de maîtrise en filière porcine	23
2.2.1 Démarche adoptée pour la recherche bibliographique approfondie	23
2.2.1.1 Formulation de la question	23
2.2.1.2 Définition des critères d'inclusion des articles	24
2.2.1.3 Vérification de l'exhaustivité et de la pertinence de la sélection	24
2.2.1.4 Evaluation de l'efficacité des mesures de maîtrise grâce à un Outil d'évaluation critique (OEC)	24
2.2.2 Méthode de synthèse et interprétation des données - prise en compte des incertitudes	27
2.2.2.1 Estimation du niveau de preuve des articles	27
2.2.2.2 Estimation du niveau de preuve par mesure de maîtrise	27
3 Etat des connaissances sur l'efficacité des mesures de maîtrise en filière porcine	28
3.1 Inventaire et revue critique de l'efficacité des mesures de maîtrise dans les élevages porcins français	28
3.1.1 Description du module	28
3.1.1.1 Organisation de la filière porcine en France	28
3.1.1.2 L'alimentation des porcs	31
3.1.1.3 Voies d'introduction des salmonelles dans les élevages	32
3.1.2 Inventaire des mesures de maîtrise	33
3.1.3 Actions concrètes menées en filière	34
3.1.4 Evaluation générale de l'efficacité des mesures de maîtrise	34
3.1.4.1 Mesures de maîtrise appliquées à l'aliment et dont l'effet est mesuré sur l'animal	36
3.1.4.2 Mesures de maîtrise appliquées à l'animal	37
3.1.4.3 Mesures de biosécurité internes et externes	37
3.1.4.4 Autres mesures	38

3.2 Inventaire et revue critique de l'efficacité des mesures de maîtrise pendant le transport et l'attente à l'abattoir	38
3.2.1 Description du module	38
3.2.2 Inventaire des mesures de maîtrise	40
3.2.3 Actions concrètes menées en filière	41
3.2.4 Evaluation générale de l'efficacité des mesures de maîtrise	42
3.2.4.1 Traitements biologiques.....	44
3.2.4.2 Traitements physiques.....	44
3.2.4.3 Pratiques d'hygiène	44
3.2.4.4 Traitements physiologique/logistique	45
3.3 Inventaire et revue critique de l'efficacité des mesures de maîtrise à l'abattoir.....	46
3.3.1 Description du module	46
3.3.2 Inventaire des mesures de maîtrise	50
3.3.3 Actions concrètes menées en filière	50
3.3.4 Evaluation générale de l'efficacité des mesures de maîtrise	52
3.3.4.1 Traitements biologiques.....	54
3.3.4.2 Traitements physiques.....	54
3.3.4.3 Traitement chimique avant refroidissement	54
3.3.4.4 Traitement Physiologique/logistique	55
3.4 Inventaire et revue critique de l'efficacité des mesures de maîtrise pendant la transformation (2^{ème} et 3^{ème} transformation)	55
3.4.1 Description du module	55
3.4.2 Inventaire des mesures de maîtrise	57
3.4.3 Actions concrètes menées en filière	59
3.4.4 Evaluation générale de l'efficacité des mesures de maîtrise	60
3.4.4.1 Traitements biologiques.....	62
3.4.4.2 Traitements physiques.....	62
3.4.4.3 Traitement chimique	62
3.5 Inventaire et revue critique de l'efficacité des mesures de maîtrise pendant la distribution.....	63
3.5.1 Description du module	63
3.5.2 Inventaire des mesures de maîtrise	64
3.5.3 Actions concrètes menées en filière	64
3.5.4 Evaluation générale de l'efficacité des mesures de maîtrise	64
3.6 Inventaire et revue critique de l'efficacité des mesures de maîtrise au stade de la consommation	65
3.6.1 Description du module	65
3.6.1.1 Achat	65
3.6.1.2 Transport - Conservation	65
3.6.1.3 Préparation	65
3.6.2 Actions concrètes à l'étape « consommation »	66
3.6.3 Inventaire des mesures de maîtrise	66
3.6.4 Evaluation générale de l'efficacité des mesures de maîtrise	66
3.7 Synthèse de la revue des mesures de maîtrise et de leur efficacité vis-à-vis des salmonelles	67

4	Méthodologie de modélisation intégrée pour l'évaluation de l'impact des mesures de maîtrise sur la réduction du risque de salmonellose humaine.....	70
4.1	Etat des lieux des modèles disponibles et choix de modélisation.....	70
4.2	Modélisation.....	72
4.2.1	Approche de modélisation.....	72
4.2.1.1	Description du modèle EFSA 2010 – SiPFR.....	73
4.2.1.2	Paramétrage - Application du modèle à la filière porcine française.....	76
4.2.1.3	Choix du modèle de dose-réponse.....	77
4.2.2	Estimation du risque de salmonellose par portion.....	78
4.2.2.1	Taille des portions.....	78
4.2.2.2	Probabilité d'être malade $P_{illness}$	78
4.2.2.3	Calcul du nombre annuel de cas N	79
4.2.2.4	Calcul du risque de référence R_{ref}	79
4.2.3	Validation de l'approche avec les données existantes.....	79
4.2.3.1	Prévalence.....	80
4.2.3.2	Nombre de cas humains estimés.....	80
4.3	Choix des interventions à tester au cours de la modélisation.....	81
4.4	Résultat de la modélisation - Evaluation de l'impact des mesures et des programmes de maîtrise sur la réduction du risque de salmonellose humaine.....	83
4.5	Prise en compte des incertitudes.....	85
4.5.1	Incertitudes liées aux données disponibles sur l'efficacité des mesures de maîtrise en filière.....	85
4.5.2	Incertitude liée aux données utilisées pour modéliser la filière et le comportement de <i>Salmonella</i> spp.	85
5	Conclusions du groupe de travail.....	86
5.1	État des lieux des connaissances sur l'efficacité des mesures de maîtrise pouvant être mises en œuvre dans la filière et évaluation de leur impact sur la réduction du risque pour le consommateur.....	86
5.2	Définition des points de gestion prioritaires pour maîtriser le risque de salmonellose pour le consommateur, en se basant sur une modélisation intégrée (c'est-à-dire sur l'ensemble des maillons de la filière) inspirée du modèle d'appréciation quantitative du risque (AQR) de l'EFSA en 2010.....	87
5.3	Considération finale.....	88
6	Recommandations de l'expertise collective.....	89
7	Bibliographie.....	90
7.1	Publications.....	90
7.2	Législation et réglementation.....	97
7.2.1	Normes.....	97
7.2.2	Directives.....	97
7.2.3	Règlements.....	97

8	ANNEXES.....	98
8.1	Lettre de saisine	98
8.2	Profil de recherche bibliographique	100
8.3	Détails de la revue bibliographique approfondie	103
8.4	Paramètres du modèle SiPFR.....	110
8.5	Composition des CES SABA ET ALAN	126
8.5.1	CES « Santé et bien-être des animaux » (SABA)	126
8.5.2	CES « Alimentation animale » (ALAN).....	127

Sigles, acronymes et abréviations

ADIV : Institut technique agroalimentaire des filières « viande »

ANSES : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

AFSCA : Agence fédérale pour la sécurité de la chaîne alimentaire en Belgique

AQE : Appréciation quantitative de l'exposition

AQR : Appréciation quantitative du risque

BPH : Bonnes pratiques d'hygiène

CCP : Point critique pour la maîtrise

CNR : Centre national de référence

DEP : Diarrhée épidémique porcine

DGAL : Direction générale de l'alimentation

DGCCRF : Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes

DTU : Université technique du Danemark (en danois : Danmarks Tekniske Universitet)

ECDC : Centre européen de prévention et de contrôle des maladies

EDCH : Eau destinée à la consommation humaine (ou eau potable)

EFSA : Autorité européenne de sécurité des aliments (en anglais : European food safety authority)

FAF : Fabrication d'aliments à la ferme

FAM : Flore aérobie mésophile

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture

GMS : Grandes et moyennes surfaces

GBPH : Guide de bonnes pratiques d'hygiène et d'application des principes HACCP

GT : Groupe de travail

HACCP: Hazard Analysis Critical Control Point

INAPORC : Interprofession de la filière porcine

INRA : Institut national de la recherche agronomique

LNR : Laboratoire national de référence

MM : Mesure de maîtrise

NPNS : Niveau de preuve non satisfaisant

NPS : Niveau de preuve satisfaisant

N&D : Nettoyage et désinfection

OIE : Organisation mondiale de la santé animale

OR : Odds ratio

PC : Plan de contrôle

PMS : Plan de maîtrise sanitaire

PS : Plan de surveillance

RIVM : Institut national de la santé publique et de l'environnement des Pays-Bas (en néerlandais: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu)

RR : Risque relatif

TIAC : Toxi-infection alimentaire collective

UE : Union européenne

VLA : Veterinary Laboratories Agency, UK

Glossaire

Mesure de maîtrise : toute action ou activité à laquelle on peut avoir recours pour prévenir ou éliminer un danger qui menace la salubrité d'un aliment ou pour le ramener un niveau acceptable.

Odds ratio d'infection : ratio entre le nombre d'élevages infectés et le nombre d'élevages non infectés.

Prévalence : rapport du nombre de cas / échantillons positifs à l'effectif total d'une population, sans distinction entre les cas nouveaux et les cas anciens.

Verrou : obstacle qui empêche la mise en œuvre d'une mesure de maîtrise. Les verrous peuvent être de cinq types (réglementaire, technologique, organoleptique, économique, d'acceptabilité sociale).

Liste des tableaux

Tableau 1. Détails des principales épidémies ou TIAC attribuées à la consommation de produits d'origine porcine et recensées par Santé publique France, de 2002 à 2017.....	19
Tableau 2. Prévalence de <i>Salmonella</i> aux différents maillons de la filière porcine : UE et principaux pays producteurs de porc - Corrége et Minvielle (2013).....	21
Tableau 3. Programmes européens de maîtrise des salmonelles en filière porcine	22
Tableau 4. Critères d'inclusion des articles pour la revue approfondie	24
Tableau 5. Mesures de maîtrise identifiées au stade de l'élevage	34
Tableau 6. Bilan du niveau de preuve des articles par mesures de maîtrise à l'élevage	35
Tableau 7. Mesures de maîtrise identifiées au stade du transport / attente	40
Tableau 8. Bilan du niveau de preuve des articles par mesure de maîtrise pendant le transport.....	43
Tableau 9. Bilan du niveau de preuve des articles par mesure de maîtrise pendant l'attente	43
Tableau 10. Mesures de maîtrise identifiées au stade de l'abattoir	50
Tableau 11. Principales bonnes pratiques d'hygiène liées aux opérations d'abattage des porcins	51
Tableau 12. Bilan du niveau de preuve des articles par mesures de maîtrise pendant l'abattage.....	53
Tableau 13. Mesures de maîtrise identifiées au stade de la transformation.....	58
Tableau 14. Plans de surveillance réalisés par la DGAL sur les produits à base de porc	59
Tableau 15. Bilan du niveau de preuve des articles par mesures de maîtrise à l'atelier de découpe	61
Tableau 16. Mesures de maîtrise identifiées au stade de la distribution	64
Tableau 17. Mesures de maîtrise identifiées au stade de la consommation	66
Tableau 18. Temps de réduction décimale (D) en minutes pour <i>Salmonella</i> dans du muscle de porc mariné et dans la viande de porc hachée marinée.....	67
Tableau 19. Synthèse des mesures de maîtrise caractérisées comme efficaces vis-à-vis des salmonelles et incertitudes associées	68
Tableau 20. Répartition des pratiques d'élevage en France (en % d'élevages concernés) et sources de données	76
Tableau 21. Paramètres utilisés pour la structure française d'élevage	77
Tableau 22. Taille de portion (en g) moyenne et médiane des différents produits chez les seuls consommateurs adultes de 18 à 79 ans (Source INCA3, Dubuisson <i>et al.</i> , 2017).....	78
Tableau 23. Calcul du nombre de cas annuels de salmonellose humaine pour les Etats membres testés dans le modèle EFSA 2010 (MS1, MS2, MS3, MS4) et pour la France	79
Tableau 24. Description des scénarios d'interventions évalués	82
Tableau 25. Détail par article de l'impact relevé lors de la revue bibliographique (Période 2010-2016)..	103
Tableau 26. Choix des paramètres pour l'adaptation du modèle SiP EFSA à la filière porcine française	110

Liste des figures

Figure 1. Répartition des sérovars dans les différents maillons de la chaîne alimentaire en industrie porcine (Réseau <i>Salmonella</i> , 2009-2015).....	18
Figure 2. Outil d'évaluation des articles scientifiques sur l'efficacité et l'impact des mesures de maîtrise.	26
Figure 3. Méthode d'estimation du niveau de preuve par article	27
Figure 4. Schéma des flux d'animaux entre troupeaux aux étapes de sélection, de multiplication et de production à l'amont de la filière porcine (Lurette, 2007b)	29
Figure 5. Schéma du maillon élevage et des principaux flux d'animaux entre les différents types d'élevages.....	30
Figure 6. Représentation de la conduite en bandes en filière porcine (Lurette, 2007a).....	31
Figure 7. Schéma des principales voies de contamination possibles par <i>Salmonella</i> spp. dans un élevage porcin (Corrégé et Minvielle, 2013).....	32
Figure 8. Diagramme du module transport / attente de la filière porcine française	39
Figure 9. Diagramme d'abattage des porcs	47
Figure 10. Diagramme des étapes de transformation pour les saucisses fraîches à cuire, le saucisson sec, la viande fraîche et le jambon sec	56
Figure 11. Schéma des étapes du module consommation	65
Figure 12. Séroprévalence des porcs en fonction du temps.....	71
Figure 13. Structure générale du modèle d'évaluation du risque lié à la contamination par <i>Salmonella</i> spp. dans la filière porcine	73
Figure 14. Les deux modèles (Teunis <i>et al.</i> 2010 ; FAO/WHO, 2002) de dose-réponse utilisés pour prédire le nombre de cas de salmonellose humaine avec leurs paramètres associés (en considérant l'incertitude) [tiré de Guillier <i>et al.</i> (2013)].	78
Figure 15. Evolution de la concentration en salmonelles sur une portion de viande fraîche de porc, pendant le module consommation.....	83

1 Contexte, objet et modalités de réalisation de l'expertise

1.1 Contexte

Le règlement (CE) n°2160/2003 du Parlement européen et du Conseil du 17 novembre 2003 sur le contrôle des salmonelles et d'autres agents zoonotiques spécifiques présents dans la chaîne alimentaire prévoit, dans son annexe I, la fixation d'objectifs européens visant à réduire la prévalence des salmonelles dans les troupeaux de porcs charcutiers et les troupeaux de reproducteurs porcins. Préalablement à la fixation de ces objectifs, des enquêtes de prévalence ont été conduites dans chaque État membre, en 2006-2007 pour les porcs charcutiers et 2008 pour les reproducteurs porcins. La France se positionnait au 6^{ème} rang européen en termes de prévalence de *Salmonella* spp. dans la filière porcine. Les objectifs européens prévus dans ce règlement, n'ont toujours pas été fixés au moment de la rédaction de ce document.

Plusieurs études ont montré que les pratiques et les technologies utilisées lors de l'abattage des porcs avaient un impact important sur la prévalence de *Salmonella* spp. sur les carcasses. De plus, les procédures particulières de fabrication de certaines salaisons sèches posent la question de leur efficacité au regard de la sécurité sanitaire des produits, dans le cas où les transformateurs utilisent des viandes potentiellement contaminées par *Salmonella* spp.

La Direction générale de l'alimentation (DGAL) a réactivé, en 2012 et 2013, les réflexions menées dans ce domaine depuis plusieurs années et a réuni l'ensemble des acteurs des maillons de la filière afin de présenter l'état d'avancement des travaux et d'échanger sur la stratégie de lutte. INAPORC (Interprofession de la filière porcine) et les représentants des différentes familles professionnelles ont présenté, lors des différentes rencontres, un projet de programme de lutte à la DGAL.

Par ailleurs, la Commission européenne a demandé à l'Autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA) de réaliser une appréciation quantitative des risques (AQR) pour le consommateur, liés à la présence de *Salmonella* spp. chez les porcs charcutiers et reproducteurs. Compte-tenu de la variabilité des données entre les États membres, l'avis rendu par l'EFSA en 2010 souligne l'intérêt d'utiliser les modèles qui y sont développés, en y intégrant les données nationales.

1.2 Objet de la saisine

Compte-tenu du contexte exposé précédemment, l'Anses a été saisie par la DGAL et la Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes (DGCCRF) afin de mener les travaux suivants :

1 – Réaliser un état des connaissances sur l'efficacité des mesures de maîtrise pouvant être mises en œuvre dans la filière et évaluer leur impact sur la réduction du risque pour le consommateur.

2 - Définir des points de gestion prioritaires, de la fourche à la fourchette, pour maîtriser le risque de salmonellose pour le consommateur, en se basant sur une modélisation intégrée (c'est-à-dire sur l'ensemble des maillons de la filière) inspirée du modèle d'appréciation quantitative du risque (AQR) de l'EFSA (EFSA 2010b).

La lettre de saisine figure en Annexe 1.

1.3 Modalités de traitement : moyens mis en œuvre et organisation

L'Anses a confié l'instruction de cette saisine au groupe de travail « Mesures de maîtrise des salmonelles en filière porcine », rattaché au comité d'experts spécialisé « Evaluation des risques biologiques dans les aliments » (CES BIORISK).

Le groupe de travail s'est réuni 16 fois entre juin 2016 et juin 2018. Ses travaux d'expertise ont été soumis au CES BIORISK, tant sur les aspects méthodologiques que scientifiques, lors des réunions du 16 octobre 2016, 20 avril 2017, 10 avril 2018, 15 mai 2018, 19 juin 2018 et 11 juillet 2018.

Le rapport produit par le groupe de travail tient compte des observations et des éléments complémentaires transmis par les membres du CES et par les relecteurs. Ces travaux sont ainsi issus d'un collectif d'experts aux compétences complémentaires. Le rapport final a été présenté et adopté lors de la réunion du CES BORISK du 11 juillet 2018.

L'expertise a été réalisée dans le respect de la norme NF X 50-110 (mai 2003) « Qualité en expertise – prescriptions générales de compétence pour une expertise ».

1.4 Prévention des risques de conflits d'intérêts.

L'Anses analyse les liens d'intérêts déclarés par les experts avant leur nomination et tout au long des travaux, afin d'éviter les risques de conflits d'intérêts au regard des points traités dans le cadre de l'expertise.

Les déclarations d'intérêts des experts sont publiées sur le site internet de l'agence (www.anses.fr).

2 Méthode d'expertise

L'expertise du groupe de travail s'est déroulée en trois phases. Tout d'abord, afin de répondre à la première partie de la saisine (état des lieux des connaissances sur l'efficacité des mesures de maîtrise pouvant être mises en œuvre dans la filière et évaluation de leur impact sur la réduction du risque pour le consommateur), le groupe de travail a mené une revue approfondie de la littérature sur les mesures de maîtrise en filière porcine, en France et à l'international, mises en place à l'élevage, à l'abattoir et pendant la transformation des viandes. Les programmes de maîtrise proposés par les professionnels et les autorités compétentes, ont également été identifiés.

En parallèle, dans l'objectif de répondre à la seconde partie de la saisine (définition des points de gestion prioritaires, de la fourche à la fourchette, pour maîtriser les risques, pour le consommateur, liés aux salmonelles, en s'inspirant du modèle d'analyse quantitative des risques de l'EFSA développé par un consortium, Hill *et al.* 2010, FCC Consortium 2010, EFSA 2010b), une revue des modèles d'appréciation quantitative du risque disponibles depuis 2009 a été conduite et le modèle européen a été adapté à la situation française. Les données à collecter ont été identifiées.

Une approche intégrée de la filière porcine française a été retenue et le modèle (appelé SiPFR¹) permet de suivre l'évolution de la prévalence de l'infection et de la concentration en *Salmonella* spp., depuis l'élevage jusqu'à l'assiette du consommateur. La probabilité d'être malade pour l'Homme est obtenue grâce à l'intégration d'un modèle de dose-réponse à SiPFR.

Enfin, des scénarios d'application de mesures de maîtrise, définis grâce aux connaissances acquises lors de la revue approfondie de la littérature, ont été testés et l'analyse des points de gestion prioritaires a été menée en mesurant l'impact relatif d'un scénario par rapport au scénario de référence sur la réduction du nombre de cas de salmonellose humaine.

2.1 Champ d'application

2.1.1 Le danger *Salmonella* spp. et les sources de contamination

Les salmonelles non typhiques sont responsables, chez l'Homme et dans certaines conditions, d'une infection principalement d'origine alimentaire, la salmonellose, caractérisée par des manifestations cliniques de type gastro-entérite aiguë. Les principaux symptômes sont : nausées, vomissements, douleurs abdominales, diarrhées, maux de tête, frissons et fièvre à 39-40°C. L'évolution est généralement favorable en quelques jours. Cette infection peut évoluer vers une forme septicémique ou localisée, pouvant nécessiter une hospitalisation.

Les formules antigéniques de l'ensemble des sérovars (ou sérotypes) connus chez *Salmonella* spp. sont répertoriées au sein du schéma de Kauffmann-White-Le Minor (The *Salmonella* Subcommittee of the Nomenclature Committee of the International Society for microbiology, 1934). Il existe une très grande diversité de sérovars (plus de 2 600) mais, selon les données du Réseau *Salmonella* de l'Anses, les 15 les plus fréquemment isolés représentent environ 90% des souches d'origine non humaine. *S.* Typhimurium est le sérovar prédominant dans le domaine alimentaire, mais l'importance relative des sérovars varie avec le temps et les sources d'isolement. Le réservoir principal de *Salmonella* spp. est le tractus gastro-intestinal des mammifères (porcs, bovins) et des oiseaux (volailles domestiques). Certaines sous espèces de *S. enterica* peuvent également être isolées d'autres sources, telles que les animaux à sang froid (reptiles, tortues) et les animaux aquatiques (mollusques, poissons). Les animaux représentent donc le réservoir primaire et principal des salmonelles. Du fait de son portage intestinal, de son excrétion et de ses capacités de survie, les pâturages, les sols et l'eau peuvent ainsi constituer des réservoirs secondaires de *Salmonella* spp.

¹ SiPFR = *Salmonella* in Pig for FRance

Les salmonelloses humaines non typhiques sont des maladies zoonotiques. La transmission à l'Homme se fait essentiellement lors de la consommation d'aliments contaminés, crus ou peu cuits ou recontaminés après l'étape de cuisson, et dans lesquels la bactérie a eu la possibilité de se multiplier.

La part de la transmission par voie alimentaire est estimée à 95 % pour les salmonelles non typhiques, les autres voies de transmission peuvent être par contact avec des animaux infectés, un environnement contaminé ou interhumaine. Tous les sérovars doivent être considérés comme potentiellement pathogènes pour l'Homme.

En raison de leur caractère zoonotique et de leur implication fréquente dans les cas de maladies infectieuses d'origine alimentaire, *Salmonella* spp. représentent un danger sur lequel beaucoup d'efforts de surveillance sont portés, aussi bien pour les souches à l'origine de cas humains que pour celles isolées en médecine vétérinaire et en agro-alimentaire. Le réservoir principal de *Salmonella* spp. est le tractus gastro-intestinal des mammifères (porcs, bovins) et des oiseaux (volailles domestiques).

Le Réseau *Salmonella*, géré et animé depuis sa création en 1997 par l'Anses, est un dispositif transversal de surveillance des salmonelles d'origine non humaine. Il repose, par la voie du volontariat, sur la collecte d'isolats accompagnés de renseignements concernant, par exemple, la source d'isolement, le type de prélèvement, l'origine géographique, la catégorie de produit alimentaire. Ces informations sont transmises par les laboratoires partenaires du réseau. Toutes ces données sont centralisées dans une base rassemblant annuellement, en moyenne, de 10 000 à 15 000 enregistrements relatifs aux isolats. Ainsi, environ 250 sérovars différents sont répertoriés annuellement par le réseau, traduisant la grande diversité des salmonelles présentes tout au long de la chaîne alimentaire, dans des écosystèmes très divers.

Les souches et les données, collectées par le Réseau *Salmonella*, sont issues de prélèvements variés réalisés dans le cadre de la surveillance réglementée, de contrôles officiels mais aussi dans le cadre de projets de recherche ou d'autocontrôles (de la production primaire aux produits mis sur le marché). Par conséquent, il n'est pas possible de considérer ces données comme représentatives de la situation épidémiologique nationale, mais leur étude, au cours du temps, permet de dégager des tendances évolutives. Les souches collectées sont systématiquement identifiées et caractérisées par la détermination du sérovar (sérotypage). D'autres méthodes moléculaires peuvent également être mises en œuvre, pour la caractérisation approfondie des isolats, dans le cadre d'enquêtes, d'investigations en situation de TIAC (toxi-infection alimentaire collective) ou de suivis épidémiologiques.

En ce qui concerne la filière porcine, il est à noter que certains sérovars sont fréquemment identifiés dans les différentes étapes de la filière, aussi bien en élevage qu'en abattoir et lors de la transformation des viandes (figure 1). Il s'agit des sérovars Derby, Typhimurium et de son variant monophasique de formule antigénique 1,4, [5],12:i:- qui a fortement émergé il y a une dizaine d'années. Par ailleurs, les sérovars isolés de l'alimentation animale destinée à la filière porcine sont beaucoup plus variés et ne sont pas toujours identiques à ceux qui sont les plus fréquemment isolés tout au long de la filière porcine.

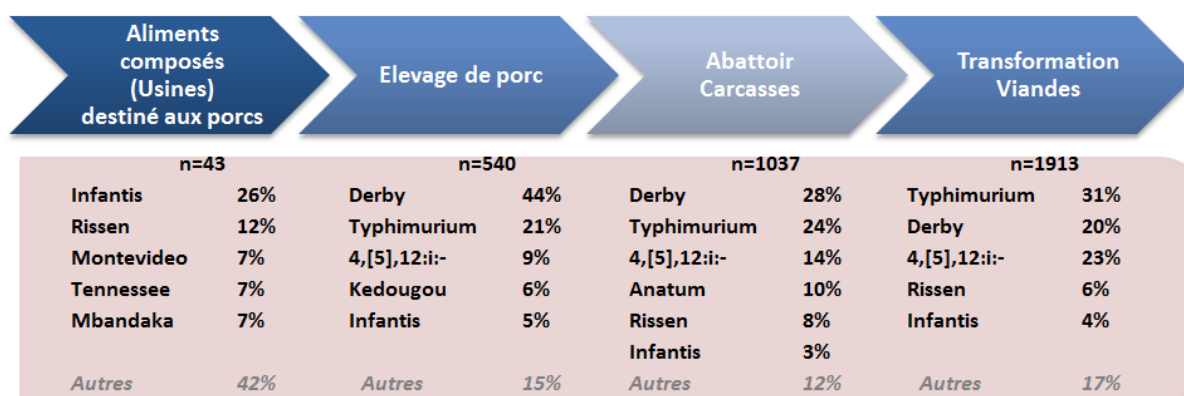


Figure 1. Répartition des sérovars dans les différents maillons de la chaîne alimentaire en industrie porcine (Réseau *Salmonella*, 2009-2015)

Par ailleurs, d'après les données du Centre national de référence (CNR) concerné, deux de ces trois sérovars sont également très fréquemment isolés chez l'Homme et apparaissent, depuis 2005, en première position pour *S. Typhimurium* et, depuis 2012, en deuxième position pour le variant monophasique. De plus, selon les années, *S. Derby* se positionne dans les dix premiers et parfois dans les cinq premiers sérovars isolés chez l'Homme (Données CNR *Escherichia coli*, *Shigella* et *Salmonella*).

Compte-tenu de la question de la saisine, il a été décidé de traiter globalement le sujet indépendamment du sérovar, considérant ainsi que les mesures de maîtrise ont une action identique sur l'ensemble des salmonelles. Néanmoins, lors de la revue bibliographique réalisée, la majorité des articles et travaux portaient spécifiquement sur le sérovar *S. Typhimurium*.

2.1.2 Surveillance et choix des produits testés

Les principales épidémies ou TIAC françaises attribuées à la consommation de produits d'origine porcine survenues entre 2002 et 2017 ont été recensées et sont reportées dans le tableau 1.

Tableau 1. Détails des principales épidémies ou TIAC attribuées à la consommation de produits d'origine porcine et recensées par Santé publique France, de 2002 à 2017

Année	Sérovar	Nombre de cas	Nature du produit
2002	Typhimurium	27	Saucisse sèche
2005	Manhattan	27	Saucisse
2008	Brandenburg	35	Saucisson sec (suspecté non confirmé)
	Typhimurium	101	Rosette
2010	4,12 :i :-	132	Saucisse sèche
2011	4,5,12 :i :-	337	Saucisson sec
2012	Infantis	15	Andouille
2013	Bovismorbificans	18	Viande de porc et charcuterie
	Putten	29	Pâté de tête
2014	4,5,12 :i :-	3	Saucisson sec (« fuet »)
	Havana	12	Saucisson sec
	Typhimurium	22	Saucisson sec
	4,5,12 :i :-	43	Saucisse sèche

Les sérovars impliqués dans ces épidémies étaient variés, néanmoins *S. Typhimurium* et son variant monophasique ont été retrouvés dans plus de la moitié des épidémies répertoriées dans le tableau 1.

Le modèle intégré européen SiP², utilisé comme base de modélisation pour les travaux du groupe de travail, étudie trois types de produits : les salaisons, la chair à saucisse (viande hachée porcine destinée à être cuite) et la viande fraîche de porc. Le consortium européen à l'origine du modèle SiP argumente le choix de ces trois types de produit par le fait qu'ils représentent la diversité des produits, en termes de mode de production et de consommation.

Ces éléments justifient la nécessité de la validation de l'efficacité des actions correctives mises en place ou proposées sur ces produits de la filière porcine.

² SiP = modèle *Salmonella* in Pig européen (EFSA 2010b)

Le travail présenté ci-après a donc été réalisé pour les trois mêmes types d'aliments identifiés comme produits d'intérêt par l'EFSA en 2010 :

- la viande fraîche de porc, ne subissant aucune transformation après sa préparation dans un atelier de découpe, et subissant une cuisson juste avant sa consommation ;
- les produits de saucisserie fraîche destinés à la cuisson ;
- les produits de salaison sèche destinés à être consommés sans cuisson.

2.1.3 Revue des pratiques de la maîtrise du danger *Salmonella* dans la filière porcine française

Afin de mieux appréhender la diversité des pratiques mises en place dans la filière en termes de procédés de fabrication et de mesures de maîtrise (pratiques, contraintes, faisabilité, expérience d'évaluation d'efficacité de mesures de maîtrise aux différents maillons), le groupe de travail a auditionné des professionnels de la filière porcine et des instituts techniques concernés, à savoir :

- l'INAPORC (interprofession nationale porcine) qui rassemble l'ensemble des métiers de la filière porcine française (audition le 28 septembre 2016) ;
- la FICT (fédération professionnelle représentative des industries charcutières, traiteurs et transformatrices de viandes) représentant 250 entreprises de charcuterie-salaisons-traiteur en France métropolitaine (audition le 27 septembre 2016) ;
- l'IFIP (institut technique du porc) qui assure une mission de recherche, développement et innovation pour tous les métiers de la filière (audition le 28 septembre 2016) ;
- la FNICGV (aujourd'hui FEDEV, fédération des métiers de la viande), fédération nationale de l'industrie et des commerces en gros des viandes qui représente plus de 75 % des entreprises du secteur (audition le 14 novembre 2016) ;
- Culture Viande, syndicat des entreprises françaises des viandes (incluant les étapes d'abattage, de découpe et de transformation). Ce syndicat résulte de la fusion du syndicat national de l'industrie des viandes (SNIV) avec le syndicat national du commerce du porc (SNCP) (audition le 14 novembre 2016).

Ces auditions ont permis d'échanger sur les mesures actuellement en place et sur l'historique des actions entreprises par les professionnels. Des données techniques, économiques et relatives au procédé de fabrication ont également été transmises à l'Anses au cours et à l'issue de ces auditions.

Les données et informations acquises lors des auditions ont été prises en compte dans les parties « Évaluation de l'efficacité des mesures de maîtrise » ou « Paramétrage du modèle » et sont détaillées en Annexe du présent rapport.

2.1.4 Revue des programmes de maîtrise des salmonelles mis en place en filière porcine par les Etats membres depuis 2005

Les enquêtes européennes de prévalence menées entre 2006 et 2009 estiment des niveaux de prévalence dans les différents Etats membres de l'Union Européenne (tableau 2). Ces estimations, associées au dispositif réglementaire européen (Paquet Hygiène et règlement (CE) n°2160/2003 du Parlement européen et du Conseil du 17 novembre 2003 sur le contrôle des salmonelles et d'autres agents zoonotiques spécifiques présents dans la chaîne alimentaire), ont eu pour conséquence une volonté de mise en place de plan de lutte contre les salmonelles dans les filières porcines européennes. Depuis, si aucun programme de lutte harmonisé en filière porcine en Europe n'a été mis en place, la Commission européenne a renforcé ses exigences vis-à-vis de la supervision des autorités compétentes. Les initiatives françaises en termes de collecte de données d'auto-contrôles et de mise en place de plan de surveillance en filière sont décrites dans le rapport ci-après.

Tableau 2. Prévalence de *Salmonella* aux différents maillons de la filière porcine : UE et principaux pays producteurs de porc - Corrége et Minvielle (2013)

% de positifs / nombre d'analyses	UE	France	Allemagne	Belgique	Danemark	Espagne	Pays-Bas
Reproducteurs : bactériologie sur fèces, 10 pools de 10 truies/élevage, % d'élevages positifs ⁽¹⁾							
.élevage de sélection-multiplication	28,7%/1 430	50,3%/157	28,3%/46	18,8%/16 36,4%/	41,1%/95	64,0%/150	57,8%/109
.élevage de production	33,3%/3 211	38,7%/186	20,6%/ 155	209	41,4%/198	53,1%/209	55,7%/212
Porcs : bactériologie sur nœuds lymphatiques à l'abattoir (élevage + transport + attente), % de porcs positifs ⁽²⁾	10,3%/18 663	18,1%/1 163	10,9%/2 567	13,9%/601	7,7%/998	29,0%/2 619	8,5%/1 087
Carcasses : bactériologie sur chiffonnettes en fin de chaîne d'abattage ⁽²⁾	8,3%/5 736	17,6%/413	-	18,8%/381	3,3%/344	-	-
Alimentation : aliments composés ⁽³⁾ – UE : 0,5%/5 548							
Viande fraîche de porc aux stades abattoir, découpe ou distribution ⁽³⁾ : UE : 0,9%/69 005							

⁽¹⁾ EFSA 2009, ⁽²⁾ EFSA 2008a, ⁽³⁾ EFSA 2012

Il apparaît important de décrire les programmes de maîtrise des salmonelles en filière porcine mis en place par les autres Etats membre depuis 2010. Le tableau 3 présente les différentes initiatives européennes depuis 1961.

Tableau 3. Programmes européens de maîtrise des salmonelles en filière porcine

Pays	Date de mise en place du programme	Obligatoire/ Volontaire	Méthode	Maillon(s) de la chaîne	Résultats observés	Commentaire
Allemagne	2003	Obligatoire	Sérologie sur jus de viande (60 échantillons par an par élevage) Classement : 1 (<20% de positifs) ; 2 (≥20% et <40% de positifs) ; 3 (≥40% de positifs)	50% des élevages testés	Peu de résultats	+ mesures d'incitation (marque de garantie qualité)
Belgique	2005 - 2015	Obligatoire	Sérosurveillance 3 fois par an et attribution d'un statut « à risque » si le ratio n échantillons total / n échantillons + (Elisa s/p ratio) est supérieur 0,6 trois fois de suite Programme allégé en 2013 : prise de sang une fois par an		Baisse de la prévalence en élevage (mais probablement due à la baisse de fréquence d'échantillonnage)	Arrêt du programme officiel en 2015 (coût et inefficacité au niveau des élevages)
Danemark	1995	Volontaire	Pénalités économiques appliquées selon le statut des élevages : 2% de la valeur de la carcasse pour les élevages de niveau 2 (séroprévalence intermédiaire) et entre 4 et 8% pour les élevages de niveau 3 (séroprévalence élevée). Sérologie sur jus de viande (60 à 100 échantillons par an) Classement : 1 (<40% de positifs) ; 2 (≥40% et <65% de positifs) ; 3 (≥65% de positifs)	Alimentation animale Elevage Abattage		
Grande-Bretagne	2002	Volontaire	Sérologie jus de viande	Elevage		+ mesures d'incitation (marque de garantie qualité) - Programme suspendu
Irlande			Attribution d'un niveau de prévalence des élevages (pas de classement en différentes catégories) Prélèvement sanguin (72 échantillons par an) : si ≥50% de positifs alors l'élevage est exclu de la marque de qualité			
Pays-Bas	2005	Obligatoire	Sérologie sur jus de viande	Elevage Abattage		+ mesures d'incitation (marque de garantie qualité)
Suède et Norvège	1961	Obligatoire	Si positif > mesures de lutte jusqu'à l'obtention de résultats négatifs <u>Stratégie d'éradication sur niveaux de prévalences faibles</u>	Elevage Abattoirs/Découpe	Contamination initiale très faible aux maillons étudiés	

2.2 Méthodologie pour la réalisation de l'état des lieux des connaissances - Revue approfondie de la littérature sur l'impact des mesures de maîtrise en filière porcine

La première étape des travaux de cette revue a consisté en la description des différentes étapes de la filière porcine française, de l'élevage jusqu'aux produits transformés à base de porc. Cette vision précise de la filière française de production porcine est indispensable pour une adaptation cohérente du modèle européen proposé par l'EFSA.

Pour mener à bien cette tâche, le groupe de travail s'est basé sur l'expertise des membres qui le composent et a complété ses connaissances en menant des auditions et en visitant un abattoir de porcs.

Ensuite, toutes les mesures de maîtrise identifiées dans la bibliographie (revue approfondie + littérature grise) ont été listées. Les obstacles empêchant la mise en œuvre de certaines d'entre elles, appelés dans ce rapport « verrous », peuvent être de cinq types :

- verrou réglementaire (mesure de maîtrise non autorisée par la réglementation en vigueur. Exemple : la vaccination des animaux contre *Salmonella* spp.) ;
- verrou technologique (technique non disponible pour une mise en place à l'échelle de la filière) ;
- verrou organoleptique (la mesure de maîtrise va modifier l'aspect ou le goût du produit et influencer sur sa consommation) ;
- verrou économique (le coût de la mesure de maîtrise est trop élevé pour être mis en place) ;
- verrou d'acceptabilité sociale (exemple : l'ionisation / irradiation de la viande).

Les « verrous » potentiels à la mise en œuvre d'une mesure de maîtrise en France seront identifiés mais ne constitueront en rien une raison d'écarter la mesure de maîtrise concernée dans l'analyse. Les différents « verrous » seront discutés dans la partie finale de ce rapport.

Dans un troisième temps, les actions concrètes actuellement menées en filière par les professionnels et relevées lors des auditions, visites et lectures, ont été identifiées et permettront d'alimenter les discussions finales.

Enfin, l'évaluation générale de l'efficacité des mesures de maîtrise, au point d'application, a été réalisée grâce à la revue approfondie de la littérature.

A noter : l'utilisation préventive d'antibiotiques n'a pas fait l'objet d'une évaluation lors des travaux du groupe.

2.2.1 Démarche adoptée pour la recherche bibliographique approfondie

La méthodologie adoptée pour l'évaluation de l'efficacité des mesures de maîtrise suit les recommandations de l'EFSA en matière de revue systématique (EFSA 2010a), selon les étapes suivantes :

1. Validation de la question formulée dans le cadre de la revue ;
2. Critères d'inclusion pour la sélection bibliographique (méthode PICO) ;
3. Vérification de l'exhaustivité et de la pertinence de la sélection ;
4. Evaluation de l'efficacité des mesures de maîtrise grâce à un OEC (outil d'évaluation critique) (EFSA 2015) ;
5. Synthèse et interprétation des données, prise en compte des incertitudes.

L'objectif intermédiaire de cette méthodologie est de faire une synthèse de la lecture approfondie des experts sous forme de tableau, par type de mesure et par étape de la chaîne.

En s'appuyant sur les scores donnés par chaque expert sur la pertinence de la méthode d'étude d'impact (choix de la méthode analytique, groupe témoins/tests, population testée), des hypothèses et des biais associés ainsi que de la qualité globale de l'étude, l'évaluation de chaque mesure est rendue possible de manière transparente et harmonisée.

2.2.1.1 Formulation de la question

La question posée dans le cadre de la revue de la bibliographie est : « Quelle est l'efficacité (qualitative ou quantitative) des différentes mesures de maîtrise sur les salmonelles en filière porcine ? »

2.2.1.2 Définition des critères d'inclusion des articles

Les critères d'inclusion des articles dans la revue menée par les experts sont présentés dans le tableau 4. Ce tableau permet de tracer l'orientation de la recherche bibliographique, en application de la procédure « Organisation de la réalisation d'une expertise en réponse à une saisine ou une auto-saisine » de l'Anses. Les bases de données utilisées pour la recherche bibliographique sont les bases Scopus et Pubmed. Le profil de recherche bibliographique figure en Annexe 2 de ce rapport.

Tableau 4. Critères d'inclusion des articles pour la revue approfondie

Population	Danger : salmonelles Produits à base de porc : salaisons en général, saucisses et viandes fraîches
Intervention	Sur la filière porcine Mesure de maîtrise réalisable à un maillon de la filière
Comparateur	Témoin n'ayant pas subi la mesure de maîtrise (situation ou groupe contrôle)
Résultat (événement mesuré, issue clinique)	Réduction ou inactivation totale de <i>Salmonella</i> spp. dans le produit étudié ou Réduction des cas de salmonelloses chez les consommateurs
Autres critères	
Langage	Français, Anglais
Période	01/01/2009 - 15/07/2016 (les publications antérieures à 2009 sont évaluées dans le rapport EFSA servant de base aux travaux du GT)
Type de publication	Etude de recherche primaire (nouvelles données générées) Revue = Non Complément par littérature grise des experts
Mot clefs	Pig* (or) swine (or) pork AND Salmonel* AND control* (or) intervention (or) strateg* (or) measure*

Le groupe de travail utilise les termes :

- « **efficacité** » lorsqu'il est question d'une mesure de maîtrise et de sa conséquence au point d'application de cette mesure.

Est considérée comme efficace toute mesure entraînant une réduction statistiquement significative de la prévalence et/ou du nombre de salmonelles en comparaison avec un groupe ou une situation « témoin ».

- « **impact** » lorsqu'il est question d'une mesure de maîtrise et de sa conséquence sur la santé publique et le risque pour le consommateur.

Est considérée comme ayant un impact positif toute mesure entraînant une réduction du nombre de cas humains liés aux salmonelles.

2.2.1.3 Vérification de l'exhaustivité et de la pertinence de la sélection

Plusieurs étapes de sélection à partir du résumé de l'article ont permis d'en réduire le nombre et d'assurer l'exhaustivité et la pertinence de la sélection d'études.

Au final, 119 articles ont été lus de manière approfondie, sur 1503 articles sélectionnés à l'origine (cf. profil de recherche bibliographique en Annexe 2).

2.2.1.4 Evaluation de l'efficacité des mesures de maîtrise grâce à un Outil d'évaluation critique (OEC)

Afin d'extraire et de traiter de façon systématique les données qualitatives et quantitatives issues de la lecture approfondie des articles sur l'efficacité et l'impact des mesures de maîtrise, un outil d'évaluation critique (OEC) a été développé en suivant les recommandations européennes (EFSA, 2015).

Cet outil se présente sous la forme d'un formulaire élaboré, sous Visual Basic for Applications (VBA), (figure 2), après discussion avec les experts du groupe de travail sur les critères et les informations à recueillir de manière obligatoire pour les articles sélectionnés. Les experts ont convenu qu'il fallait prendre en compte l'évaluation des biais et la pertinence de la méthode pour chaque article, sans être trop restrictif dans les critères à remplir pour les articles sélectionnés (pour éviter le risque d'exclure trop d'articles). Le formulaire permet de renseigner :

- l'article, ses auteurs, le pays et l'objet de l'étude (sérovary(s) et produit(s) étudiés) ;
- la ou les mesures de maîtrise étudiée(s) dans l'article (conditions d'application, condition de mesure d'impact et d'efficacité) ;
- l'efficacité et/ou l'impact quantifié si disponible avec son unité ;
- l'estimation faite par l'expert :
 - du niveau de confiance ou d'estimation de la pertinence de la méthodologie et de l'impact de la mesure de maîtrise employée dans l'étude (méthode non ou peu pertinente/méthode pertinente/ne se prononce pas) ;
 - du niveau de biais liés à la méthode de l'étude (risque de biais formellement ou probablement bas/risque de biais formellement ou probablement haut) ;
 - de la qualité générale de l'étude en termes de méthode et de rendu des résultats (données, discussion des biais, présentation des résultats) (qualité non/peu/moyennement/tout à fait satisfaisante).

Chaque article sélectionné lors de la revue bibliographique approfondie a fait l'objet d'une lecture par un ou deux experts, en suivant la même grille de lecture.

Le détail de ces lectures critiques est disponible, sur demande. Une synthèse des lectures et des informations extraites est présentée dans la troisième partie de ce rapport.

Grille de Lecture Articles Efficacité des mesures de maîtrise des Salmonelles en filière Porcine - GT SALMO PIG -ANSES DER -2016

ANSES-
DER-2016

Identification relecture

Nom relecteur: Source Publication: Si autre source, Auteurs:

identifiant article si source: Biblio DER: Si autre source, Année:

Pays de l'étude: Type d'autre source: (présentation, revue pro...):

Sérotype de Salmonella étudié, si précisé: Si autre source, Titre:

Espèce animale ou matrice étudiée(s):

Première mesure de maîtrise | deuxièmè mesure de maîtrise | troisièmè mesure de maîtrise

Etape(s) concernée(s) par l'application de la mesure (appuyer sur "Ctrl" pour pouvoir en sélectionner plusieurs):

- Alimentation animale
- Sélectionneur-Multiplicateur
- Elevage (engraisseur)
- Transport
- Attente
- Abattage/découpe
- Transformation (post-découpe)
- Distribution
- Consommateur

Point de mesure de l'efficacité: Type d'étude: Type de mesure:

Nom - Définition de la maîtrise:

Méthode de détection utilisée:

Méthode d'évaluation de l'efficacité (ex: réduction salmo, réduction cas...):

Type de résultats: Impact de la mesure de maîtrise:

Si résultat qualitatif: Expression résultat du % de réduction, efficace/pas efficace,...:

Si résultat quantitatif:

Unité résultat quantitatif:

Niveau de confiance de l'expert / méthodologie d'évaluation de l'efficacité de la mesure

Qualité etude

Lien d'intérêt déclarés dans l'étude? Si pays de l'étude n'est pas la France, mesures applicables en France? (réglementation, pratiques, coûts,...):

Citer les limites identifiées (biais...) dans l'article: Citer les limites non identifiées dans l'article:

Estimation par l'expert du niveau de risque de biais: Commentaires:

Niveau de qualité général de l'étude estimée par l'expert (Risque de biais X précision X méthode adaptée)

Figure 2. Outil d'évaluation des articles scientifiques sur l'efficacité et l'impact des mesures de maîtrise

2.2.2 Méthode de synthèse et interprétation des données - prise en compte des incertitudes

2.2.2.1 Estimation du niveau de preuve des articles

L'outil d'évaluation critique a permis de réunir de façon systématique et détaillée les informations sur l'efficacité et/ou l'impact de chaque mesure de maîtrise identifiée ainsi que le niveau de confiance accordé par les experts.

Les différentes informations concernant la pertinence de la méthode et le niveau de biais sont utilisées afin de conclure quant au niveau de preuve : satisfaisant/modéré/non satisfaisant ; la méthode de décision est décrite en figure 3.

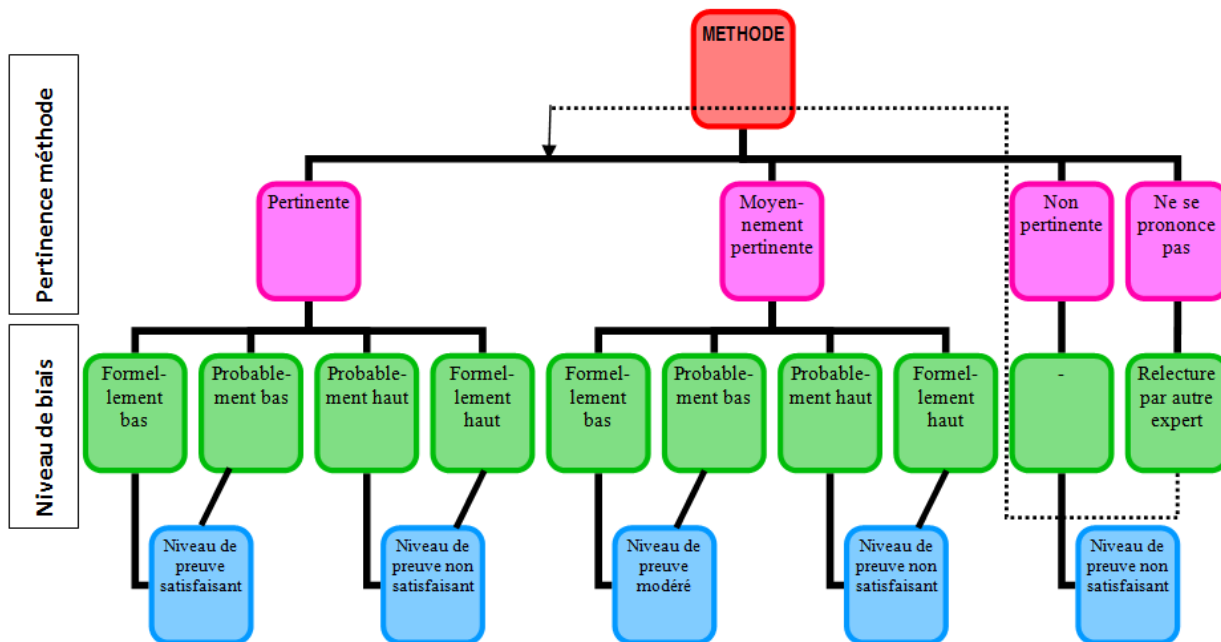


Figure 3. Méthode d'estimation du niveau de preuve par article

2.2.2.2 Estimation du niveau de preuve par mesure de maîtrise

L'évaluation du niveau de preuve par mesure de maîtrise est conditionnée aux cohérences ou incohérences des résultats d'efficacité publiés, ainsi qu'au nombre d'articles consacrés et au niveau de preuve associé. Ce dernier permet d'évaluer l'incertitude liée aux données extraites de la revue bibliographique.

Les experts ont également discuté des verrous éventuels, les éléments de nuance sur l'application des mesures de maîtrise identifiées sont apportés en discussion de ce rapport.

Les éléments de niveaux de preuve par article et par mesure de maîtrise sont présentés dans la troisième partie de ce rapport, et complétés par les éléments tirés de la littérature grise et des données transmises lors des auditions menées par le groupe de travail.

L'ensemble des articles a été lu et chacun d'entre eux a été répertorié dans des tableaux « bilan », présenté, par module, dans la troisième partie du rapport.

Ainsi, pour établir le bilan de l'efficacité des interventions et de leur intégration potentielle dans les travaux ultérieurs de modélisation, seuls les articles estimés avec un niveau de preuve satisfaisant (associant pertinence de la méthode d'évaluation de l'efficacité et niveau de biais probablement ou formellement bas) ont été pris en compte par le groupe de travail.

3 Etat des connaissances sur l'efficacité des mesures de maîtrise en filière porcine

Cette première partie relative à l'état des connaissances sur l'efficacité des mesures de maîtrise identifiées, applicables ou non en filière porcine, expose, module par module, les étapes des procédés, les mesures de maîtrise et l'analyse de leur efficacité. Elle résulte de la synthèse de la revue approfondie de la littérature réalisée par les experts, des auditions et visites menées ainsi que de la lecture du rapport scientifique remis à l'EFSA par le consortium FCC, en 2010.

Les travaux présentés dans ce rapport n'ont pas ciblé un sérovar particulier, cependant les études présentées dans la revue de la bibliographie portent fréquemment sur l'efficacité des mesures de maîtrise en s'appuyant, de façon expérimentale, sur le sérovar Typhimurium.

Pour rappel, l'objectif de cette première partie est :

- d'inventorier les mesures de maîtrise actuellement à la disposition des professionnels et des gestionnaires de risque et de présenter de façon transparente et argumentée leur efficacité sur la contamination par les salmonelles ;
- d'alimenter le modèle SiPFR avec des données quantitatives d'efficacité dont la qualité est jugée satisfaisante, afin de permettre l'identification des leviers d'action et des points de gestion prioritaires pour maîtriser le danger salmonelles en filière porcine ;
- de mieux évaluer le niveau d'incertitude associé au modèle et au choix de paramétrage (grâce au niveau de preuve associé aux données d'efficacité du modèle).

3.1 Inventaire et revue critique de l'efficacité des mesures de maîtrise dans les élevages porcins français

3.1.1 Description du module

3.1.1.1 Organisation de la filière porcine en France

La filière porcine a une structure pyramidale, fondée sur l'organisation de l'amélioration génétique. L'étage de sélection, au sommet de la pyramide, approvisionne en animaux de lignée génétique pure, les troupeaux multiplicateurs. Les éleveurs de ces derniers effectuent des croisements de races afin d'obtenir des animaux ayant les meilleures performances (effet hétérosis). Ils approvisionnent ainsi en animaux reproducteurs, les troupeaux de production destinés à fournir des porcs charcutiers à l'abattoir (base de la pyramide) (Lurette 2007) (figure 4).

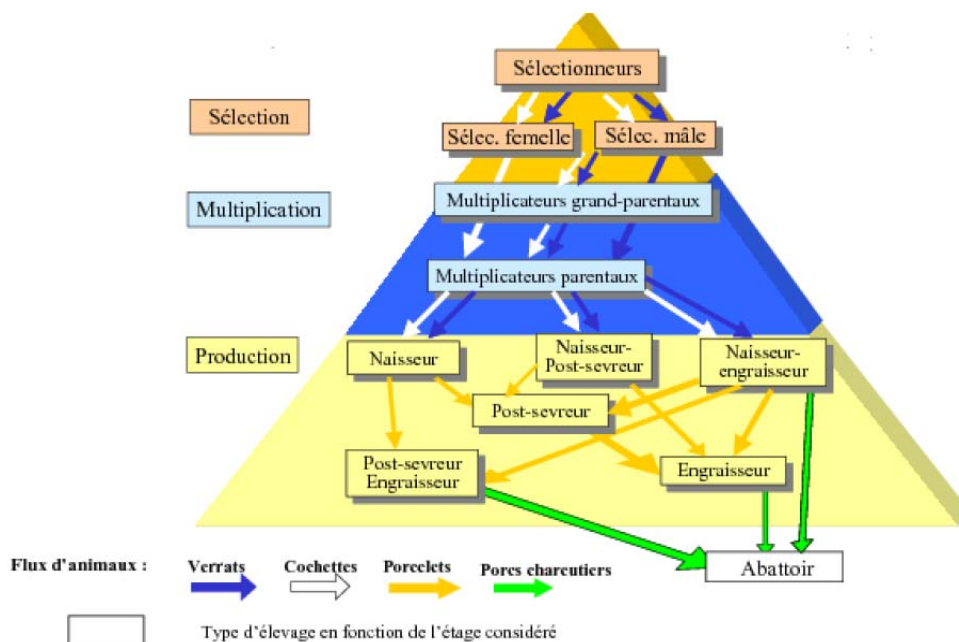


Figure 4. Schéma des flux d'animaux entre troupeaux aux étages de sélection, de multiplication et de production à l'amont de la filière porcine (Lurette, 2007b)

Les opérateurs associés à la production de porcs charcutiers sont groupés en structures économiques (groupements de producteurs pour la vente et sociétés privées ou coopératives possédant les abattoirs pour les achats). Les flux d'animaux entre troupeaux peuvent être des porcs à différents stades de leur croissance ou des animaux reproducteurs : truies de renouvellement appelées cochettes et verrats (figure 4).

Les flux d'animaux reproducteurs sont unidirectionnels : ils interviennent uniquement du haut de la filière (sélection) vers le bas (production) et principalement d'un étage vers celui directement inférieur ou égal.

Les flux de porcs, aux différents stades de leur croissance, interviennent principalement à l'étage de production entre types de troupeaux différents.

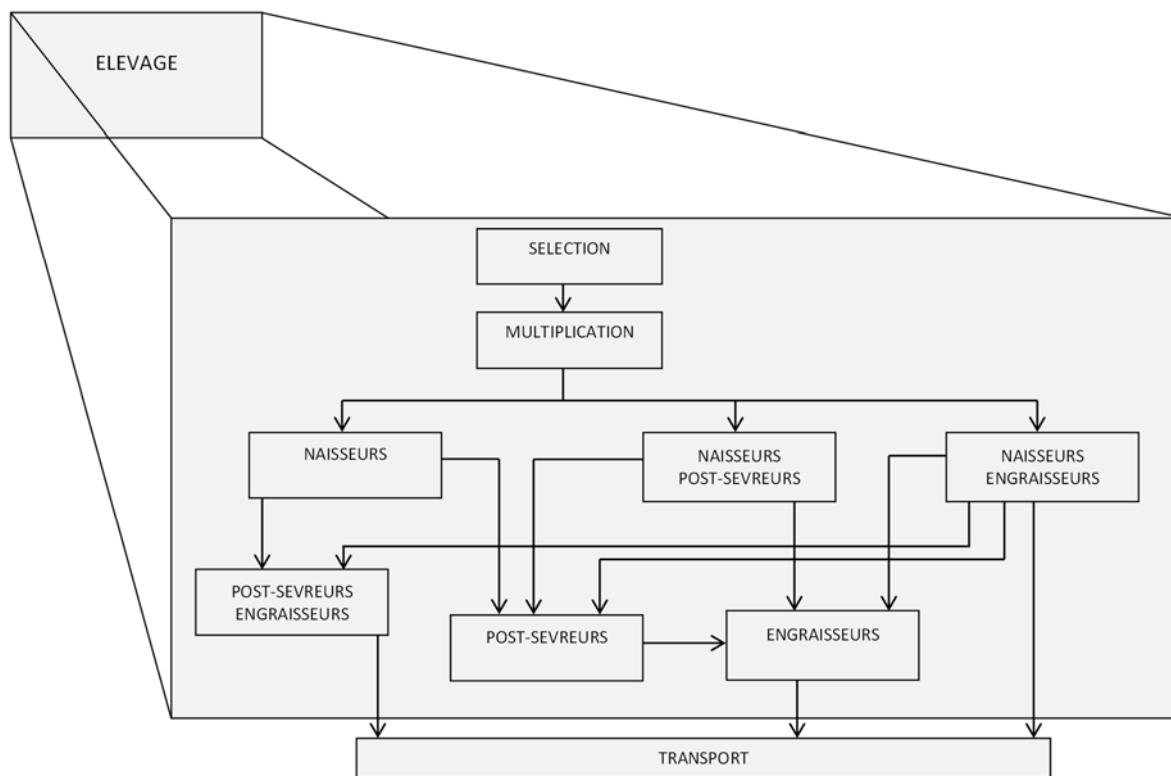


Figure 5. Schéma du maillon élevage et des principaux flux d'animaux entre les différents types d'élevages

Les différentes structures d'élevage de l'étage de production (figure 5) sont :

Les naisseurs-engraisseurs (73% du cheptel porcine) : ces élevages sont approvisionnés en animaux reproducteurs, et réalisent non seulement la phase de reproduction (naissance des porcelets) mais également d'engraissement de ces derniers, aboutissant à la production de porcs charcutiers destinés à l'abattoir.

Les naisseurs sont des élevages qui réalisent la phase de reproduction et de lactation ainsi que le début de la phase de croissance ; ils produisent soit des porcelets sevrés pesant entre 6 et 8 kg (2% du cheptel porcine), soit des porcelets plus âgés, post-sevrés, pesant entre 25 et 35 kg (2% du cheptel porcine).

Les post-sevrés (1% du cheptel porcine) sont les élevages approvisionnés en porcelets sevrés auprès de naisseurs (voire de naisseurs-engraisseurs) et qui réalisent uniquement la période de post-sevrage ; les animaux pesant entre 25 et 35 kg sont commercialisés aux engraisseurs.

Les post-sevrés-engraisseurs (9% du cheptel porcine) sont les élevages qui s'approvisionnent en porcelets sevrés auprès de naisseurs et de naisseurs-engraisseurs et qui réalisent le post-sevrage et l'engraissement jusqu'au départ à l'abattoir.

Les engraisseurs (13% du cheptel porcine) correspondent aux élevages approvisionnés en jeunes porcs en fin de post-sevrage et qui réalisent les engraissements jusqu'au départ à l'abattoir.

Au sein d'un tel troupeau et afin d'en optimiser l'organisation, la conduite en bande est généralement mise en œuvre. Le cheptel de truies est divisé en groupes de taille égale et de même stade physiologique, appelés bandes de truies. Les truies d'une même bande sont inséminées simultanément ce qui permet de regrouper les mises-bas (figure 6).

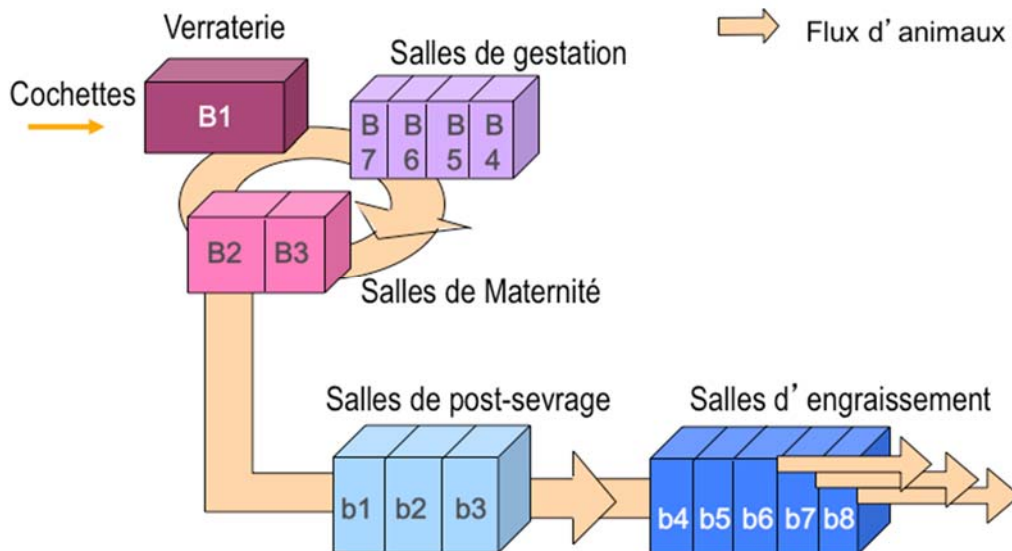


Figure 6. Représentation de la conduite en bandes en filière porcine (Lurette, 2007a)

Les portées de porcelets issues d'une même bande de truies constituent une bande de porcelets menés jusqu'au post-sevrage, puis une bande de porcs à l'engraissement. Ainsi, pendant la production, les porcs d'une même bande sont conduits ensemble, du sevrage des porcelets jusqu'au départ des porcs charcutiers à l'abattoir.

Au cours de la période de production, une bande de porcs passe successivement dans plusieurs salles ; chacune d'entre elles est occupée par une seule bande. En principe, la conduite en bandes permet une occupation en tout plein/tout vide des bâtiments d'élevage puisque les animaux d'une même bande entrent et sortent d'une salle au même moment. Cette technique permet de réaliser non seulement un nettoyage et une désinfection, mais également une période de vide sanitaire entre deux bandes de porcs devant se succéder dans une même salle. Cette organisation permet, en outre, une organisation facilitée du travail, grâce au regroupement et à la planification des tâches. Cependant, cette technique en tout plein/tout vide ne peut pas être appliquée dans les salles de verraterie et de gestation, car plusieurs bandes y sont présentes simultanément.

Plusieurs types de conduites en bandes sont utilisés par les éleveurs (entre 3 et 21 bandes, soit des intervalles entre bandes de 1 à 7 semaines). La conduite la plus fréquente reste celle en 7 bandes, suivies de celles en 4 et 5 bandes, qui ont pris de l'importance au cours des dernières années.

Toutefois, le respect de cette conduite en bandes peut ne pas être totalement strict, en raison de phénomènes biologiques auxquels l'éleveur doit s'adapter (infertilité, hétérogénéité de croissance), entraînant ponctuellement des mélanges de bandes (animaux d'une bande qui sont déplacés dans une autre bande).

La conduite en bandes et les pratiques d'élevage influencent le mode et la fréquence des contacts (directs ou indirects) potentiellement infectieux entre animaux et ainsi la propagation des maladies dans les élevages.

3.1.1.2 L'alimentation des porcs

Dans un élevage de porcs, chaque ration alimentaire doit être adaptée aux besoins nutritionnels de l'animal selon son stade de développement : truie gestante et allaitante, porcelet (1^{er} et 2^{ème} âge), porc charcutier à différents stades.

Pour le porc charcutier, l'aliment est adapté aux besoins physiologiques de l'animal, permettant de distinguer l'aliment « croissance » de l'aliment « finition » moins riche en protéines. La ration d'un porc charcutier est composée de céréales (blé, seigle, maïs, orge, avoine), d'oléoprotéagineux (soja ou protéagineux locaux) et d'un complément de minéraux et de vitamines. L'alimentation pour les porcs est une voie de valorisation de co-produits des industries agroalimentaires non utilisables par l'Homme, par exemple : petit lait issu des industries laitières, brisures de riz, semoules, pains et biscuits.

La fabrication des aliments peut être réalisée soit dans des usines spécialisées, soit dans les exploitations porcines. On parle alors de « fabrication d'aliments à la ferme » ou FAF. Dans ce cas, les matières premières peuvent provenir des terres agricoles détenues par les éleveurs cultivant des céréales et/ou des

oléoprotéagineux ; les industriels de l'alimentation animale livrent alors les compléments vitamines/minéraux ainsi que d'autres matières premières comme les tourteaux de soja.

Cette fabrication d'aliments à la ferme occupe une place importante dans l'élevage porcin français. Cependant, compte-tenu des investissements qu'elle nécessite, elle se rencontre plus fréquemment dans les élevages de taille importante. Des enquêtes statistiques agricoles indiquent que 33 % des exploitations porcines pratiquaient la FAF en 2004 et que celles-ci détenaient 42 % des truies et 38 % des porcs en engraissement (Martin-Houssard, 2007). Avec l'accroissement de la taille moyenne des élevages français, constaté depuis plusieurs décennies et la forte diminution des élevages de taille modeste, la FAF tend, de fait, à se renforcer. En 2008, elle concernait 43 % des sites d'engraissement dans les élevages naisseurs-engraisseurs (Massabie *et al.*, 2010).

L'alimentation liquide (soupe) est une autre particularité de l'élevage porcin. En effet, en France, ce mode de distribution concerne la majorité des porcs en engraissement ainsi que les truies ; il permet l'utilisation de produits humides comme le maïs humide et de coproduits liquides comme du lactosérum. Il s'est fortement développé avec l'essor de la FAF.

3.1.1.3 Voies d'introduction des salmonelles dans les élevages

L'écologie et le caractère ubiquitaire des salmonelles dans l'environnement rendent multiples leurs voies d'entrée potentielles dans un élevage (figure 7). La contamination peut provenir des animaux introduits dans l'élevage. Ces bactéries peuvent être également isolées des matières fécales d'oiseaux, de rongeurs ou d'animaux de compagnie qui s'introduisent dans un élevage. Des études montrent que le personnel (éleveurs, vétérinaires, techniciens) ainsi que les visiteurs, sont susceptibles d'introduire les salmonelles dans un élevage. Il en est de même pour le matériel amovible (brouettes, échelle, tracteur, etc.) et les véhicules circulant autour du bâtiment (Fris et van den Bos, 1995 ; Cardinale *et al.*, 2004). La contamination d'un élevage peut également provenir de l'eau d'abreuvement ou des aliments destinés aux animaux (Institut de l'élevage, 2008).

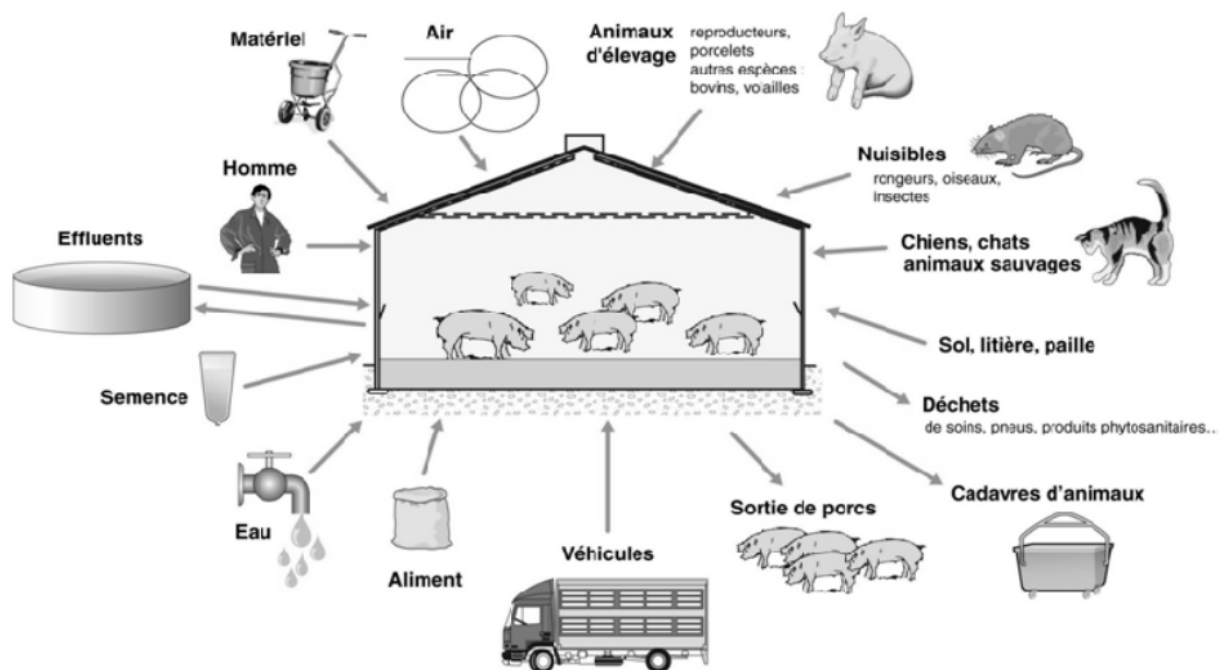


Figure 7. Schéma des principales voies de contamination possibles par *Salmonella* spp. dans un élevage porcin (Corrége et Minvielle, 2013)

Si les différentes études n'ont, jusqu'à présent, pas permis de privilégier réellement l'une ou l'autre de ces voies, aucune ne peut cependant être exclue comme point de départ d'une contamination.

Dans les bâtiments d'élevage, l'amplification de la contamination passe par la colonisation puis l'excrétion des salmonelles par les animaux. La capacité de rompre les cycles de contamination des lots successifs nécessite alors une excellente maîtrise non seulement des opérations de nettoyage et de désinfection des locaux et du matériel, mais également de la mise en place de mesures de biosécurité, l'efficacité de ces

mesures devant être idéalement validée. Ainsi, en fonction du niveau de biosécurité appliqué dans un élevage, certaines voies de contamination pourraient prendre de l'importance : plus un élevage sera fermé et correctement protégé (exemple des élevages reproducteurs pour lesquels les dispositifs de biosécurité internes et externes sont renforcés), plus l'importance relative d'une introduction par la voie alimentaire pourrait devenir prédominante.

L'alimentation des animaux constitue une des sources d'introduction de contamination par *Salmonella* spp. A sa naissance, le porcelet se nourrit du colostrum puis du lait de sa mère ; pendant la période de sevrage, il consomme surtout de la poudre de lait mélangée avec des céréales en flocons, durant 5 à 6 semaines jusqu'à atteindre un poids de 25 à 35 kg. C'est dans cette phase de sevrage que peuvent apparaître des diarrhées que les éleveurs essayent de prévenir par l'adjonction d'additifs tels que le plasma, les acides organiques ou les levures. L'utilisation de plasma de porc, en alimentation porcine, est autorisée par le règlement (CE) n°1292/2005. Il peut, cependant, être un vecteur de contamination des porcs. En effet, dans son avis de 2014 concernant la diarrhée épidémique porcine (DEP), l'Anses évalue à six (sur une échelle ordinaire de zéro à neuf) la probabilité d'introduction du virus de la DEP par des produits sanguins issus de porcs utilisés en alimentation porcine (Anses, 2014). Ce rôle, avéré pour le virus de la DEP, n'est pas établi pour les salmonelles.

Enfin, pour reprendre les conclusions du groupe de travail en alimentation animale de la saisine 2016-SA-0029 (Anses, 2018), la contamination par *Salmonella* spp. des matières premières végétales et des aliments composés demeure un événement rare (taux de contamination de l'ordre de 1 à 2 %). Cependant, cette contamination peut entraîner celle des animaux et de leur environnement et par voie de conséquence, la présence de salmonelles dans les aliments destinés à l'Homme. Les données actuellement disponibles ne permettent cependant pas de quantifier l'importance de cette transmission de *Salmonella* spp. entre les différents maillons de la chaîne alimentaire.

La propreté des camions, des locaux de stockage (propreté des silos, contaminations par les rongeurs, oiseaux et insectes) et des dispositifs d'alimentation (propreté des auges, nourrisseurs, soupières, et circuits d'eau souvent oubliés) est primordiale.

3.1.2 Inventaire des mesures de maîtrise

Les mesures de maîtrise identifiées dans la littérature ainsi que les verrous potentiels sont répertoriés dans le tableau 5.

Tableau 5. Mesures de maîtrise identifiées au stade de l'élevage

Point d'application	Type de mesures	Mesure de maîtrise	Effet sur	Mise en œuvre *
Alimentation animale	Biologique	Utilisation de prébiotiques (<i>Enterococcus faecium</i>)	Animal	Appliquée en France
	Biologique	Utilisation de probiotiques : glucomannane modifié, charbon	Animal	
	Chimique	Traitement par un acide organique/mélange d'acides organiques (pour modifier le microbiote intestinal de l'animal)	Animal	Appliquée en France
	Chimique	Utilisation plantes/fruits (artichaut, pulpes de betteraves, co-produit de citron, protéines de pomme de terre, vinaigre de bambou) ^a	Animal	
	Chimique	Utilisation de charbon	Animal	
	Chimique	Utilisation d'extrait de tanins	Animal	
	Chimique	Ajout de Vitamine C	Animal	
	Physique	Mode d'alimentation : granulométrie (granulés ou miettes)	Animal	Appliquée en France
	Physique	Mode d'alimentation : présentation sec vs soupe (humide)	Animal	Appliquée en France
	Biologique	Utilisation de bactériophages	Animal	Non mise en œuvre
	Chimique	Utilisation de glucose oxydase	Animal	Additif non autorisé
	Chimique	Utilisation d'oxyde de zinc	Animal	Autorisé en France
	Chimique	Utilisation d'alcaloïde quaternaire	Animal	Non mise en œuvre
Ferme	Biologique	Vaccination	Animal	Pas d'usage en France
	Logistique	Hygiène - désinfection, zootechnie	Hygiène de l'environnement	Appliquée en France
	Logistique	Contrôle des nuisibles	Hygiène de l'environnement	Appliquée en France
	Logistique	Température dans les locaux d'élevage	Hygiène de l'environnement	
	Logistique	Mise à jeun avant départ vers l'abattoir	Animal	Appliquée en France

* Application de la mesure de maîtrise : renseigne si la mesure de maîtrise est appliquée (mais pas nécessairement de façon généralisée) ou si un verrou (de type réglementaire, technologique, économique ou autre) a été identifié pour son application.

^a La catégorisation « traitement chimique » s'explique par le fait que c'est le principe actif de ces substances qui est étudié et considéré comme mesure de maîtrise.

3.1.3 Actions concrètes menées en filière

Deux guides de bonnes pratiques d'hygiène en alimentation animale (hors fabrication à la ferme) d'une part et en élevages de porcs d'autre part, sont disponibles pour les professionnels, depuis respectivement 2007 et 2009.

3.1.4 Evaluation générale de l'efficacité des mesures de maîtrise

Le Tableau 6 fait état du bilan de l'efficacité des mesures de maîtrise et des niveaux de preuve associés aux articles issus de la revue bibliographique.

Tableau 6. Bilan du niveau de preuve des articles par mesures de maîtrise à l'élevage

	Total articles avec NPNS*	Articles avec NPS* selon effet			Total articles NPS*	Total articles
		Augmentation	Pas d'effet	Réduction		
Intervention sur l'alimentation animale						
Retrait alimentation animale / mise à jeun		1			1	1
Changement de type d'alimentation (granulés ou miettes ou liquide) – granulométrie	1	3		2	5	6
Biologique						
Utilisation de pré ou probiotique (<i>Enterococcus faecium</i> , glucomannane modifié)	6	1	3	2	6	12
Chimique						
Ajout de vitamine C	1					1
Effet d'acides gras à chaîne moyenne	1					1
Traitement par un acide/mélange d'acides (pour modifier le microbiote intestinal de l'animal)	10	1	5	8	14	24
Utilisation d'alcaloïde quaternaire				2	2	2
Utilisation d'antibiotiques à l'élevage (chez l'animal)	2		1	2	3	5
Utilisation d'antibiotiques dans l'aliment			1		1	1
Utilisation d'oxyde de zinc				1	1	1
Utilisation plantes/fruits (charbon, artichaut, pulpes de betteraves, co-produit de citron, protéines de pomme de terre, vinaigre de bambou)	4		2	5	7	11
Vaccination	2			6	6	8
Logistique						
Contrôle des nuisibles				1	1	1
Hygiène - désinfection, zootechnie	5	4	2	6	12	17
Nettoyage et désinfection du moyen de transport	1					1
Température dans les locaux d'élevage		1			1	1
Total général	33	11	13	35	59	92

*NPNS : Niveau de preuve non satisfaisant

NPS : Niveau de preuve satisfaisant

3.1.4.1 Mesures de maîtrise appliquées à l'aliment et dont l'effet est mesuré sur l'animal

❖ Effet des probiotiques

Parmi les trois articles retenus dans la revue bibliographique du groupe de travail :

- un article (Yin *et al.*, 2014) (étude expérimentale en laboratoire) a montré une réduction de la concentration de salmonelles dans les contenus iléaux, cæcaux, et/ou dans les fèces, suite à l'ajout de probiotiques (*Lactobacillus casei*, *Lactobacillus zeae*) dans les aliments ;
- deux articles (Szabo *et al.*, 2009 ; Kreuzer *et al.*, 2012) (études expérimentales en laboratoire) n'ont pas montré d'effet de l'ajout de probiotiques (*Enterococcus faecium* NCIMB 10415) aux aliments sur la concentration de salmonelles excrétées dans les fèces, et la concentration de salmonelles présentes dans les organes.

En conclusion, les lignes de preuves ne permettent pas de conclure à un effet général de l'utilisation des probiotiques sur la réduction des salmonelles dans les organes/fèces des animaux, les articles traitant de probiotiques différents. Cependant, certains d'entre eux semblent prometteurs et il conviendrait de reproduire ces études afin de valider leur efficacité.

❖ Ajout d'acides organiques dans l'eau d'abreuvement et dans l'alimentation

Parmi les trois articles retenus dans la revue bibliographique du groupe de travail :

- deux articles (Rasschaert *et al.*, 2016 ; Arguello *et al.*, 2013) (études expérimentales conduites à la ferme) ont montré une efficacité d'acides organiques. Un mélange d'acides (Acidvall©) ajouté à l'eau de boisson, et du diformate de potassium (Formi©) ajouté dans l'aliment des porcs à l'engraissement, ont réduit la proportion d'échantillons fécaux contaminés. De plus, un mélange d'acides gras à chaînes moyennes, d'acide lactique et d'huile d'origan a aussi réduit la proportion de porcs excréant des salmonelles dans les fèces à l'élevage, et la proportion de ganglions lymphatiques et de contenus cæcaux contaminés à l'abattoir. L'article ne permet pas de différencier si l'effet est lié à l'acide lactique, à l'huile d'origan ou à leur effet combiné.
- En 2016, Rasschaert *et al.* (étude expérimentale conduite à la ferme) ont également montré une augmentation de la proportion des contenus cæcaux contaminés observés à l'abattoir, suite à l'utilisation d'acide butyrique, ou d'une combinaison d'acides organiques à chaîne courte.

Un article (Calveyra *et al.*, 2012) (étude expérimentale en laboratoire) n'a pas montré d'effet : l'utilisation de mélanges d'acides organiques (Tetracid TM-500©, acides à chaîne courte ou mannan-oligosaccharide) n'a eu d'effet sur la proportion et la concentration en salmonelles des échantillons fécaux contaminés.

De plus, d'autres études confirment l'intérêt de considérer l'utilisation d'acides pour la maîtrise de *Salmonella* spp. dans l'alimentation des animaux de rente.

L'évaluation des paramètres optimums pour leur incorporation devrait prendre en compte :

- la concentration de l'acide ; Wales *et al.* (2013) notent une différence parfois importante entre les concentrations recommandées par le fabricant et celles nécessaires et suffisantes pour obtenir un effet, même partiel ;
- la forme de l'acide lors de l'incorporation à l'aliment (principalement liquide ou solide) ;
- la température de stockage (Koyuncu *et al.*, 2013) et la durée de vie commerciale de l'aliment (temps de stockage) (Wales *et al.*, 2013) ;
- la nature des matières premières utilisées est aussi un facteur de variation de l'efficacité du traitement observé (Wales *et al.*, 2013 ; Koyuncu *et al.*, 2013).

En conclusion, les lignes de preuves ne permettent pas de conclure, de manière générale, à un effet des mélanges d'acides, les articles traitant d'acides ou de mélanges d'acides différents utilisés à des concentrations différentes. Néanmoins, comme pour les probiotiques, certains acides organiques semblent prometteurs, et il conviendrait de reproduire ces études afin d'en valider leur efficacité.

❖ Utilisation d'extraits de plantes comme additifs alimentaires

Les deux articles retenus (Grilli *et al.*, 2015 ; Chu *et al.*, 2013) (études expérimentales conduites à la ferme) ont montré une réduction, après application de cette mesure de maîtrise. L'utilisation de charbon de bambou, de vinaigre de bambou, et la combinaison d'acide sorbique, thymol, et carvacrol, ont réduit la proportion d'échantillons fécaux positifs et/ou la concentration de salmonelles dans ces échantillons à la ferme, et/ou la concentration de salmonelles dans les contenus cæcaux et les ganglions lymphatiques prélevés à l'abattoir.

En conclusion, les lignes de preuves vont dans le sens d'une réduction pour l'utilisation de plantes et de fruits comme additifs alimentaires. Cependant, très peu d'articles étudient l'effet de ces substances et les conclusions ne peuvent être généralisées.

❖ Présentation / Mode de distribution de l'aliment

Les deux articles retenus, (une étude observationnelle (García-Feliz *et al.*, 2009) et une étude expérimentale (Vischer *et al.*, 2009) conduite à la ferme) ont montré une augmentation de l'odds ratio d'infection³ des élevages après utilisation d'aliments secs (en granulés).

- Dans le premier article (études observationnelles réalisée sans intervention sur l'exposition des sujets), l'odds ratio d'infection des élevages était plus élevé dans ceux utilisant des aliments en granulés, comparé aux élevages utilisant des aliments liquides ou en miettes.
- Dans le deuxième article (étude expérimentale), le nombre d'échantillons de contenus cœcaux contaminés et de jus de viande positifs, était plus faible parmi les porcs nourris avec des aliments grossièrement moulus, en comparaison avec ceux recevant des aliments finement moulus. Cette mesure n'a cependant pas eu d'effet sur le nombre d'échantillons fécaux contaminés.

En conclusion, les lignes de preuves vont dans le sens d'une augmentation de la contamination par les salmonelles suite à l'utilisation d'une alimentation en granulés (sèche).

Le mode de présentation de l'aliment pour animaux (sec vs. humide) est connu pour avoir un effet sur le portage des salmonelles par les animaux évalués en fin de bande ou à l'abattoir. Ainsi, le nombre d'animaux positifs est plus élevé pour les animaux nourris avec un aliment sec, comparativement à ceux ayant reçu une alimentation liquide (FAO/WHO, 2017 ; Dahl, 1997 ; Belœil *et al.*, 2004). Pour Belœil *et al.* (2004), l'utilisation d'une alimentation liquide diminue la probabilité d'excrétion de *Salmonella* par les porcs. Pour ce mode de distribution, les installations se caractérisent par la présence d'une flore microbienne importante, généralement à dominante lactique, donc plutôt défavorable au développement des salmonelles (Corrégé et Minvieille, 2013).

3.1.4.2 Mesures de maîtrise appliquées à l'animal

❖ Vaccination

Les six articles retenus (quatre études conduites à la ferme (Arguello *et al.*, 2013, Davies *et al.* 2016 ; Ruggeri *et al.*, 2015 ; De Ridder *et al.*, 2014) et deux en laboratoire (Bearson *et al.*, 2016 ; Matiasovic *et al.*, 2013)) ont montré une réduction de la prévalence et/ou de la concentration, après administration de vaccin au cours de la période d'élevage. Les vaccins testés, qui ciblaient *Salmonella* Typhimurium, étaient inactivés ou atténués, et leur impact était évalué en comparant la proportion de porcs infectés et/ou la concentration de bactéries excrétées ou présentes dans les tissus entre les groupes d'animaux vaccinés ou non.

En conclusion, les lignes de preuves vont dans le sens d'une réduction de la prévalence et/ou de la concentration. Il est à noter que les vaccins testés ne ciblaient qu'un sérovar ; or, il est reconnu que plusieurs sérovares différents sont retrouvés dans les élevages porcins.

3.1.4.3 Mesures de biosécurité internes et externes

❖ Maîtrise des rongeurs

Un article (une étude observationnelle conduite à la ferme (Correia-Gomes *et al.*, 2013)) a montré une réduction de l'odds ratio d'infection des cases après mise en place d'actions de lutte contre les rongeurs, estimé par la recherche de salmonelles sur des échantillons fécaux.

En conclusion, les lignes de preuves vont dans le sens d'une réduction par la mise en place de mesures de lutte contre les rongeurs.

❖ Hygiène, désinfection à l'élevage

Parmi les quatre articles retenus :

- trois études observationnelles conduites à la ferme ont montré une réduction de l'odds ratio d'infection des élevages ou des enclos, estimé à partir d'échantillons fécaux (Cardinale *et al.*, 2010 ; Correia-Gomes *et al.*, 2013 ; Farzan *et al.*, 2010) ;
- une étude observationnelle conduite à la ferme (García-Feliz *et al.*, 2009) n'a pas montré d'effet : l'origine de l'eau de boisson, le nombre de fournisseurs de porcs sevrés, les mesures sanitaires à l'entrée de la ferme, n'étaient pas des facteurs associés au statut infectieux des élevages (estimé à partir d'échantillons fécaux).

³ Odds ratio d'infection en élevage : ratio entre le nombre d'élevages infectés et le nombre d'élevages non infectés.

En conclusion, les lignes de preuves vont plutôt dans le sens d'une réduction lors de la mise en place de mesures d'hygiène et de désinfection à la ferme et ce, dès le secteur maternité.

De plus, plusieurs études confirment que le nettoyage et la désinfection des locaux d'élevage sont des éléments clés de la maîtrise des salmonelles (Corrégé, 2009 ; Corrégé et Hémonic, 2012). Cependant, dans les élevages fortement contaminés, un protocole de nettoyage et de désinfection même rigoureux, n'est pas suffisant pour éliminer totalement les salmonelles.

Enfin, un rapport des consultations mixtes FAO/OMS d'experts de l'évaluation des risques biologiques (FAO/WHO, 2017) estime que les mesures de biosécurité internes et externes (programme de lutte contre les rongeurs, restriction des visiteurs à la ferme, limitation de l'introduction de sangliers (élevage en plein air) etc.) sont significativement associées à la réduction des contaminations par les salmonelles (études observationnelles). Il est conclu, dans ce même rapport, que l'application de mesures internes et externes de biosécurité peuvent réduire la prévalence en salmonelles à la ferme, mais ne sont pas suffisantes, à elles seules, pour les éliminer.

3.1.4.4 Autres mesures

❖ Température dans les locaux d'élevage

Une étude observationnelle conduite à la ferme (Pires *et al.*, 2013) a montré une augmentation de l'odds ratio de contamination des échantillons fécaux si la température dans les locaux d'élevage était en dehors de la zone de confort thermique.

En conclusion, la ligne de preuves va dans le sens d'une augmentation de la contamination des porcs par les salmonelles lorsque la température est en dehors de la zone de confort thermique des porcs.

Au niveau des élevages, trois grandes catégories de mesure de maîtrise se distinguent :

- celles impliquant une **transformation physique de l'aliment** pour animal (soupe / sec) ;
- les mesures de **biosécurité** internes et externes⁴ ;
- la **vaccination**.

3.2 Inventaire et revue critique de l'efficacité des mesures de maîtrise pendant le transport et l'attente à l'abattoir

3.2.1 Description du module

Le module concerne le transport des animaux de l'élevage à l'abattoir (figure 8). Les animaux concernés sont principalement les porcs charcutiers en fin d'engraissement (115 à 120 kg), issus des élevages engraisseurs et des élevages naisseurs-engraisseurs, ainsi que, mais en moindre importance, les truies de ces élevages et les truies et verrats issus des élevages de reproduction (élevages de sélection et de multiplication).

Avant le départ des porcs charcutiers à l'abattoir, une mise à jeun des animaux est réalisée. Le GBPH en élevages de porcs (2009) rappelle que cette opération est obligatoire. La durée optimale recherchée entre le dernier repas et l'abattage est de 24 heures \pm 2 heures (arrêté du 22 juillet 2010 fixant les exigences et recommandations en matière de certification de conformité de la viande de porcs). Cette mise à jeun permet de limiter le volume du contenu intestinal sans pénaliser l'éleveur (perte de poids) (Chevillon, 2005).

Cette réduction du volume du contenu intestinal a également pour but :

- i) de limiter les déjections fécales lors du transport et de l'attente à l'abattoir, afin que les animaux restent propres,
- ii) de limiter la contamination des carcasses en diminuant le risque de perforation des intestins lors des opérations d'éviscération à l'abattoir.

L'élevage doit être équipé d'un dispositif d'embarquement comprenant une aire d'attente et un quai d'embarquement (arrêté du 22 juillet 2010). Avant l'arrivée des camions, le lot d'animaux est placé dans l'aire d'attente (autres termes : aire de repos, quai de stockage) pendant un temps minimum deux heures avant leur départ (Chevillon, 2005) afin qu'ils puissent se reposer et se détresser avant le chargement. Le local de repos doit être nettoyé et désinfecté après chaque départ.

⁴ Biosécurité interne : mesures visant à réduire la propagation des micro-organismes à l'intérieur de l'élevage ; biosécurité externe : mesures prises pour éviter l'introduction d'agents pathogènes.

Aujourd'hui, en France, 75% des locaux de repos et de quais d'embarquement sont des aires fermées pourvues d'un toit (dont 25% entièrement isolées de l'extérieur) ; les autres (25%) sont des aires fermées non couvertes d'un toit (Chevillon, communication personnelle).

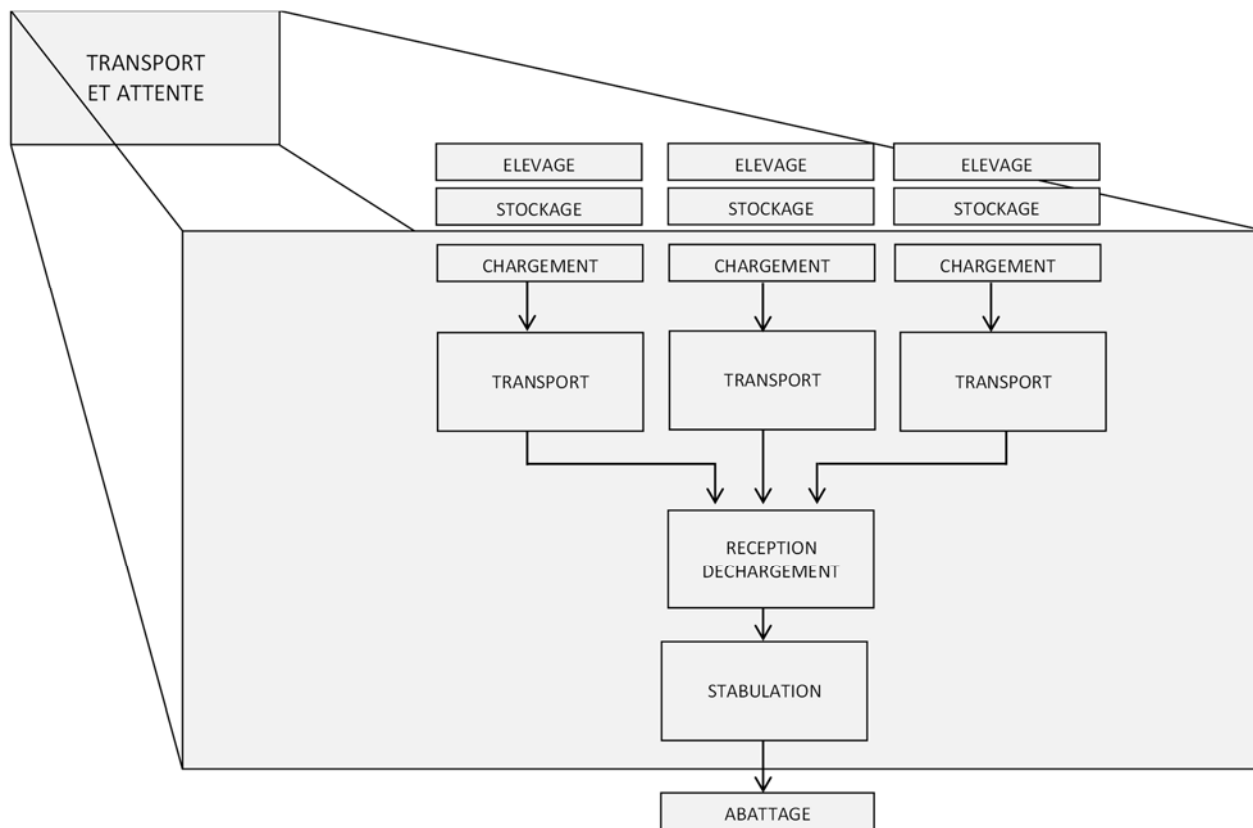


Figure 8. Diagramme du module transport / attente de la filière porcine française

L'étape « transport » commence à l'élevage, au quai d'embarquement qui permet de mettre les animaux à hauteur des camions afin qu'ils soient chargés facilement et sans bousculade. Il est fortement recommandé que les élevages disposent de ce quai d'embarquement (GBPH en élevages de porcs, 2009).

Le transport des animaux se fait dans des camions adaptés. En France, ceux-ci sont majoritairement des camions à trois niveaux, dont la hauteur, entre chaque compartiment, est de 90 cm (Chevillon, 2005). Ils doivent être nettoyés et désinfectés avant tout chargement d'animaux (Chevillon, 1998). Cette opération se fait donc entre chaque tournée afin de limiter les contaminations microbiennes entre les élevages d'une part et entre les lots de porcs transportés d'autre part. Le chauffeur du camion ne doit, en aucun cas, entrer ni dans les salles de production abritant les animaux qui ne sont pas destinés à l'abattoir, ni dans les salles de production vides, déjà nettoyées et désinfectées (GBPH en élevages de porcs, 2009).

Selon le règlement (CE) n°1/2005 du Conseil du 22/12/2004, les animaux doivent être transportés dans des conditions telles qu'ils ne risquent pas de souffrir ou d'être blessés. Le transport doit être conduit selon les lignes directrices de l'OIE pour le transport des animaux (OIE, 2007). Le porc étant un animal qui est facilement stressé, il est recommandé de charger les animaux et de les transporter dans de très bonnes conditions entre les élevages et les abattoirs.

La durée du transport des porcs charcutiers ne doit pas excéder quelques heures (règlement (CE) n°1/2005 ; la durée maximum de transport des porcs, incluant le chargement et le déchargement, est de 24 heures (www.animaltransportguides.eu, 2017 incluant le « Guide to Good Practices for the Transport of Pigs »).

A l'arrivée à l'abattoir, le camion est placé devant des quais de déchargement des porcheries dites d'attente. Le quai doit être au niveau du plancher du camion (OIE, 2007). Là encore, il est recommandé de décharger les animaux de manière à éviter tout stress. Cette phase de déchargement est une étape de tri à l'entrée à l'abattoir, les animaux fragilisés devant être repérés puis gérés de manière individuelle. Les porcs sont orientés vers des cases (autres termes : stabulation, porcherie d'attente) en s'assurant que les animaux

provenant d'élevages différents ne soient pas mélangés. De fait, l'abattoir doit avoir un planning d'abattage et avoir, à disposition, un nombre suffisant de quais et de cases de déchargement. Ces dernières doivent être nettoyées (débarrassées des résidus de matières fécales) entre chaque lot de porcs introduits.

Tous les abattoirs ont une procédure de nettoyage et de désinfection de ces porcheries d'attente. Celle-ci doit permettre de limiter les contaminations entre les lots.

L'attente à l'abattoir a pour but de permettre aux animaux de récupérer du transport, de se détendre et de se reposer dans ces cases prévues à cet effet (Frotin, 2008). La durée d'attente avant abattage doit être de deux heures minimum (arrêté du 22 juillet 2010). En France, les porcs y séjournent, en moyenne, durant 6 heures avant l'abattage (Frotin, 2001). Les animaux disposent d'abreuvoirs (OIE, 2007) et, dans certains cas, ils sont aspergés d'eau, par un système de brumisation, afin de les rafraîchir. Ceci est recommandé par l'OIE (2007) en cas de fortes températures. Dans ces stalles, chaque animal doit avoir assez de place pour se maintenir debout, se coucher et se tourner (OIE, 2007 ; Frotin, 2008). Cette gestion a pour but d'épargner toute excitation, douleur et souffrance aux animaux afin d'assurer leur bien-être (règlement (CE) n°1099/2009 du Conseil du 24 septembre 2009 sur la protection des animaux au moment de leur mise à mort).

Les étapes de chargement / transport / déchargement / attente sont des sources de stress pour les porcs. L'animal est déplacé pour se retrouver dans des environnements nouveaux et peut être mis en contact avec des congénères qui ne lui sont pas familiers. Chez les animaux porteurs de salmonelles, ce stress active l'excrétion fécale, entraînant ainsi une contamination environnementale dans les camions de transport et les porcheries d'attente. La bactérie se dissémine dans l'environnement et la contamination des autres animaux se fait par contact direct avec les matières fécales ou l'environnement contaminé par celles-ci. Dans une situation d'attente, les porcs sains peuvent ainsi devenir infectés après deux heures de contact avec des porcs contaminés par *Salmonella* spp. Un porc provenant d'un élevage sain peut donc se contaminer pendant le transport et l'attente à l'abattoir (Hurd *et al.*, 2001).

3.2.2 Inventaire des mesures de maîtrise

Les mesures de maîtrise identifiées dans la littérature ainsi que les verrous potentiels sont répertoriés dans le tableau 7.

Tableau 7. Mesures de maîtrise identifiées au stade du transport / attente

Point d'application	Type de mesures	Mesure de maîtrise	Effet sur	Mise en œuvre*
Ferme avant chargement	Alimentation animale	Mise à jeun (durée recommandée : 24h avant départ)	Animal	Appliquée en France
Ferme/ Abattoir	Physiologique /logistique	Gestion de type logistique Pas de mélange de lots	Hygiène de l'environnement et Animal	Appliquée en France
Aire de stockage / repos à l'élevage	Pratiques d'hygiène	Nettoyage et désinfection des salles de repos et des quais d'embarquement entre chaque départ	Hygiène de l'environnement	Appliquée en France
	Pratiques d'hygiène	Aire de stockage fermée	Hygiène de l'environnement	Appliquée en France (mais < à 5%)
	Physiologique /logistique	Environnement d'attente /quai de chargement bien conçus	Animal	Appliquée en France
Attente avant chargement	Physiologique /logistique	Prévoir une durée d'attente avant chargement (minimum 2 heures)	Animal	Appliquée en France
Transport / camion	Pratiques d'hygiène	Nettoyage et désinfection du moyen de transport	Hygiène de l'environnement	Appliquée en France
	Physiologique/ logistique	Gestion du chargement en fonction du statut des lots en <i>Salmonella</i> spp.	Hygiène de l'environnement	Non appliquée Pas de verrou réglementaire Verrou économique potentiel

Point d'application	Type de mesures	Mesure de maîtrise	Effet sur	Mise en œuvre*
	Physiologique /logistique	Camions adaptés aux animaux pour de bonnes conditions de transport	Animal	Appliquée en France
	Physiologique /logistique	Limiter la durée de transport ou avoir un camion adapté au long transport	Animal	Appliquée en France
	Pratiques d'hygiène	Changement des vêtements du conducteur et nettoyage-désinfection des bottes entre chaque lot	Hygiène Environnement	Non appliquée Pas de verrou réglementaire Pas de verrou économique
Camion / abattoir	Pratiques d'hygiène	Eviter que des camions avec animaux croisent des camions propres à l'abattoir (prévoir une entrée et sortie des camions)	Hygiène de l'environnement	Appliquée en France
	Pratiques d'hygiène	Avoir une aire de lavage adaptée pour le nettoyage et la désinfection des camions après déchargement	Hygiène de l'environnement	Appliquée en France
Déchargement	Physiologique /logistique	Limiter le stress des porcs au déchargement - minimum de manipulation des animaux	Animal	Appliquée en France
	Physiologique /logistique	Quai de déchargement bien conçu	Animal	Appliquée en France
Attente à l'abattoir	Physiologique /logistique	Durée d'attente, minimum recommandé : 2 heures	Animal	Appliquée en France
	Pratiques d'hygiène	Nettoyage et désinfection du quai et de la porcherie d'attente -	Hygiène de l'environnement	Appliquée en France (à chaque fin de journée d'abattage)
	Physiologique /logistique	Infrastructure bien conçue	Hygiène de l'environnement	Appliquée en France
	Physiologique /logistique	Gestion des lots à l'attente - Ne pas utiliser la même case pour des lots différents au cours de la journée ou désinfecter entre chaque lot	Hygiène de l'environnement	Non applicable - verrou économique important

*Application de la mesure de maîtrise : renseigne si la mesure de maîtrise est appliquée (mais pas nécessairement de façon généralisée) ou si un verrou (de type réglementaire, technologique, économique ou autre) a été identifié pour son application.

3.2.3 Actions concrètes menées en filière

Plusieurs actions sont menées en filière porcine et permettent de limiter la diffusion d'agents pathogènes dont les salmonelles, lors du chargement des porcs à l'élevage, du transport et de l'attente à l'abattoir (cf. description du module en 3.2.1).

Par ailleurs, le chauffeur pouvant être une source de contamination de l'élevage, il ne doit entrer ni dans les salles de production vides, déjà nettoyées et désinfectées, ni dans celles contenant des animaux qui ne sont pas destinés à l'abattoir ce même jour.

L'IFIP a édité un guide de bonnes pratiques de biosécurité pour le transport des porcs (mai 2018), l'application de ce guide peut contribuer à la maîtrise de *Salmonella*.

En outre, le camion peut être une source de contamination non seulement de l'élevage, mais également des animaux qu'il transporte. Les opérateurs doivent donc renforcer l'application des mesures d'hygiène des moyens de transport par des procédures de nettoyage et de désinfection des camions après le déchargement des porcs (FAO et OIE, 2010). Ainsi, les camions de transport doivent être nettoyés et désinfectés, entre chaque tournée, avec comme minimum réglementaire, un lavage à l'eau froide suivi d'une désinfection. L'IFIP recommande un protocole approfondi à réaliser une fois par semaine (Chevillon, 1998).

A l'abattoir, il est également recommandé d'avoir une voie d'entrée pour les camions chargés d'animaux et une seconde, de sortie, pour les camions nettoyés et désinfectés (Corrègé *et al.*, 2016). Une étude canadienne (Henry, 2014), réalisée dans la cour d'un abattoir, a permis d'observer que les salmonelles

étaient retrouvées abondamment sur tous les trajets de circulation des camions (67%, n=144). Cette interface représente un réservoir de salmonelles et donc un risque permanent de contamination croisée du réseau de production vers l'abattoir mais aussi de retour vers l'élevage.

De même, les abattoirs doivent renforcer les mesures d'hygiène par le nettoyage et la désinfection des locaux, y compris les cases d'attente, à la fin de chaque journée d'abattage. Les porcheries d'attente devraient être aménagées de façon à être facilement nettoyables et désinfectables.

Par ailleurs, les porcheries d'attente devraient être nettement séparées du hall d'abattage (GBPH abattage/découpe, 2008).

3.2.4 Evaluation générale de l'efficacité des mesures de maîtrise

Les tableaux 8 et 9 font état du bilan de l'efficacité des mesures de maîtrise et des niveaux de preuve associés aux articles issus de la revue bibliographique.

Tableau 8. Bilan du niveau de preuve des articles par mesure de maîtrise pendant le transport

	Articles avec NPNS*	Article NPS*		Total Article NPS*	Total article
		Pas d'effet	réduction		
Gestion de type logistique- pas de mélange de lots	3	1		1	4
Nettoyage et désinfection du moyen de transport			1	1	1
Sélection en fonction du statut sérologique à la ferme	1		1	1	2
Total général	4	1	4	5	9

*NPNS : Niveau de preuve non satisfaisant

NPS : Niveau de preuve satisfaisant

Tableau 9. Bilan du niveau de preuve des articles par mesure de maîtrise pendant l'attente

	Articles avec NPNS*	Article NPS*			Total Article NPS*	Total article
		Augmentation	Pas d'effet	Réduction		
Durée d'attente (< ou > 12h) prélèvement de <i>cæcum</i> à l'abattoir (et recherche de salmonelles).		2			2	2
Suivi de lots dans cinq abattoirs. Prélèvements dans les boxes d'attente (1 sur caillebotis et 4 sols pleins)			1		1	1
Total général	0	1	2	0	3	3

*NPNS : Niveau de preuve non satisfaisant

NPS : Niveau de preuve satisfaisant

3.2.4.1 Traitements biologiques

Aucun article, lors de la revue bibliographique, n'a été identifié sur l'application d'un traitement biologique lors du transport et de l'attente. En l'état actuel des connaissances, ce type de mesure de maîtrise n'a pas été identifié comme pouvant être mis en œuvre à cette étape.

3.2.4.2 Traitements physiques

Aucun article, lors de la revue bibliographique, n'a été identifié sur l'application de traitements physiques lors du transport et de l'attente. En l'état actuel des connaissances, ce type de mesures de maîtrise n'a pas été identifié comme pouvant être mis en œuvre à cette étape.

3.2.4.3 Pratiques d'hygiène

❖ Opérations de nettoyage et de désinfection des camions de transport.

Un seul article a été retenu de la revue bibliographique (Gotter *et al.*, 2012).

Cet article, basé sur une étude cas/témoin, a montré que l'absence de procédure de nettoyage et de désinfection a un effet protecteur vis-à-vis de *Salmonella* spp. Toutefois, ces résultats sont en contradiction avec d'autres sources qui montrent une réduction de la contamination des camions et des aires d'attente après nettoyage et désinfection :

L'étude de Rossel *et al.* (2002) montre que 47% des prélèvements (sol, paroi, barrière de séparation) réalisés sur 10 camions, avant les opérations de nettoyage et de désinfection, étaient contaminés par les salmonelles ; les opérations de nettoyage et de désinfection réalisées entre deux tournées, ou avec en plus une étape de détergence en fin de semaine, étaient efficaces (0 à 1% de positifs).

L'étude de Leblanc-Maridor *et al.* (2017) montre que 65% des prélèvements réalisés sur 48 camions avant la procédure étaient contaminés par les salmonelles et que les opérations de nettoyage et de désinfection étaient efficaces ; ainsi, 97,5% des camions contaminés étaient retrouvés négatifs après ces opérations. Cependant, un simple lavage à l'eau froide n'est pas suffisant.

❖ Opérations de nettoyage et de désinfection des aires d'attente à l'abattoir.

Aucun article de la revue bibliographique n'a été identifié concernant les pratiques d'hygiène lors de l'attente. Nonobstant, une étude de 2001 (Swanenburg *et al.*, 2001) a montré que 70 à 90% des échantillons prélevés dans l'environnement des aires d'attente, en présence des porcs, étaient positifs en salmonelles mais seulement 25% après le nettoyage et la désinfection ; ce niveau peut être encore diminué (10%) par une procédure améliorée.

Une étude de l'IFIP de 2005 (Mircovich *et al.*, 2005) a montré que 37% des échantillons réalisés par chiffonnages dans les aires d'attente, en fin de journée d'activité, après un rinçage des installations, étaient contaminés par des salmonelles. Dans ces conditions, une opération de pré-lavage/détergence/décapage (rinçage moyenne pression) hebdomadaire a réduit de 3,4% le nombre d'échantillons contaminés, tandis que celle de pré-lavage/décapage/désinfection hebdomadaire l'a réduit de 7,5%. Les auteurs ont montré qu'une procédure complète comprenant les quatre phases de pré-lavage/détergence/décapage (rinçage à moyenne pression) /désinfection s'avérait très efficace, avec une réduction de 28% du nombre d'échantillons contaminés.

L'étude de Leblanc-Maridor *et al.* (2017) a montré que 98% des prélèvements réalisés sur les sols des cases d'attente, en cours de journée, étaient contaminés par les salmonelles ; cependant, les opérations de nettoyage et de désinfection se sont révélées efficaces : les salmonelles n'étaient pas mises en évidence dans 73% des prélèvements après la mise en place des procédures de nettoyage et désinfection. Le protocole précis de nettoyage et désinfection n'était cependant pas précisé dans l'article.

Walia *et al.* (2017) ont testé 8 protocoles de nettoyage et/ou de désinfection, dans des cases d'attente d'un abattoir, après une journée de travail, à raison de 12 cases analysées pour chaque protocole. La présence de salmonelles a été recherchée par chiffonnage des sols et des murs avant puis après l'application du protocole. Sur les 543 prélèvements réalisés avant l'application du protocole, 83 % d'entre eux étaient contaminés. Le protocole le plus efficace (obtention de 0% d'échantillon positif) est celui comprenant les 4 étapes suivantes : lavage à haute pression / détergent⁵ avec rinçage/désinfection avec du chlorocrésol sans rinçage/séchage pendant 24 à 48 heures.

Il est important de noter que la mise en œuvre des processus de désinfection est fondamentale pour maintenir un environnement non contaminant.

⁵ Solution détergente composée d'hydroxyde et d'hypochlorite de sodium

D'autre part, il n'a pas été trouvé de données sur l'efficacité des mesures de maîtrise pouvant concerner :

- le nettoyage et désinfection des aires de stockage et d'embarquement à l'élevage ;
- le cloisonnement de l'aire de stockage ;
- le changement de vêtements et le nettoyage et la désinfection des bottes du chauffeur entre chaque transport.

En conclusion, les lignes de preuves vont dans le sens d'une réduction de la prévalence et de la quantité de salmonelles dans les camions et dans l'environnement des aires d'attente à l'abattoir par la mise en place de mesures de nettoyage et de désinfection. De plus, l'efficacité de ces mesures est améliorée lorsque le protocole est entièrement appliqué sur le matériel et dans les locaux, à savoir un pré-lavage, un nettoyage à l'aide d'un détergent, une action mécanique de décapage, une désinfection et un séchage.

Par ailleurs, les experts jugent que, malgré l'absence de données, le nettoyage et la désinfection des aires de stockage et d'embarquement à l'élevage, le cloisonnement de l'aire de stockage, le changement de vêtements et le lavage et la désinfection des bottes du chauffeur entre chaque transport sont des mesures d'hygiène complémentaires qui devraient contribuer à limiter la diffusion des salmonelles.

3.2.4.4 Traitements physiologique/logistique

❖ Durée de mise à jeun

Aucun article de la revue bibliographique n'a été identifié concernant la durée de la mise à jeun à l'élevage sur la contamination par *Salmonella* spp. Cependant, d'après Beloeil *et al.* (2004), une durée de mise à jeun supérieure à 16 heures est associée à une proportion réduite de porcs contaminés.

De plus, les experts jugent que cette pratique du respect de la mise à jeun des animaux contribue à la réduction de l'excrétion des salmonelles (et autres agents pathogènes) et de leur diffusion lors du transport et de l'attente à l'abattage.

❖ Durées du transport et de l'attente à l'abattoir

Deux articles retenus dans la recherche bibliographique ont montré une réduction de la contamination par les salmonelles :

- l'un (Milnes *et al.*, 2009) montre qu'il y a 2,8 fois plus de risque d'avoir des cæcums positifs à l'abattoir si la durée d'attente des porcs à l'abattoir est supérieure à 12 heures ;
- l'autre (Lim *et al.*, 2011) montre que plus le temps d'attente est long, plus il y a de risque d'avoir des ganglions mésentériques positifs (durée 1 à 3 heures : 14 % de positifs ; 12 heures : 32% de positifs).

Des conclusions complémentaires à celles tirées de la revue approfondie existent : Berends *et al.* (1996) ont précisé que 2 à 6 heures de transport et d'attente sont suffisantes pour doubler le nombre de porcs excréteurs de salmonelles.

Beloeil *et al.* (2004) ont observé qu'à l'abattoir, il y a 13 fois plus de risque qu'un porc soit contaminé, au niveau cæcal, si le temps d'attente est supérieur à 6 heures, et 3,3 fois plus pour un temps d'attente compris entre 3 et 6 heures. Boughton *et al.* (2007) ont montré que des porcs sains exposés pendant plus de 2 heures dans un environnement contaminé à 5,4 log₁₀ UFC/cm² ou plus de 3 heures dans un environnement contaminé à 2,5 log₁₀ UFC/cm², peuvent devenir positifs au niveau des amygdales, du contenu cæcal et des ganglions lymphatiques.

Aucun article de la revue bibliographique n'a été identifié concernant l'impact de la durée du transport sur la contamination par les salmonelles. Cependant, il est noté (Beloeil *et al.*, 2004) un effet de la durée du transport sur l'intensité de la contamination du lot : 28,6%, 36,4% et 64,3% des lots sont fortement⁶ positifs au niveau caecal, à l'abattoir, pour des durées de transport respectivement inférieures ou égales à 1,5 heures, de 1,5 à 3 heures, supérieures à 3 heures, mais ce résultat n'apparaît pas au niveau de l'individu (porc).

❖ Planification de l'abattage en fonction du statut sérologique des porcs : abattage logistique

Une étude de terrain (Argüello *et al.*, 2014) a montré que la gestion de l'abattage en fonction du statut sérologique des porcs à l'élevage, n'a pas d'effet sur la prévalence de salmonelles sur les carcasses.

Cependant, des conclusions complémentaires à celles tirées de la revue approfondie existent. Beloeil *et al.* (2004) ont observé que, pour des taux de séropositivité du lot en fin d'engraissement ≤ à 5%, de 5-25%, > à 25%, ils obtenaient, au niveau cæcal à l'abattoir, respectivement, 27,7%, 32,35% et 50,0% de lots fortement⁶ positifs. Ils ont calculé qu'il y a 1,5 fois plus de risque (odds ratio) d'avoir un lot avec de fortes proportions de contenus caecaux positifs à l'abattoir si le lot est séropositif vis-à-vis des salmonelles en fin d'engraissement.

⁶ Fortement : plus de 20% des porcs du lot sont contaminés

De plus, une étude (Casanova-Higes *et al.*, 2017) a conclu que le transport et l'attente augmentent le risque d'un portage fécal de lots séronégatifs ou non, ou faiblement excréteurs en salmonelles, du fait de l'exposition des porcs à un environnement contaminé durant cette période.

Enfin, une autre étude (Baptista *et al.*, 2010) a montré qu'en maintenant la proportion de porcs séropositifs entrant à l'abattoir en-dessous d'une certaine valeur, le nombre de carcasses contaminées, en fin de chaîne, était fortement limité.

Ainsi, la vérification du statut sanitaire des lots de porcs, vis-à-vis de la contamination par les salmonelles, au moment de l'enlèvement à l'élevage par exemple par une analyse sérologique, pourrait permettre la mise en place de mesures de maîtrise comportant la planification de l'enlèvement des lots et de leur transport différencié (camions séparés), la gestion des lots dans les cases d'attente (cases d'attente ciblées selon le statut) et la planification des abattages (lots négatifs en début et lots positifs en fin de journée). Cependant, des verrous techniques et économiques ont été identifiés dans la mise en œuvre de ces mesures de maîtrise dans la filière porcine française.

La bibliographie rappelle l'importance des **mesures de nettoyage et de désinfection** pour réduire la prévalence et la quantité de salmonelles dans les camions et dans l'environnement des aires d'attente à l'abattoir. Elle confirme également la nécessité de respecter le protocole comportant un pré lavage, un nettoyage à l'aide d'un détergent, une action mécanique de décapage, une désinfection et un séchage.

Malgré l'absence de publications spécifiques dans la revue conduite par le GT, le cloisonnement de l'aire de stockage, le changement de vêtements et le lavage et la désinfection des bottes du chauffeur entre chaque transport, sont des mesures d'hygiène complémentaires qui contribuent à limiter la diffusion des salmonelles.

Concernant l'attente à l'abattoir, les lignes de preuves vont dans le sens d'une réduction de la contamination par *Salmonella* par l'application :

- d'une **durée de transport, de l'élevage à l'abattoir, la plus courte possible** ;
- d'une **durée d'attente à l'abattoir la plus courte possible** (pour rappel la réglementation impose une durée de stabulation minimale de deux heures) ;
- d'une **gestion des lots en fonction de leur statut sérologique ou de leur niveau d'excrétion fécale à l'élevage** (abattage logistique) ;
- de **mesures (opérations de nettoyage et de désinfection) évitant l'accumulation de *Salmonella* spp. dans les aires d'attente.**

Cependant, les experts estiment que l'abattage logistique ne peut être efficace pour la maîtrise des salmonelles qu'aux conditions suivantes :

- que celui-ci soit précédé d'un ramassage des lots à la ferme en fonction du statut vis-à-vis des salmonelles des lots d'animaux à abattre (ramassage des lots reconnus négatifs ou séronégatifs en début de semaine ou de journée, puis des positifs ou séropositifs),
- qu'il y ait une gestion séparée des lots négatifs et des lots positifs de l'élevage jusqu'à l'abattoir (avec camions, quais de déchargement, et cases d'attente attribués selon le statut du lot) suivi d'un abattage, en priorité, des lots négatifs,
- et que, comme pour les autres conditions d'abattage, les opérations de nettoyage et de désinfection des aires de stockage, des quais d'embarquement, des camions, des quais de déchargement, des cases d'attente, et de l'abattoir, soient rigoureusement et fréquemment réalisées.

3.3 Inventaire et revue critique de l'efficacité des mesures de maîtrise à l'abattoir

3.3.1 Description du module

Un abattoir est un « établissement utilisé pour l'abattage et l'habillage des animaux dont la viande est destinée à la consommation humaine » (règlement (CE) n°853/2004). Les établissements agréés, spécialisés ou non, publics ou privés, ont pour objet la transformation progressive d'un animal vivant en carcasse de viande et en co-produits (comestibles ou non), on parle alors de 1^{ère} transformation des animaux de boucherie ou de « préparation des viandes à l'abattoir ». Cette préparation consiste en une succession d'opérations unitaires décrite par le diagramme d'abattage de la figure 9.

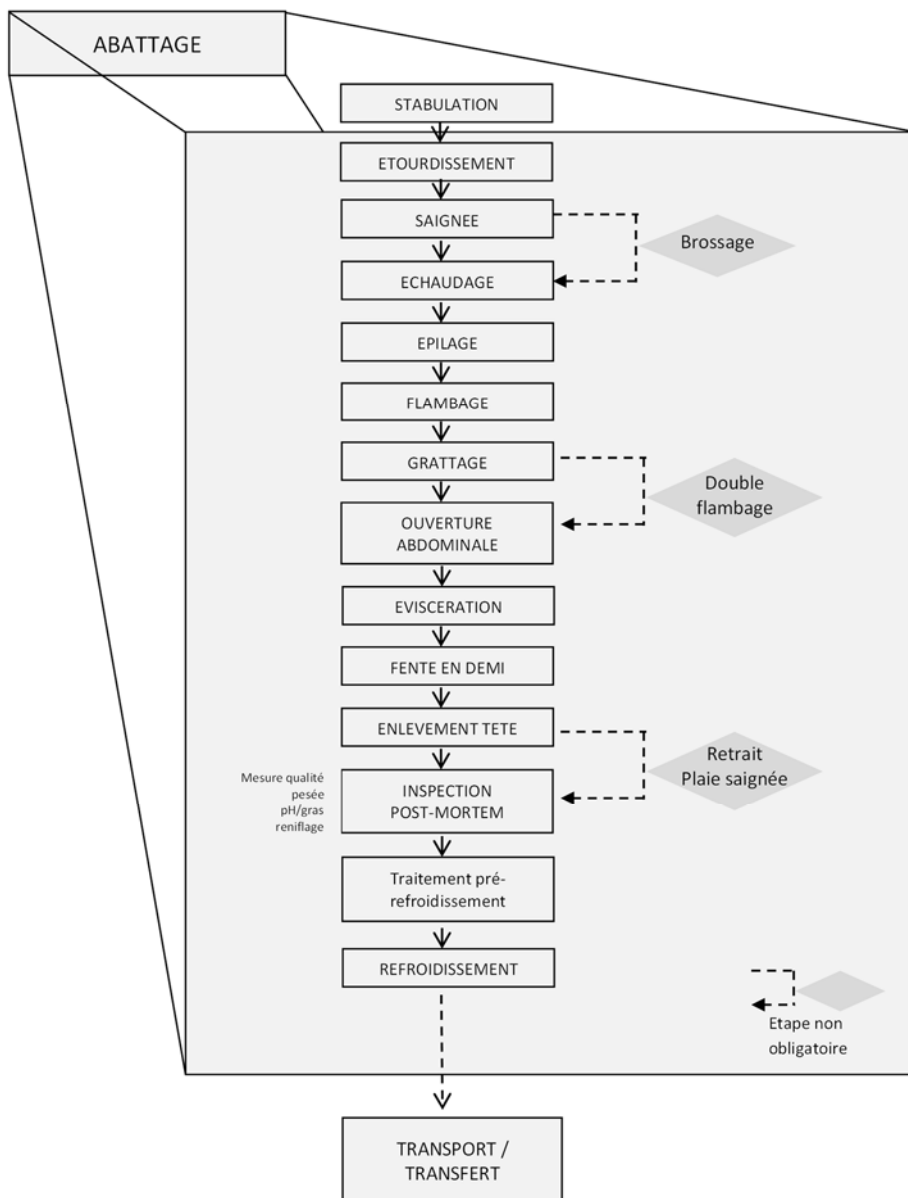


Figure 9. Diagramme d'abattage des porcs

Bien que plusieurs étapes du diagramme d'abattage soient communes aux principales viandes de boucherie, il existe des opérations spécifiques à l'espèce porcine concernant le traitement du revêtement cutané des porcs qui, la plupart du temps, n'est pas retiré à l'abattoir, contrairement aux autres espèces. Ce traitement nécessite la présence d'équipements particuliers dans l'abattoir. Ces établissements seront donc soit spécialisés dans l'espèce porcine, soit de « chaîne d'abattage des porcs » dans des abattoirs mixtes, devenus rares. En effet, les établissements se sont progressivement spécialisés et concentrés au point tel qu'en 2016, les dix plus importants outils d'abattage préparent plus de 20 des presque 24 millions de têtes abattues annuellement (IFIP 2017-2018). La description suivante du module « abattoir » sera donc le reflet de ce qui se déroule dans ces grands abattoirs industriels spécialisés, mais il faut garder à l'esprit que des variantes existent dans des établissements de plus faibles capacités et/ou mixtes.

❖ **Amenée**

Il s'agit du parcours allant des locaux de stabulation (case-couloir) au piège de contention (ou cuve d'hypercapnie). Ce parcours devrait s'effectuer sans stress excessif et permettre le plus souvent, grâce à l'étréitesse croissante des « couloirs d'amenée », à une individualisation des animaux « en file indienne ».

❖ Contention/Etourdissement

Pour l'espèce porcine, l'étourdissement (également dénommé insensibilisation) des animaux avant la saignée est obligatoire. En France, deux grandes modalités d'étourdissement existent : l'électronarcose (étourdissement par voie électrique) et l'hypercapnie (étourdissement par voie gazeuse).

Une excrétion fécale pouvant causer la contamination externe des porcs et donc de la cuve d'échaudage est plus probable du fait de l'hypercapnie que du fait de l'électronarcose.

❖ Saignée/Egouttage

La saignée est définie comme l'élimination de la plus grande partie du sang des animaux par section ou ponction des vaisseaux de gros calibres. Elle peut se dérouler en position verticale après hypercapnie ou en position horizontale après électroanesthésie. L'élimination de la plus grande partie du sang prévient la diffusion, en profondeur des muscles, d'éventuels dangers microbiologiques, privés ainsi d'une voie de contamination de la viande. La saignée est d'autant plus abondante que les phases précédentes (chargement, transport, déchargement, stabulation, amenée) n'auront pas été source de stress ou d'excitation des animaux. Généralement, chez les porcins, la saignée au couteau dite « préthoracique » consiste en la section des gros troncs pulmonaires. La saignée peut aussi être réalisée au trocart en intracardiaque (plus rare).

A ce stade, une variante possible consiste à installer une machine à broser les porcs avant l'entrée en cuve d'échaudage. Cette variante a pour objectif de limiter la contamination de l'eau de la cuve par les porcs.

❖ Echaudage

La carcasse est immergée dans un bac d'eau chaude (> à 60°C, < à 70°C) pendant 6 à 10 minutes, afin de provoquer une dilatation des pores et un ramollissement de la couenne, facilitant l'opération d'épilage des soies. La maîtrise de la température de l'eau d'échaudage, lors de cette opération, est importante. Par exemple, si la température est trop élevée, il y a un risque de rétraction de la couenne et de rétention des soies. La durée moyenne en France de l'échaudage est de 7 minutes (temps estimé après audition des professionnels).

L'échaudage peut également se faire dans des tunnels d'aspersion d'eau chaude ou bien en caisson de vapeur (elle dure alors 1 à 2 minutes). L'eau est à environ 50°C au moment du contact avec la peau.

❖ Epilage

C'est l'arrachage de la soie avec sa racine dans des machines équipées de longs doigts en caoutchouc. Cette opération suit immédiatement l'échaudage et se déroule en position horizontale (machine type U bar) ou en position verticale à l'aide de rouleaux transversaux.

❖ Flambage/Grattage

Il s'agit d'une opération de finition destinée à enlever les soies ayant échappé à l'épilage, les porcs passant dans des fours à flamber. Les traces de combustion sont ensuite enlevées par grattage (« grattage au noir ») par des brosses rotatives (flagelleuses) dont l'axe débite un filet d'eau.

Dans certains cas (et dans certains abattoirs) la séquence « Echaudage/Epilage/Flambage/Grattage » peut être suivie d'un flambage final (double flambage) dont l'intensité et le peu de soies restantes n'entraînent pas l'apparition de traces de combustion.

Le quadriptyque « Echaudage/Epilage/Flambage/Grattage » est une séquence très importante au regard de l'hygiène des carcasses. Placée dans les premiers instants du diagramme d'abattage, elle a pour objectif principal de rendre la peau des porcs comestible. Cet effet est principalement dû au passage dans un four à flamber durant une vingtaine de secondes (variable selon les abattoirs). Le passage dans les fours s'effectue en position verticale et en suspension par les membres postérieurs sur « crochets de saignée » (postérieurs « écartés »). Il est admis que cette opération permet un abattement de 1 à 2 réductions décimales en moyenne de la population bactérienne en surface des carcasses. Nonobstant, cette amélioration du niveau de contamination des carcasses par le flambage se voit contrecarrée par l'opération finale du quadriptyque, le « grattage au noir ». En effet, les traces de combustion sur la carcasse sont enlevées par grattage sous un courant d'eau, les flagelleuses se contaminent assez rapidement et sont délicates à nettoyer et désinfecter. Elles peuvent donc être à l'origine d'une éventuelle re-contamination qu'il est toutefois difficile d'évaluer et d'anticiper. Le double flambage peut être une solution à ce problème, il s'agit d'ajouter un flambage final à la séquence initiale aboutissant à la séquence « Echaudage/Epilage/Flambage/Grattage/Flambage ». Peu de travaux sont consacrés au double flambage, car son efficacité hygiénique est admise.

❖ Détourage – Eviscération abdominale

Un équipement permet de faire le « tour » de l'anus et ainsi de détacher le rectum du reste de la carcasse. A ce stade, plusieurs possibilités existent :

- ensachage du rectum sans ou avec ligature (recommandé) ;
- le rectum est « isolé » de tout contact avec la carcasse par un déflecteur ou des « guides » ;

- un opérateur fait un « nœud » avec l'intestin.

Puis l'ensemble des masses et organes de la cavité abdominale (à l'exception du foie et des reins) sont enlevées et posées sur une balancelle. Les reins restent généralement dans la carcasse jusqu'à la découpe, la panne (tissu adipeux interne) est partiellement détachée, en restant généralement en place.

❖ **Eviscération thoracique**

L'ensemble cœur-poumons-trachée (+ le foie) est enlevé et mis sur un crochet.

❖ **Fente**

Cette opération est entièrement automatisée dans les abattoirs industriels, mais la fente par un opérateur à la scie ou à la « feuille » peut encore exister dans certains établissements. Généralement, sur la chaîne, la tête reste attenante à la carcasse, constituant le seul élément réunissant les héli-carasses. La tête peut aussi rester solidaire d'une seule héli-carasse.

Dans tous les cas (fente automatique ou manuelle), il existe un risque de contamination localisée lors de la fente car celle-ci passe à proximité des amygdales (réservoir potentiel de salmonelles). La fente peut être incomplète, s'interrompant avant les amygdales, ou totale avec la nécessité d'un guidage très précis.

A ce stade, il est possible (selon les chaînes) d'avoir un poste permettant le retrait (excision) de la plaie de saignée.

❖ **Inspection *post-mortem***

A ce stade, des agents habilités vont pouvoir émettre un avis sur le statut sanitaire des produits issus de l'abattage, après une inspection visuelle des différents éléments. Cette inspection peut conduire à des retraits de tout ou partie des éléments.

❖ **Pesée**

L'établissement du poids fiscal de la carcasse est obligatoire ; cela consiste en la mesure du poids à chaud auquel on retranche 2,5%, pour tenir compte de la réfaction (pour tenir compte de la perte d'eau) que va subir la carcasse par la suite.

❖ **Mesures « qualité » : Fat o Meater – pH des jambons – Reniflage**

Le rapport gras/maigre des carcasses est calculé après deux mesures de réflectance effectuées en deux endroits précis du dos de l'animal à l'aide d'une sonde. On peut utiliser également un pH-mètre à implantation pour mesurer le pH du jambon. Dans les deux cas, les sondes allant de l'extérieur vers l'intérieur, une contamination (rare et très limitée) en profondeur est possible. Le reniflage après chauffage d'une petite surface de peau peut intervenir à ce stade pour détecter d'éventuelles « odeurs de verrat ».

❖ **Lavage – « pre-chill treatment » (optionnel)**

Avant l'entrée en chambre froide, il est possible d'effectuer un lavage des carcasses. Les solutions techniques possibles sont diverses, allant du simple lavage à l'eau du réseau, à température ambiante, jusqu'à l'utilisation de composés désinfectants en solution dans de l'eau chaude, en passant par des cabines-vapeur. L'utilisation de composés chimiques est soumise à réglementation. A ce jour, en France, seul l'emploi d'eau chaude ou froide ou de vapeur d'eau est possible, sous réserve d'utilisation d'une eau destinée à la consommation humaine. Le lavage peut avoir une vocation d'amélioration de l'aspect des carcasses (« désordres esthétiques » causés par l'abattage), de meilleur refroidissement et de réductions des flores microbiennes de surface. Cependant, l'eau peut également être un vecteur de contamination (eau froide surtout) mais il est raisonnable de penser que les effets bénéfiques sur la contamination externe des carcasses sont supérieurs aux effets néfastes.

❖ **Réfrigération**

Le refroidissement est obligatoire, les muscles devant atteindre, en profondeur, une température inférieure à 7°C, 24 heures après la mort de l'animal. Les industriels appliquent des barèmes de refroidissement pour atteindre cet objectif, en jouant sur la température et la vitesse de l'air. Ils doivent toutefois éviter une réfrigération trop rapide qui pourrait être à l'origine d'évolutions anormales du muscle.

❖ **Durée du processus – Notions de cadence**

La durée du processus, de l'amenée des porcs à l'entrée des carcasses en chambre froide, est courte, de l'ordre de 20 à 30 minutes. Il est important que cette durée reste courte, en particulier le temps entre la mort de l'animal et son éviscération, car elle augmente la probabilité de contamination des porcs par les salmonelles (Kim et Song, 2009).

L'automatisation des chaînes a permis d'augmenter les cadences qui peuvent atteindre 400 à 500 porcs abattus/heure.

Nota bene – Cas particulier de la dépouille (enlèvement de la peau) : la grande majorité des carcasses ne sont pas dépouillées à l'abattoir (c'est-à-dire à chaud). Nonobstant, la dépouille à chaud est possible (surtout pour les cochons), en zone propre après le lavage.

3.3.2 Inventaire des mesures de maîtrise

Les mesures de maîtrise identifiées dans la littérature ainsi que les verrous potentiels sont répertoriés dans le tableau 10.

Tableau 10. Mesures de maîtrise identifiées au stade de l'abattoir

Point d'application	Type de mesure	Mesure de maîtrise	Effet sur	Mise en œuvre*
Abattoir	Physiologique/logistique	Sélection sur statut sérologique	Carcasse	Applicable en France
		Nettoyage et désinfection des infrastructures	Hygiène de l'environnement	Appliquée en France
		Bonnes pratiques d'hygiène - Formation du personnel	Hygiène de l'environnement	Appliquée en France
	Traitement physique	Echaudage	Carcasse	Appliquée en France
		Epilage	Carcasse	Appliquée en France
		Flambage	Carcasse	Appliquée en France
		Brossage	Carcasse	Appliquée en France
	Traitement physique	Double flambage	Carcasse	Appliquée en France
	Traitement physique	Eviscération	Carcasse	Appliquée en France
	Traitement physique	Retrait de la plaie de saignée	Carcasse	Appliquée en France
	Traitement physique	Rinçage de la carcasse à l'eau chaude (haut en bas)	Carcasse	Appliquée en France
	Traitement physique	Dépouille de la carcasse	Carcasse	Appliquée en France

*Application de la mesure de maîtrise : renseigne si la mesure de maîtrise est appliquée (mais pas nécessairement de façon généralisée) ou si un verrou (de type réglementaire, technologique, économique ou autre) a été identifié pour son application.

3.3.3 Actions concrètes menées en filière

Dans le monde des viandes de boucherie, la filière porcine a été l'une des premières à promouvoir l'élaboration et l'utilisation de documents guides (dits « de filière ») destinés à aider les professionnels dans leurs démarches. A ce titre, le guide Certiviande fut l'un des premiers. Depuis 2008, les organismes professionnels de la filière diffusent un guide qui fournit les informations nécessaires aux opérateurs pour la mise en place de leur plan de maîtrise sanitaire (PMS). Les textes du Paquet hygiène posent le cadre réglementaire des systèmes de productions alimentaires dans l'Union européenne. Dans ce contexte, les différents acteurs de ces systèmes sont responsables des denrées animales qu'ils mettent sur le marché, quelle que soit leur place dans la chaîne alimentaire. Ils doivent s'assurer que ces denrées ne sont ni préjudiciables à la santé, ni impropres à la consommation.

En filière porcine, à l'abattoir et par rapport à un danger aussi important que *Salmonella* spp., les opérateurs doivent mettre en place un plan de maîtrise sanitaire (PMS) comprenant les bonnes pratiques d'hygiène (BPH), les procédures fondées sur les principes HACCP, la traçabilité et la gestion des non-conformités. Par surcroît, ils sont tenus de vérifier que les mesures de maîtrise définies sont efficaces. Les autocontrôles (recherche de *Salmonella* spp. sur les carcasses réfrigérées), réalisés dans le cadre du règlement (CE) n°2073/2005, peuvent être utilisés à cette fin, en vue du respect d'un critère d'hygiène des procédés pour cet agent pathogène.

Le résultat de la recherche est alors considéré soit comme un indicateur de la maîtrise de l'hygiène lors de l'abattage ou, à défaut, d'une perte de maîtrise. En France, les autocontrôles « réglementaires » sont effectués conformément à l'instruction technique DGAL/SDSSA/2015-619. Ils doivent être distingués d'autres prélèvements potentiels prévus dans le cadre de la démarche HACCP (autocontrôles « HACCP »). Parallèlement, l'IFIP a mis en place, depuis décembre 2015, une interface web permettant de collecter les résultats des autocontrôles et d'en assurer une synthèse et une interprétation. A terme, ces deux systèmes devraient converger. Concernant les autocontrôles « réglementaires », au niveau national en 2015, 16 223 prélèvements ont été collectés dans 160 abattoirs ; 1 108 d'entre eux (6,8%) se sont révélés contaminés par des salmonelles.

Les bonnes pratiques hygiéniques d'abattage sont donc à la base du PMS, permettant non seulement de maintenir un environnement hygiénique de transformation de haut niveau dans l'établissement, mais également de réaliser les opérations du diagramme d'abattage selon des modalités qui visent à minimiser, voire prévenir les transferts de dangers microbiens (et donc des salmonelles si elles sont présentes) de leurs réservoirs à la carcasse. Il est à noter qu'il n'est pas fait mention, sur le site de la DGAL, de l'existence de GBPH validé.

La contamination des carcasses à l'abattoir peut être endogène (liée à l'animal, 70% des cas) ou exogène (lié à l'environnement de l'atelier de transformation, 30 % des cas). Ces bonnes pratiques hygiéniques d'abattage constituent la base de toutes les démarches d'amélioration de l'hygiène à l'abattoir. Le tableau 11 fait mention des principales BPH génériques au regard du diagramme d'abattage (figure 9).

Tableau 11. Principales bonnes pratiques d'hygiène liées aux opérations d'abattage des porcins

Opération	Principales bonnes pratiques d'hygiène
Amenée	Nettoyage et désinfection du sol et des parois des couloirs d'amenée.
Contention	Nettoyage et désinfection du couloir et/ou de la cuve d'hypercapnie.
Saignée	Faire en sorte que l'animal soit reposé, à jeun, sans stress. Nettoyage et désinfection du couteau (double matériel). Plaie de saignée la plus petite possible (diamètre d'une pièce de 2 €). Durée d'égouttage suffisante.
Brossage des porcs	Utiliser de l'eau destinée à la consommation humaine (ECDH) ou de l'eau propre. Durée de brossage suffisante.
Echaudage en cuve	Plaie de saignée la plus petite possible pour limiter la contamination par l'eau de la cuve. Maintien de la température de l'eau de la cuve au-dessus de 60°C pour garder un effet bactéricide. Durée d'échaudage suffisante. Retrait de la plaie de saignée en fin de chaîne.
Flambage	Réglages du four à flamber et de la durée du flambage. <i>Voir cas du double flambage dans le texte sous le tableau.</i>
Grattage	Opération sous eau courante. Nettoyage et désinfection des flagelleuses. Changement périodique des doigts (lanières).
Ouvertures des cavités abdominale et thoracique	Travail en double matériel. Technique du « coup de lance » (tranchant du couteau vers l'opérateur), pointe du couteau vers l'opérateur, couteau à lame incurvée (sans pointe). Se laver régulièrement les mains et les avant-bras. Ne pas percer le tube digestif. Éviter les écoulements de matières (ligatures éventuelles). Ensachage et/ou isolement du rectum du reste de la carcasse jusqu'à son enlèvement.
Détourage, Fente	Nettoyage et désinfection des matériels. Longueur et/ou guidage précis de la fente sans léser les amygdales.
Fatomètre, électrode pH mètre	Nettoyage et désinfection des sondes.
Lavage pré-refroidissement	Utiliser de l'ECDH ou de l'eau propre. Lavage à l'eau chaude préférable au lavage à l'eau froide.
Réfrigération	Limiter les contacts entre les carcasses (points chauds au niveau des jambons).

❖ Cas du double flambage

Le double flambage, décrit dans le paragraphe 3.3.2, participe fortement à la réduction de la contamination des carcasses. En France, le double flambage est essentiellement pratiqué dans les grandes structures d'abattage (une vingtaine de sites sur 167 au total, en 2015, soit 15 millions de porcs charcutiers abattus).

❖ Nettoyage et désinfection

Les opérations de nettoyage et désinfection (locaux, matériels) sont des opérations importantes pour le maintien des conditions sanitaires optimales. Cependant, ces opérations ne sont pratiquement jamais incluses formellement dans les diagrammes de fabrication ce qui nuit à leur visibilité et peut minimiser la reconnaissance de leur importance. Compte-tenu de leur importance, le contrôle de la bonne réalisation et de l'efficacité de ces opérations devrait être systématisé.

3.3.4 Evaluation générale de l'efficacité des mesures de maîtrise

Le tableau 12 fait état du bilan de l'efficacité des mesures de maîtrise et des niveaux de preuve associés aux articles issus de la revue bibliographique.

Tableau 12. Bilan du niveau de preuve des articles par mesures de maîtrise pendant l'abattage

	Nombre d'article avec NPNS*	Nombre d'article avec NPS*			Total NPS*	Total Article
		Augmentation	Pas d'effet	Réduction		
Biologique						
Utilisation de bactériophage	1					1
Chimique						
Lactate de potassium				1	1	1
Ozone et lactate de potassium				1	1	1
Rinçage carcasse eau chaude				1	1	1
Traitement à l'acide citrique et au chlore				1	1	1
Physiologique / logistique						
Hygiène – désinfection				2	2	2
Sélection à la ferme / abattage logistique			1		1	1
Température dans l'atelier (35°C vs 22°C)		1			1	1
Physique						
Chaine du froid précoce - Améliorer l'hygiène des opérations	1					1
Nettoyage bac d'échaudage	2					2
Total général	4	1	1	6	8	12

*NPNS : Niveau de preuve non satisfaisant

NPS : Niveau de preuve satisfaisant

L'étape d'abattage concentre, en un laps de temps très court (vingt à trente minutes), des opérations, pour la plupart définies réglementairement, qui peuvent favoriser la contamination ou la décontamination des carcasses. Par principe, considérant que les opérations réglementaires sont effectuées conformément aux BPH, les possibilités de mettre en place d'autres interventions sont peu nombreuses et vont consister en un rajout d'opérations optionnelles de décontamination dont la mise en œuvre doit être rapide. Ces opérations doivent être efficaces sur *Salmonella* spp. et sans verrous réglementaires et/ou économiques.

3.3.4.1 Traitements biologiques

Il existe très peu de travaux concernant l'utilisation de traitements biologiques contre les salmonelles à l'abattoir. Le seul article identifié dans la revue bibliographique a été jugé de qualité insuffisante.

3.3.4.2 Traitements physiques

❖ Double flambage

Aucun article de la revue bibliographique ne portait sur le double flambage et son efficacité.

Cependant, son efficacité intrinsèque est admise, pouvant aller jusqu'à 2 réductions décimales sur un indicateur FAM (Flore Aérobie Mésophile) à 30°C (dire d'experts). Il est raisonnable de penser à une efficacité moyenne de 0,5 réduction décimale sur les salmonelles. Il est aussi communément admis que la contamination initiale de la peau du porc, lorsqu'elle est importante, influe négativement sur l'efficacité de cette opération. Néanmoins, une étude technique sur sites d'abattage (Montzey et Minvielle, 2002) montre que le double flambage permet un abattement de 2 réductions décimales de la FAM et de 0,5 réduction décimale pour les entérobactéries confirmant son efficacité bactéricide.

Le double flambage est donc une mesure de maîtrise efficace au regard de la contamination de surfaces des carcasses de porcs. A ce titre, elle est parfois intégrée comme une exigence dans certains cahiers des charges de certification de conformité de produits.

❖ Nettoyage et désinfection

Un article de la revue bibliographique a montré une réduction de la contamination par les salmonelles suite à l'application de mesures de nettoyage et désinfection. Une étude danoise (Gantzhorn *et al.*, 2014) a montré l'efficacité des opérations de nettoyage et désinfection sur la diminution des résultats positifs d'écouvillonnages de surface dans deux abattoirs.

Les lignes de preuves pour évaluer l'efficacité du flambage vont dans le sens d'une réduction (0,5 réduction décimale en moyenne) des salmonelles sur la peau. Il s'agit d'une mesure de maîtrise particulièrement importante dont l'efficacité intrinsèque, tout en étant irréfutable, peut être affectée défavorablement par une contamination initiale importante qui peut être le signe d'un défaut de maîtrise en amont.

L'efficacité intrinsèque d'un deuxième flambage, lorsqu'il existe, est tout aussi irréfutable, ayant les mêmes qualités que le premier. Il limite fortement l'impact d'une éventuelle re-contamination lors du grattage. Il s'agit, à l'évidence, d'une mesure de maîtrise très importante, bien que peu documentée. Les lignes de preuves pour ce double flambage vont dans le sens d'une maîtrise supérieure ou égale de la contamination par salmonelles lors d'une séquence Echaudage/Epilage/Flambage/Grattage/Flambage (plutôt qu'une séquence comportant uniquement Echaudage/Epilage/Flambage/Grattage).

3.3.4.3 Traitement chimique avant refroidissement

La recherche bibliographique a permis de sélectionner deux articles ayant trait à des traitements chimiques de pièces de viande (Piachin et Trachoo, 2011) ou de carcasses à l'abattoir (Hamilton *et al.*, 2010).

- La première étude, réalisée *in vitro*, a montré une réduction décimale après application de lactate de potassium, en présence ou non d'ozone, sur les pièces de viande.
- Dans la seconde étude, un traitement, pendant 15 secondes des carcasses par une solution d'acide citrique et de chlorite de sodium, a permis de réduire de manière statistiquement significative la prévalence en salmonelles sur les carcasses. Dans cette même étude, les auteurs ont montré que l'utilisation d'eau chaude (82°C/15 s) était encore plus efficace (Hamilton *et al.*, 2010).

Comme vu précédemment, en Europe, seul le lavage des carcasses à l'eau chaude (+80°C) ou ambiante, avant l'étape de réfrigération, est autorisé.

En conclusion, les lignes de preuves vont dans le sens d'une réduction du nombre de salmonelles par l'application d'un traitement au lactate de potassium ou d'une solution d'acide citrique et de chlorite de sodium. Le lavage avant la réfrigération (notamment avec de l'eau chaude) montre également une efficacité vis-à-vis de la contamination par les salmonelles.

A ce jour, le traitement chimique des carcasses à l'abattoir n'est pas autorisé. De plus son application sur des chaînes à haute cadence pose problème et son efficacité ne semble pas supérieure à celle de l'eau chaude.

3.3.4.4 Traitement Physiologique/logistique

❖ Dépouille

La contamination profonde des muscles par les salmonelles est un évènement très rare, la contamination des carcasses demeurant superficielle. Un raisonnement simple consisterait à dire que puisque les salmonelles sont sur la peau des porcs, il « suffit » de retirer cette dernière (dépouille), en fin de chaîne, pour maîtriser les salmonelles. Même s'il paraît évident que l'on retire l'un des principaux réservoirs de contamination, l'efficacité d'une telle mesure sur la contamination des muscles reste à évaluer. De même, le devenir de la couenne resterait à préciser sachant qu'à ce jour dans cette filière, la très grande majorité des produits de la carcasse sont vendus avec la peau.

Les lignes de preuves relevées pour les mesures de maîtrise applicables à l'abattoir vont dans le sens d'une possibilité de réduction du nombre de salmonelles par l'application :

- d'un **double flambage** pouvant assurer une réduction décimale de 0,5 ;
- d'un **traitement au lactate de potassium ou avec une solution d'acide citrique et de chlorite de sodium**, mais, à ce jour, le traitement chimique des carcasses à l'abattoir n'est pas autorisé ;
- d'un **lavage après l'éviscération** et avant le refroidissement (notamment avec de l'eau chaude) ;

Cas de la **dépouille** : retirer la peau des carcasses en fin de chaîne semble être une mesure de maîtrise des salmonelles intéressante mais son efficacité reste à valider. Cette technique n'est pas, ou très peu utilisée, dans les abattoirs de porcs français.

Les experts rappellent que ces mesures ne peuvent être efficaces que si les **opérations de nettoyage et de désinfection** sur l'ensemble du module (des cases d'attente aux chambres froides utilisées pour le refroidissement et le stockage) sont rigoureusement réalisées et surveillées, et dans un contexte où les opérations d'abattage sont réalisées en application rigoureuse et optimisée des BPH.

3.4 Inventaire et revue critique de l'efficacité des mesures de maîtrise pendant la transformation (2^{ème} et 3^{ème} transformation)

3.4.1 Description du module

❖ **La découpe et le désossage**

La découpe se pratique sur la carcasse froide dans la grande majorité des cas.

La découpe primaire consiste à détailler les demi-carcasses en quatre pièces principales que sont les jambons, les épaules, la poitrine et la longe. Elle peut être suivie d'une découpe secondaire permettant de détailler les pièces issues de cette opération. Le type de découpe dépend de la destination finale des pièces. Un désossage et un découennage peuvent également être réalisés et une pièce peut être détaillée en différents muscles (exemple jambon détaillé en noix). La couenne peut être conservée sur les pièces (exemple fabrication de jambon cru) ou valorisée indépendamment.

A cette étape, le découennage enlève la contamination superficielle de la carcasse ; cependant ce procédé expose le muscle paucimicrobien à des risques de contamination ultérieure.

Lors des opérations de découpe, les sources de contamination sont les surfaces de travail, les outils de découpe et les opérateurs (transfert de contamination).

Le diagramme de fabrication est présenté en figure 10 pour les saucisses fraîches à cuire, le saucisson sec, la viande fraîche et le jambon sec.

❖ **Produits de saucisserie (saucisses fraîches à cuire)**

Les saucisses sont fabriquées à partir de différentes pièces de découpe (épaule ou jambon ou encore poitrine, gorge) et de gras. Les pièces de viande peuvent être réceptionnées réfrigérées ou congelées.

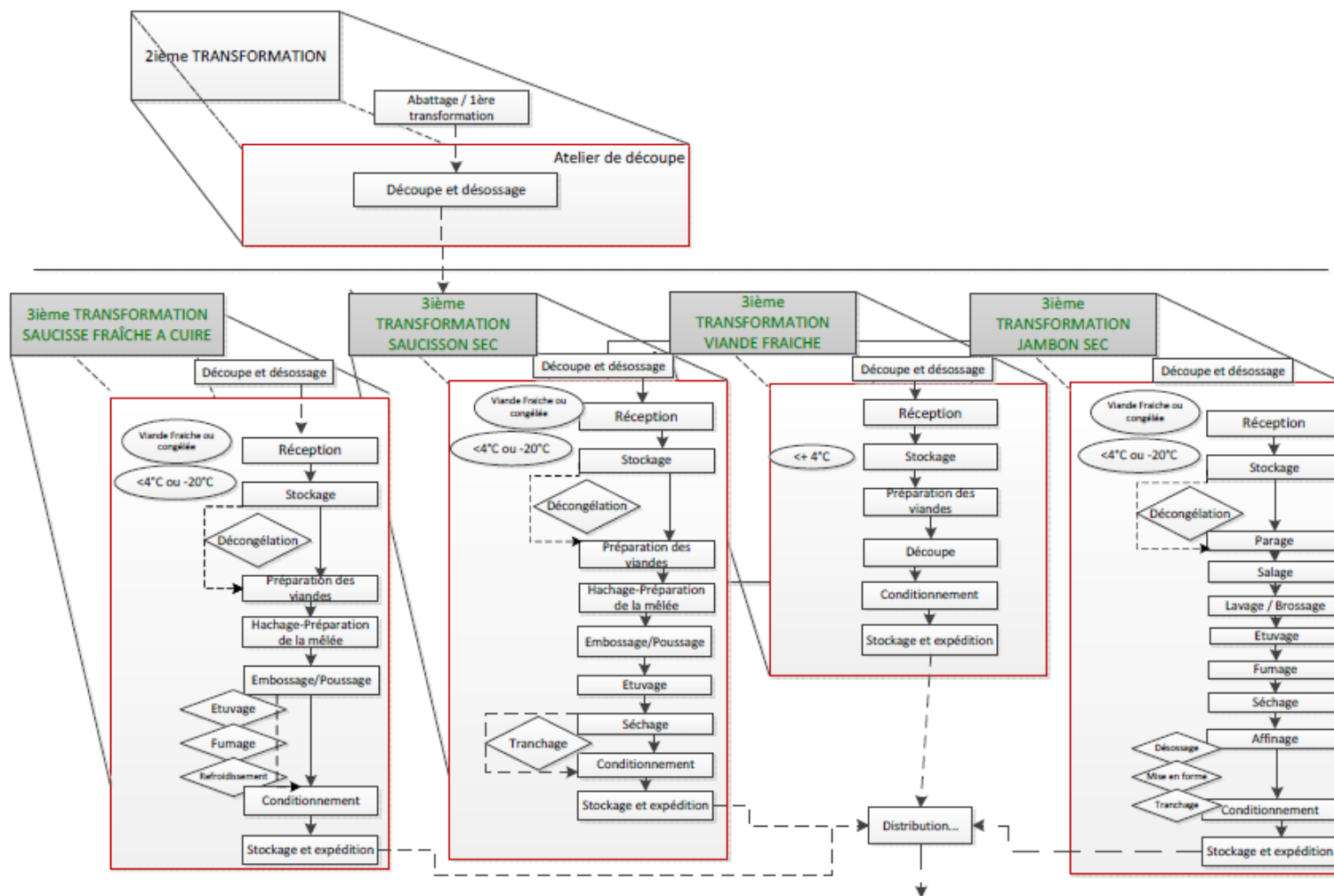


Figure 10. Diagramme des étapes de transformation pour les saucisses fraîches à cuire, le saucisson sec, la viande fraîche et le jambon sec

Après réception et contrôles de qualité, les produits sont stockés à 4°C ou à -20°C. Avant leur utilisation, les viandes congelées sont décongelées. Si besoin les viandes peuvent être parées. Les différentes pièces sont hachées (cutter, hachoir) puis les ingrédients et additifs sont ajoutés (sel, épices, conservateur), et le tout est homogénéisé. La mûlée ainsi obtenue est poussée (« embossée ») dans des boyaux (naturels, collagéniques ou cellulosiques). Pour certains types de fabrication (exemple la saucisse de Morteaux), les produits peuvent être étuvés et fumés après l'embossage. L'étape d'étuvage, si elle est mal conduite, peut permettre la croissance de *Salmonella* spp., mais, néanmoins, l'étuvage permet également la croissance de la flore lactique qui peut être inhibitrice de celle de *Salmonella* spp. Les produits sont ensuite conditionnés sous film perméable aux gaz, sous atmosphère modifiée ou sous vide. Les produits sont stockés à +4°C, en attente d'expédition. Si une ou plusieurs pièces de viande sont contaminées du fait du hachage et du mélange, l'ensemble de la mûlée peut être contaminée.

❖ Saucissons secs

Pour les saucissons, les premières étapes de la fabrication sont identiques à celles de la fabrication des saucisses, décrites ci-dessus. Puis, la surface des produits peut êtreensemencée par trempage dans une suspension de spores de *Penicillium* sp. (= fleur), mais l'ensemencement de la surface peut se faire naturellement au cours du séchage (le pilotage du séchage peut se faire par suivi de la perte de poids). Les produits sont ensuite étuvés (15 à 25°C) puis séchés. Si besoin, les produits peuvent être tranchés avant conditionnement. Au cours des étapes d'étuvage et de séchage, le pH et l' a_w du produit évoluent en permettant une réduction de la contamination par *Salmonella* spp. La vitesse d'acidification (dépendante du ferment et de la concentration en sucre) ainsi que la cinétique de séchage (perte de poids) sont les principaux leviers pour assurer la maîtrise du risque *Salmonella*.

❖ Viandes fraîches (côtes, rôtis, p.ex.)

Les pièces de viande issues de la découpe sont stockées à 4°C. Les viandes sont parées puis découpées selon le produit fini. Les produits sont ensuite conditionnés sous film perméable aux gaz, sous atmosphère modifiée ou sous vide. Les produits sont ensuite stockés à +4°C, en attente d'expédition. Les sources potentielles (hors matière première) de contaminations sont les surfaces de travail, outils de découpe et les opérateurs (transfert de contamination).

❖ Jambon sec

Les pièces de viande (jambon) peuvent être réceptionnées sous formes réfrigérées ou congelées. Après réception et contrôles qualité, les produits sont stockés à 4°C ou à -20°C. Avant la mise en œuvre, les viandes congelées sont décongelées. Si besoin les jambons peuvent être parés. Les jambons sont salés par frottage et dépôt de sel (sel + sel nitrité) sur le jambon (enfouissement), la prise de sel se fait au froid pendant plusieurs semaines. La surface des jambons est ensuite lavée. Les produits sont étuvés et peuvent être fumés. Les produits sont séchés pendant plusieurs mois. En fin de séchage, un graissage ou panage peut être effectué. Les produits rentrent ensuite dans l'étape d'affinage. Les produits vendus entiers, avec l'os, sont conditionnés puis stockés en attente d'expédition. Pour les autres produits, les jambons sont désossés, moulés puis pressés. Les produits sont ensuite conditionnés puis stockés en attente d'expédition. Les jambons destinés au tranchage sont raidis au froid (-5°C à -10°C à cœur) puis tranchés et conditionnés sous vide ou sous atmosphère modifiée. Les produits tranchés sont stockés au froid en attente d'expédition.

3.4.2 Inventaire des mesures de maîtrise

Les mesures de maîtrise identifiées dans la littérature ainsi que les verrous potentiels sont répertoriés dans le tableau 13.

Tableau 13. Mesures de maîtrise identifiées au stade de la transformation

Point d'application	Type de mesure	Mesure de maîtrise	Effet sur	Mise en œuvre *
Atelier	Physiologique /logistique	Nettoyage et désinfection. Bonnes pratiques d'hygiène. Formation du personnel	Hygiène de l'environnement	Appliquée en France
	Traitement chimique	Traitement à l'acide citrique et au chlore	Pièces de découpe	Non autorisée Verrou réglementaire
	Traitement biologique	Utilisation de bactériophages sur les pièces de découpe	Pièces de découpe	Non autorisée en France Verrou réglementaire (« Novel food »)
	Traitement chimique	Ajout de nitrates (jus de céleri en tant que source de nitrates, p.ex.)	Produit fini	Appliquée en France
	Traitement chimique	Pulvérisation d'acide lactique	Pièces de découpe/ produit fini	Appliquée en France
	Traitement physique	Lavage à l'eau de la pièce	Pièces de découpe	Appliquée en France
	Traitement physique	Congélation – réfrigération	Pièces de découpe	Appliquée en France
	Traitement biologique	Ajout de houblon	Produit fini	Non appliquée en France Pas de verrou réglementaire Verrou organoleptique ?
	Traitement chimique	Vaporisation Allyl-Isothiocyanate + atmosphère modifiée (combinaison des 2 mesures)	Produit fini	Non appliquée en France
	Traitement biologique	Ajout de souches de <i>Lactobacillus sakei</i> + marinade au vin avec jus d'ail	Produit fini	Non appliquée en France Pas de verrou réglementaire Verrou organoleptique ?
	Traitement physique / biologique	Process de fabrication / fermentation /séchage modification des conditions pour croissance	Produit fini	Appliquée en France
	Traitement chimique	Utilisation de poudre de champignon	Produit fini de découpe	Non appliquée en France Pas de verrous connus
	Traitement physique	Hautes pressions hydrostatiques	Pièces de découpe/produit fini	Verrou réglementaire (« Novel food »)
	Traitement chimique	Ajout de peptides antimicrobiens	Produit fini	Non appliquée en France
	Traitement physique	Application d'ultrason combinée à de la vapeur à 130°C	Pièces de découpe	Non appliquée en France
Traitement chimique	Utilisation de pousse de bambou et jus de fruits	Produit fini	Non appliquée en France Verrou organoleptique	
Traitement chimique	Traitement au lactate et potassium	Produit fini	Appliquée en France	

*Application de la mesure de maîtrise : renseigne si la mesure de maîtrise est appliquée (mais pas nécessairement de façon généralisée) ou si un verrou (de type réglementaire, technologique, économique ou autre) a été identifié pour son application.

En plus des mesures de maîtrise relevées lors de la revue bibliographique réalisée par le groupe de travail, le rapport de l'EFSA (2010b) recommande pour la maîtrise du danger *Salmonella* les actions suivantes :

- Maîtrise de la température des ateliers ;
- Réduction du temps de traitement ;
- Pression d'air positive dans la zone de transformation.

Un guide FAO/OMS (2017) décrit un certain nombre de mesures de maîtrise pour réduire la contamination en *Salmonella* spp. des produits de porc avec :

- l'utilisation des acides organiques tels que l'acide citrique, l'acide lactique, qui ont une action sur la croissance bactérienne (Wheeler *et al.*, 2014). Un impact élevé des acides organiques est également démontré (Epling *et al.*, 1993 ; Eggenberger-Solorzano *et al.*, 2002) ;
- les lavages contenant d'autres produits chimiques et oxydants, tels que des solutions chlorées, du phosphate trisodique, de l'ozone (Wheeler *et al.*, 2014) ;
- le lavage à l'eau pour enlever physiquement les contaminations superficielles de la carcasse ;
- le traitement à très haute température pour détruire les cellules microbiennes (pasteurisation à la vapeur éventuellement suivie d'un conditionnement sous vide) (Eggenberger-Solorzano *et al.*, 2002 ; Trivedi *et al.*, 2007 ; Hamilton *et al.*, 2010) ;
- les traitements non thermiques tels que : ionisation, traitement aux rayons UV, plasma, hautes pressions ;
- l'emballage sous atmosphère modifiée pour préserver la conservation durant la distribution ;
- les bonnes pratiques d'hygiène de production à tous les niveaux de la chaîne.

3.4.3 Actions concrètes menées en filière

Il existe deux GBPH pour le maillon transformation (Boucherie, industrie charcutière et Charcuterie artisanale) dont l'application permet de réduire le risque lié à la présence de salmonelles dans les produits mis sur le marché.

Pour rappel, *Salmonella* spp. fait l'objet d'un critère d'hygiène des procédés pour les pièces de découpe destinées à la transformation.

Pour les produits remis aux consommateurs, les critères réglementaires sont définis dans le règlement (CE) n°2073/2005. Ainsi pour *Salmonella* spp. dans les viandes fraîches, saucissons secs et jambons secs, la limite du critère est l'absence de *Salmonella* spp. dans 25 g (n=5 c=0). Pour les produits de saucisserie (sous réserve qu'ils contiennent au moins 15 g de NaCl/kg et qu'au moins 50% de la viande utilisée soit de la viande de porc), cette limite est absence dans 10 g avec n=5 c=0.

En France, il n'existe pas de plan national de surveillance pérenne sur les produits transformés à base de porc. Cependant, la DGAL a réalisé, ces dernières années, des plans de surveillance annuels sur divers produits (tableau 14). Ainsi, depuis 2010, sept plans de surveillance successifs ciblaient *Salmonella* spp. dans les produits à base de porc.

Tableau 14. Plans de surveillance réalisés par la DGAL sur les produits à base de porc

Année du plan de surveillance	Type de matrice	Stade du prélèvement	Nombre d'échantillons analysés	Nombre de prélèvements positifs (%) [intervalle de confiance à 95%]
2010	Viande fraîche de porc	Distribution	327	8 (2,4%) [1,1-4,8]
2011	Préparation de viande de porc	Production	91	11 (2,9%) [0,4-10,2]
2012	Viande fraîche de porc	Distribution	499	16 (3,2%) [1,9-4,5]
	dont viande hachée		165	9 (5,5%) [0,1-1,8]
2013	Saucissons sec	"Production" produits prêt à être mis sur le marché	104	1 (1,0%) [0,0-4,7]
2014	Viande marinée	Production	67	4 (6,0%) [1,7-13,6]
2015	Viande fraîche de porc	Distribution	299	1 (0,3%) [0,1-1,9]
2016	Saucissons secs, Chorizo	Production	291	7 (2,4%) [1,2-4,9]

En 2013, la FICT (Fédération des industriels charcutiers traiteurs) a mis en place une charte (« Charte saucisson sec ») permettant d'améliorer la maîtrise du danger *Salmonella*. Cette charte est d'application volontaire. Elle vise à maîtriser la qualité des matières premières et le procédé de fabrication. Elle définit un plan de contrôle des matières premières qui permet de qualifier les fournisseurs. Elle a permis de mettre en place une base de « données pathogènes » par la mise en commun des résultats des analyses microbiologiques (dont la recherche de *Salmonella*) obtenus par les différents fabricants. Cette charte

permet également d'évaluer l'efficacité des procédés selon le type des matières premières utilisées, le type de ferments (cinétique d'acidification), l' a_w du produit, en sortie de séchage, en fonction du type de produits (saucissons, rosettes p.ex.).

Par ailleurs, l'ADIV a publié des Recommandations pratiques d'hygiène pour la fabrication du saucisson sec artisanal (2006).

Les autocontrôles réalisés par les producteurs dans les abattoirs et les ateliers de découpe, sur les pièces de découpe et carcasses, ont été standardisés (site de prélèvements, méthode et fréquence de prélèvements, méthode d'analyse), les résultats sont mutualisés et exploités individuellement et/ou collectivement.

3.4.4 Evaluation générale de l'efficacité des mesures de maîtrise

Le tableau 15 fait état du bilan de l'efficacité des mesures de maîtrise et des niveaux de preuves associés aux articles issus de la revue bibliographique approfondie.

Tableau 15. Bilan du niveau de preuve des articles par mesures de maîtrise à l'atelier de découpe

	Nombre d'article avec NPNS*	Nombre d'article avec NPS*			Total NPS*	Total Article
		Augmentation	Pas d'effet	Réduction		
Biologique						
Souches de <i>Lactobacillus sakei</i> + marinade avec jus d'ail – Présence d'ail	1					1
Chimique						
Acide lactique en spray à 2% combiné avec spray à l'eau				1	1	1
Nitrate / nitrite (maximum EU)			1	1	2	2
Vaporisation d'allyl-Isothiocyanate + atmosphère modifié				1	1	1
Chimique et Physique						
Acide lactique en spray à 2% combiné avec spray à l'eau et congélation				1	1	1
Acide lactique en spray à 2% combiné avec spray à l'eau et refroidissement			1		1	1
Physique et biologique						
Procédé de fabrication				1	1	1
Physique						
Hautes pressions hydrostatiques				2	2	2
Durée et température de maturation				2	2	2
Ultrason et vapeur à 130°C				1	1	1
Total général	1		2	10	12	13

*NPNS : Niveau de preuve non satisfaisant

NPS : Niveau de preuve satisfaisant

3.4.4.1 Traitements biologiques

Le seul article retenu de la revue bibliographique (Porto-Fett *et al.*, 2010) portait sur l'utilisation de ferments ajoutés à la mûlée, lors de la fabrication de salami. Cette étude a montré, en fin de fabrication, une réduction décimale de 4,2 à 4,5.

De plus, une étude menée par l'IFIP sur le comportement des salmonelles au cours de la fabrication et de la conservation des saucissons secs a montré également une réduction variable du nombre (en moyenne de 1 réduction décimale avec un minimum de 0 et un maximum de 3,2 réductions décimales). Cet effet assainissant, lié aux ferments mais également au séchage (diminution de l' a_w) se poursuit lors de la conservation du produit et peut atteindre 3 réductions décimales.

Un article (Kramer *et al.*, 2015) concernant l'utilisation du houblon ajouté au point d'application (longe de porc en marinade) n'a pas montré d'effet sur la réduction de la contamination par *Salmonella* spp.

Ainsi, les lignes de preuves vont dans le sens d'une réduction variable de la contamination par *Salmonella* spp., selon le type de procédés de fabrication de produits séchés et/ou fermentés. Lors de l'application de cette mesure de maîtrise, une réduction décimale pourra être retenue pour le saucisson sec. Pour des pièces plus grosses du type « rosette », une valeur de 2,5 à 3 réductions décimales pourra être retenue.

3.4.4.2 Traitements physiques

Parmi les cinq articles retenus, quatre ont montré une réduction du nombre de *Salmonella* spp. Ces quatre études étaient expérimentales et l'efficacité a été mesurée au point d'application de la mesure.

- Un article (Mataragas *et al.*, 2015) portait sur l'efficacité du temps et de la température de maturation du saucisson sec. L'effet obtenu était de 1,1 à 1,6 réductions décimales.
- Une deuxième étude (Stollewerk *et al.*, 2012) a montré que l'utilisation des hautes pressions hydrostatiques, appliquées sur du jambon cru séché et tranché, entraîne de 1 à plus de 2,5 réductions décimales.
- La troisième étude a montré que l'eau, sous forme de vapeur (130°C), couplée à un traitement aux ultrasons, entraîne de 0,3 à 3 réductions décimales (Issack *et al.*, 2013).
- Enfin, une dernière étude (Porto-Fett *et al.*, 2010) portant sur du salami a montré que le séchage entraînait de 4,2 à 4,5 réductions décimales de *Salmonella/g*. Dans cette étude il n'a pas été possible de différencier l'impact du séchage et celui de la maturation/fermentation du produit.

Par ailleurs, un article de l'IFIP, extrait du bilan d'activités de 2016, montre l'effet du traitement par hautes pressions hydrostatiques sur la réduction de la flore totale aérobie.

Aucun article n'a montré une augmentation de la contamination par *Salmonella* lié à des traitements physiques et un article (Omori *et al.*, 2010), portant sur la mise en place d'une étape de pré-tranchage, n'a pas montré d'effet sur la contamination de *Salmonella*.

Les lignes de preuves vont dans le sens d'une réduction par l'application des hautes pressions hydrostatiques (600 MPa, 5 min, 13°C) en tant que mesure de maîtrise avec un effet pouvant aller de 1,1 à 1,6 réductions décimales. La combinaison de la vapeur d'eau à 130°C couplée à des ultrasons entraîne, dans certains cas, jusqu'à 3 réductions décimales.

3.4.4.3 Traitement chimique

Les trois articles retenus de la revue bibliographique ont montré une réduction de la concentration en *Salmonella* spp., l'ensemble des expérimentations ont été réalisées en laboratoire.

- Un article (Hospital *et al.*, 2014) portait sur l'ajout de nitrates (150 mg/kg) et de nitrites (150 mg/kg) au cours de la fabrication soit des saucisses sèches soit de la viande hachée ; dans ces conditions, il a été montré une réduction de la croissance de *Salmonella* spp. allant de 0,5 réduction décimale pour la viande hachée à 2 pour les saucisses sèches.
- Un deuxième article (King *et al.*, 2012) portait sur l'application en surface d'acide lactique à une concentration de 2%, à l'aide d'un spray. Le traitement a été appliqué sur des abats (foie, intestin, cœur et estomac). L'efficacité mesurée était faible (de 0 à 0,5 réduction décimale).
- Un troisième article (Shin *et al.*, 2010) testait l'efficacité d'une combinaison d'une solution, sous forme de vapeur, d'allyl-isothiocyanate à une concentration de 0,6% et 1,2 µg/h avec un conditionnement sous atmosphère modifiée (30% CO₂ et 70% N₂). Cette mesure a été réalisée sur des blancs de poulet et a permis d'observer, au cours de la conservation des produits pendant 21

jours à +4°C, un ralentissement de la croissance de *Salmonella* spp. menant à une différence de 1,3 à 2 réductions décimales en fin de conservation.

Par ailleurs, les travaux de Zerby *et al.* (1998) avaient montré des effets plus importants, de l'ordre de 2 à 3 réductions décimales, après une immersion des échantillons (foie, cœur, estomac) dans l'acide lactique à 2%, suggérant que ce procédé serait plus efficace par trempage que lors de l'utilisation en spray.

Mesures de maîtrise sur les produits pré-emballés par l'utilisation de procédés de conservation.

Des travaux ont étudié les effets d'extraits naturels variés utilisés en tant que conservateurs :

- une étude (Nam *et al.*, 2006) a montré une réduction significative de *Salmonella* spp. dans de la viande hachée de porc, durant une période de conservation pendant 7 jours, en y incorporant des extraits de cannelle et d'olive ;
- une deuxième étude (Bin *et al.*, 2009) a montré un effet de 1 à 2 réductions décimales durant 9 jours de stockage, en utilisant des extraits de cannelle, de l'origan, des clous de girofle, de l'écorce de grenade et des pépins de raisins;
- une troisième étude (Chen *et al.*, 2013), associant le romarin et le tocophérol, a montré qu'il n'y avait pas d'effet sur les salmonelles.

D'autres travaux ont montré l'efficacité des traitements avec du sorbate de potassium et du lactate de sodium, appliqués sur des carcasses de porc (Latha *et al.*, 2009).

Une autre étude (Piachin et Trachoo, 2011) a montré qu'un traitement de viande porcine avec du lactate de potassium (2-4%), suivi d'un conditionnement sous gaz (ozone) permettait d'obtenir 1 réduction décimale de la contamination par *Salmonella* spp., après 15 jours de conservation.

Enfin, l'emballage sous vide, avant refroidissement, de longes de porc, permet de réduire le niveau de contaminations par *Salmonella* spp., par comparaison avec un emballage après refroidissement (Laack *et al.*, 1993).

Les travaux publiés montrent une réduction de la contamination par *Salmonella* spp. lors de l'utilisation de **procédés chimiques** (utilisation de **nitrites/nitrates** dans certains produits transformés ou application d'une solution d'**acide lactique** sur les pièces de découpe ou les produits finis). L'efficacité varie entre 0,5 et 2 réductions décimales, selon les traitements utilisés. Le conditionnement sous vide ou sous atmosphère modifiée peut également réduire la multiplication des salmonelles dans les produits de type « viande fraîche » et « saucisserie ».

Différentes actions visant à réduire la quantité ou la prévalence de *Salmonella* spp. dans les produits finis peuvent être menées sur les matières premières (pièces de découpe) ainsi que sur les produits finis ou en cours de fabrication.

Les mesures de maîtrise appliquées sur les matières premières (pièces de découpe) entrant dans la fabrication des produits transformés permettent de réduire le niveau de contamination en début de fabrication. Si l'utilisation de traitements chimiques comme des acides ou le chlore, peut s'avérer efficace, elle n'est pas autorisée en Europe. L'utilisation des nitrites et nitrates est encadrée réglementairement. Les traitements par **hautes pressions hydrostatiques** peuvent être autorisés et s'avèrent efficaces pour réduire la contamination par *Salmonella* spp.

En ce qui concerne les produits de salaison séchés ou séchés et fermentés (exemple jambon cru, saucisson sec), le procédé de fabrication peut être un moyen de maîtrise de *Salmonella* spp., mais son efficacité est fortement dépendante des conditions d'acidification et de séchage et doit, par conséquent, être validée pour chacun des procédés de fabrication.

3.5 Inventaire et revue critique de l'efficacité des mesures de maîtrise pendant la distribution

3.5.1 Description du module

Il existe deux types de circuit de distribution l'un, dit court, correspondant à une remise directe du produit par le transformateur au consommateur (pratiqué par les artisans ou lors de fabrications à la ferme), l'autre, dit long, correspond aux pratiques des GMS (grandes et moyennes surfaces) ; dans ce second cas, les produits peuvent également transiter par des grossistes.

Dans le cas de la remise directe du producteur au consommateur, après fabrication, les produits sont conservés en chambre froide dans l'attente d'une mise en vitrine de vente (vitrine réfrigérée). Pour les

jambons secs/saucissons secs, le stockage peut se faire à température ambiante. Lors de la vente, les produits sont, si besoin, détaillés et tranchés et ensuite emballés (par exemple dans du papier paraffiné).

Certains produits peuvent, en fin de production, être conditionnés sous vide ou sous atmosphère modifiée et mis en vente en l'état.

Deux modes de distribution existent dans les GMS : vente en libre-service et vente à la coupe.

Pour la vente en libre-service, le distributeur réceptionne les produits conditionnés en « unité de vente consommateur ». A réception, les produits sont stockés en attente de leur mise en rayon. Cette dernière se fait dans des meubles linéaires réfrigérés ou à température ambiante selon la stabilité des produits.

Pour le rayon de vente à la coupe (ou vente assistée), le distributeur reçoit des produits conditionnés dans des volumes plus importants. A réception, les produits sont stockés dans des locaux adaptés, mais un stockage intermédiaire peut également être réalisé au niveau du rayon. Lors de la mise en rayon, les produits sont déconditionnés. Au moment de la vente, les produits peuvent être tranchés ou détaillés puis emballés. Ces produits destinés au rayon de vente à la coupe peuvent également être conditionnés dans le magasin et mis en vente en libre-service.

Compte tenu de pratiques communes aux deux circuits de distribution, deux modes de distribution seront retenus : la vente de produits non conditionnés et celle de produits préemballés.

3.5.2 Inventaire des mesures de maîtrise

Les mesures de maîtrise identifiées dans la littérature sont répertoriées dans le tableau 16.

Tableau 16. Mesures de maîtrise identifiées au stade de la distribution

Point d'application	Type de mesure	Mesure de maîtrise	Effet sur	Mise en œuvre*
Point de vente/transport	Traitement physique	Respect de la chaîne du froid/Interface transport point de distribution	Aliment à la coupe- Aliment prêt à être consommé	Appliquée en France
Rayon coupe / distribution	Logistique	Bonnes pratiques d'hygiène - Formation du personnel	Aliment à la coupe- Aliment prêt à être consommé	Appliquée en France

*Application de la mesure de maîtrise : renseigne si la mesure de maîtrise est appliquée (mais pas nécessairement de façon généralisée) ou si un verrou (de type réglementaire, technologique, économique ou autre) a été identifié pour son application.

3.5.3 Actions concrètes menées en filière

Les principales mesures de maîtrise mises en œuvre sont les bonnes pratiques, telles que la maîtrise du froid. Pour le rayon de vente à la coupe, la séparation des produits crus et cuits, ainsi que l'utilisation d'un matériel dédié pour chacun de ces types de produits, sont des mesures efficaces.

Pour les distributeurs, il existe des GBPH (Charcuterie à la coupe, rayon viande en GMS, Charcuterie artisanale).

3.5.4 Evaluation générale de l'efficacité des mesures de maîtrise

Lors de la revue bibliographique, aucun article portant sur des mesures de maîtrise au stade de la distribution n'a été retenu.

A ce stade, il existe principalement deux leviers d'action concernant : (i) les conditions de conservation (la chaîne du froid notamment) et, (ii) la lutte contre les contaminations pour les produits nus ou en vrac (non protégés par l'emballage). Les mesures de maîtrise sont généralement connues, certaines ont été citées précédemment, et figurent notamment dans les GBPH et divers autres documents. Le facteur déterminant sera leur mise en œuvre effective sur chaque site, ainsi que la formation des acteurs professionnels sur le site. Le cadre organisationnel le plus adapté à leur mise en œuvre (et leur vérification) est la mise en place d'une démarche HACCP ou de tout autre démarche hygiénique planifiée.

3.6 Inventaire et revue critique de l'efficacité des mesures de maîtrise au stade de la consommation

3.6.1 Description du module

Le groupe de travail a considéré que le début du module « consommation » se situe en sortie de stockage du module Commerce/Distribution (stade achat) (figure 11). A ce stade, deux grandes modalités de préparation/consommation peuvent être distinguées : au domicile ou hors domicile. Pour cette dernière, et selon les produits, une consommation différée (au regard de la préparation) est possible (cas des cuisines centrales).

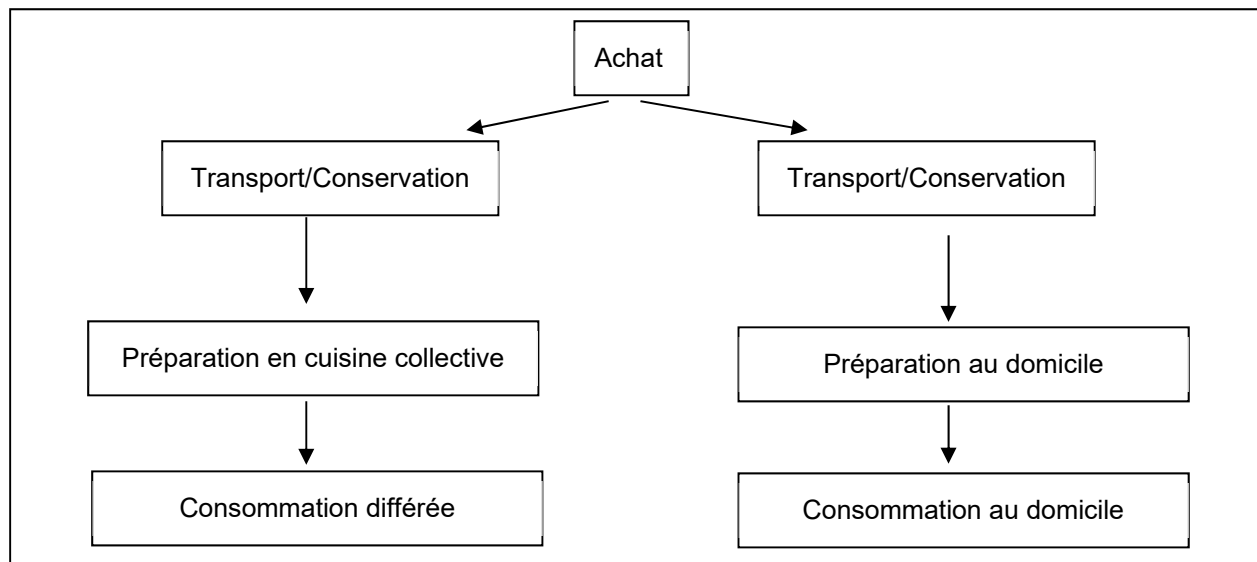


Figure 11. Schéma des étapes du module consommation

3.6.1.1 Achat

Dans le cas d'une consommation à domicile, l'achat des trois produits retenus dans ce rapport pourra se faire auprès de distributeurs très variés : GMS, magasins de proximité, magasins de bouche, marchés, p.ex. La diversité des fournisseurs de la restauration collective sera beaucoup moins grande. Généralement, seuls les industriels et certains grossistes répondront aux appels d'offres des responsables des cuisines centrales.

3.6.1.2 Transport - Conservation

Les fournisseurs des cuisines centrales assurent, le plus souvent, le transport jusqu'à la cuisine centrale, en respectant, si nécessaire et obligatoire, la chaîne du froid. Après les contrôles à réception, le produit, s'il est accepté par la cuisine centrale, sera conservé en conditions maîtrisées.

Après l'achat, le consommateur le rapporte à son domicile sans nécessairement assurer la continuité de la chaîne du froid. Au domicile, il le conservera conformément aux indications figurant sur l'étiquette. Si le produit est à conserver au froid, il est raisonnable de penser que les conditions de conservation seront, en général, mieux maîtrisées en cuisine centrale qu'au domicile particulier.

3.6.1.3 Préparation

❖ Produits de saucisserie (saucisses fraîches à cuire)

Les saucisses, conservées au froid, sont récupérées par les personnes chargées de la préparation. On peut considérer que même si le mode de cuisson sera identique, ce dernier sera mieux maîtrisé en cuisine centrale, même s'il peut exister une certaine diversité, pouvant aller, selon le niveau d'équipement de la cuisine, jusqu'à l'application de barèmes de cuisson précis et adapté à la matière première. De plus, le mode de remise en température en cuisine satellite fait généralement l'objet d'une instruction de travail validée.

❖ Saucissons secs

On peut considérer que la seule préparation, à domicile ou hors domicile, est le tranchage. Cette opération se déroule sans modalités particulières à domicile où le nombre de tranches est découpé en fonction des

besoins. Hors domicile, cette opération se déroule généralement sous le régime du froid et est suivie d'un conditionnement des tranches pour conservation au froid jusqu'à la consommation dans les 3-5 jours. À domicile, la conservation de tranches de saucisson achetées conditionnées devrait se faire au froid, mais ceci n'est pas toujours le cas notamment pour les saucissons entiers (température ambiante en torchon, bac à légumes du frigo, resserre p.ex.). Dans tous les cas (à domicile ou hors domicile), le tranchage (manipulation, utilisation d'un matériel) constituera la principale possibilité de contamination de ce type de produit. Considérée comme une opération « critique » en restauration hors foyer, elle fait généralement l'objet d'instructions précises.

❖ Jambon sec

Comme pour le saucisson sec, la préparation du jambon sec peut être réduite au seul tranchage, qu'il soit fait hors ou à domicile. Dès lors que le jambon est tranché, sa conservation doit se faire au froid, mais cette recommandation est rarement suivie pour les jambons entiers avec os. Dans le cas d'une consommation différée, comme pour le saucisson, les opérations de tranchage et de conditionnement sont effectuées en température dirigée.

❖ Viandes fraîches (côtes, rôtis, p.ex.)

Le cas des viandes fraîches se rapproche de celui des saucisses puisque la préparation de ces produits, à domicile ou hors domicile, comprend généralement une cuisson dont l'effet bactéricide est vraisemblablement plus affirmé, compte-tenu de la nature de ces produits non divisés, contrairement aux saucisses. Bien évidemment, dans le cas de consommation différée, les produits « préparés » sont conservés au froid et remis en température au moment de la consommation.

3.6.2 Actions concrètes à l'étape « consommation »

Il faut distinguer ici les actions concrètes menées en restauration hors domicile, de celles, plus limitées, qu'il est possible d'avoir à domicile. En restauration hors domicile, la préparation des produits se fait dans un cadre professionnel, dans le respect de bonnes pratiques d'hygiène et de fabrication. D'une manière générale, les processus de préparation ont fait l'objet d'une analyse qui a conduit, par exemple, à considérer l'opération de tranchage comme une opération critique. Cette opération devrait donc se dérouler dans des conditions « totalement maîtrisées » (température dirigée, matériel propre et désinfecté, personnel formé, conditionnement protecteur p.ex.). De même, les cuissons, souvent considérées comme des points critiques de maîtrise (CCP) par rapport au danger *Salmonella* spp., feront l'objet d'instructions précises et d'une surveillance documentée.

Il en va différemment à domicile où la cuisson peut se faire au goût de chacun et/ou selon des modes pouvant entraîner une insuffisance de celle-ci (cas des barbecues par exemple). Les informations données aux consommateurs, pour l'utilisation des différents produits, sont alors primordiales. Elles peuvent être très spécifiques lorsqu'elles figurent sur l'étiquette du produit (« cuire la côte 2 minutes de chaque côté dans une poêle bien chaude ») ou plus génériques (cas de la fiche « hygiène domestique » p.ex.).

3.6.3 Inventaire des mesures de maîtrise

Les mesures de maîtrise identifiées dans la littérature sont répertoriées dans le tableau 17.

Tableau 17. Mesures de maîtrise identifiées au stade de la consommation

Point d'application	Type de mesure	Mesure de maîtrise	Effet sur	Mise en œuvre
Consommateur	Traitement physique	Traitements thermiques	Aliment	Appliquée en France

3.6.4 Evaluation générale de l'efficacité des mesures de maîtrise

❖ Traitements physiques

Un seul article (Velasquez *et al.*, 2010) a été retenu lors de la revue bibliographique. Il porte sur l'impact de traitements thermiques (cuisson) sur le temps de réduction décimale (D) de *Salmonella* spp. dans deux produits (muscle de porc mariné et viande de porc hachée marinée). Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 18.

Tableau 18. Temps de réduction décimale (D) en minutes pour *Salmonella* dans du muscle de porc mariné et dans la viande de porc hachée marinée

Température	55°C	58°C	60°C	62°C	63°C
Muscle mariné	23,4 min	3,43 min	1,74 min	0,77 min	0,74 min
Viande hachée marinée	8,75 min	1,50 min	0,61 min	0,47 min	0,28 min

Les lignes de preuves confirment la réduction de la quantité de *Salmonella* spp. par l'application de barèmes de cuisson des produits concernés.

3.7 Synthèse de la revue des mesures de maîtrise et de leur efficacité vis-à-vis des salmonelles

Une synthèse des conclusions de chaque maillon est présentée dans le tableau 19.

Tableau 19. Synthèse des mesures de maîtrise caractérisées comme efficaces vis-à-vis des salmonelles et incertitudes associées

Module	Type de mesure de maîtrise	Nom de la mesure de maîtrise	Nombre d'articles issus de la revue Anses + littérature antérieure à 2010 + Littérature grise (LG)	Niveau d'incertitude des experts quant à l'efficacité des mesures de maîtrise retenues	Conclusion sur l'efficacité de la mesure sur les salmonelles (concentration et/ou prévalence)	Commentaire
Elevage	Mesures appliquées sur l'aliment et dont l'effet est mesuré sur l'animal	Ajout de probiotiques dans l'aliment	3	Niveau de preuve non satisfaisant	Pas de conclusion	
		Utilisation d'acides organiques	4 + LG	Niveau de preuve non satisfaisant	Pas de conclusion	
		Utilisation de plantes et de fruits comme additifs alimentaires	2	Niveau de preuve non satisfaisant au regard du nombre d'articles	Réduction non quantifiable	
		Alimentation liquide (versus miette ou sèche)	3 + littérature antérieure à 2010 + LG	Niveau de preuve satisfaisant	Réduction difficilement quantifiable	
Elevage	Mesures appliquée sur l'animal	Vaccination	6 + littérature antérieure à 2010 + LG	Niveau de preuve satisfaisant	Réduction non quantifiée	Verrou réglementaire
Elevage	Mesures de biosécurité internes et externes	Lutte contre les rongeurs	1 + littérature antérieure à 2010 + LG	Niveau de preuve satisfaisant	Réduction non quantifiée	
		Hygiène, désinfection à l'élevage	4 + littérature antérieure à 2010 + LG	Niveau de preuve satisfaisant	Réduction non quantifiée	
		Température dans les locaux d'élevage	1 + littérature antérieure à 2010 + LG	Niveau de preuve satisfaisant	Réduction non quantifiée	
Transport	Pratiques d'hygiène	Nettoyage et désinfection des camions de transport	1 + littérature antérieure à 2010 + LG	Niveau de preuve satisfaisant	Réduction non quantifiée	
Attente à l'abattoir	Pratiques d'hygiène	Nettoyage et désinfection des aires d'attente	Littérature antérieure à 2010 + LG	Niveau de preuve satisfaisant	Réduction non quantifiée	
Transport	Traitements Physiologique/logistique	Durée courte de mise à jeun	Littérature antérieure à 2010 + LG	Niveau de preuve modéré	Réduction non quantifiée	
		Durées courtes du transport et de l'attente à l'abattoir	2 + littérature antérieure à 2010 + LG	Niveau de preuve satisfaisant	Réduction non quantifiée	
		Abattage en fonction du statut sérologique des porcs	2 + littérature antérieure à 2010 + LG	Niveau de preuve satisfaisant	Réduction non quantifiée	
Abattoir	Traitements physiques	Double flambage	Littérature antérieure à 2010 + LG	Niveau de preuve modéré	0,5 RD en moyenne	
Abattoir	Traitements chimiques	Traitement de la carcasse au lactate de potassium, acide citrique et chlorite de sodium	2 + littérature antérieure à 2010 + LG	Niveau de preuve satisfaisant	Réduction non quantifiée	Verrou réglementaire

Module	Type de mesure de maîtrise	Nom de la mesure de maîtrise	Nombre d'articles issus de la revue Anses + littérature antérieure à 2010 + Littérature grise (LG)	Niveau d'incertitude des experts quant à l'efficacité des mesures de maîtrise retenues	Conclusion sur l'efficacité de la mesure sur les salmonelles (concentration et/ou prévalence)	Commentaire
Abattoir	Traitements Physiologique/logistique	Dépouille de la carcasse	Littérature antérieure à 2010 + LG	Niveau de preuve modéré	Réduction non quantifiée	
		Hygiène, désinfection à l'abattoir	Littérature antérieure à 2010 + LG	Niveau de preuve modéré	Réduction non quantifiée	
Transformation	Traitements physiques/biologiques	Ferments ajoutés à la mée + séchage	1 + littérature antérieure à 2010 + LG	Niveau de preuve satisfaisant	Entre 1 et 3 RD	
Transformation	Traitements physiques	Hautes pressions hydrostatiques	5+ littérature antérieure à 2010 + LG	Niveau de preuve satisfaisant	Entre 1 et 3 RD	
Transformation	Traitements physiques	Vapeur d'eau + ultrasons	1	Niveau de preuve satisfaisant	Entre 0,3 et 3 RD	
Transformation	Traitement chimique	Utilisation de nitrites ou d'acides	3+ littérature antérieure à 2010 + LG	Niveau de preuve satisfaisant	Entre 0.5 et 2 RD	
Consommation	Traitements physiques	Cuisson	1 + littérature antérieure à 2010 + LG	Niveau de preuve satisfaisant	Réduction (variable selon la durée et la température)	

4 Méthodologie de modélisation intégrée pour l'évaluation de l'impact des mesures de maîtrise sur la réduction du risque de salmonellose humaine

4.1 Etat des lieux des modèles disponibles et choix de modélisation

En parallèle de la première partie des travaux relative à la revue des connaissances sur l'efficacité des mesures de maîtrise, une appropriation critique des modèles d'AQR existants, et en particulier celui développé par le consortium FCC pour l'EFSA, a été menée par le groupe de travail en vue d'évaluer sa capacité à intégrer l'ensemble des mesures de maîtrise identifiées.

Plusieurs modèles d'appréciation quantitative des risques sont disponibles en Europe.

Le groupe de travail a procédé à l'analyse critique de trois modèles proposés pour la filière porcine :

- le modèle d'appréciation quantitative du risque de salmonelloses humaines suite à la consommation de viandes fraîches porcines en Belgique, issu du projet METZOON (Bollaerts *et al.* 2009) ;
- le modèle pour les salmonelles en filière porcine développé par l'INRA (Lurette, 2007 ; Lurette *et al.*, 2011) ;
- le modèle intégré d'appréciation quantitative du risque de l'EFSA (FCC Consortium 2010) ;

Une description succincte des modèles belges et français est réalisée ci-après. Le modèle européen, sur lequel s'appuie cette étude, est décrit de façon plus détaillée en partie 4.2 (hypothèses, entrées et sorties des modules).

❖ Le modèle METZOON - Quantitative Microbial Risk Assessment For Human Salmonellosis Through Household Consumption Of Fresh Minced Pork Meat In Belgium (Bollaerts *et al.* 2009)

Ce projet simule la contamination, par *Salmonella* spp., de l'ensemble de la filière à partir de l'élevage de porcs jusqu'à la consommation de la viande. Le modèle fait appel aux résultats des plans de surveillance de l'AFSCA (Agence fédérale pour la sécurité de la chaîne alimentaire en Belgique) et à l'ensemble des études belges réalisées sur les salmonelles dans la filière porcine (Delhalle *et al.*, 2008).

Le modèle comprend six étapes : il commence au niveau de l'élevage et considère ensuite l'évolution de la contamination des animaux pendant le transport et l'abattage. Ensuite, le modèle considère la production, la distribution et la consommation. L'évolution de la prévalence au cours de ces étapes est estimée. Pour le dernier stade, le transfert de salmonelles pendant la préparation et la cuisson sont modélisés.

Le but de ce projet était d'identifier les actions ayant le plus d'efficacité pour réduire la contamination tout au long de la chaîne alimentaire (Bollaerts *et al.*, 2010). Ce modèle est pertinent mais il est toutefois focalisé sur les données disponibles en Belgique. Le module concernant la phase d'abattage s'appuie uniquement sur une élicitation d'experts de l'effet de chaque sous-étape sur la concentration en salmonelles.

❖ Le module Elevage du modèle INRA – SalMoPiB v2.0, Copyright INRA, 2011-2017

Une synthèse de l'approche de modélisation de l'infection par les salmonelles dans les troupeaux porcins est présentée ci-après. Le module élevage du modèle propose une représentation des différentes composantes du système d'élevage français. L'objectif principal du projet, à l'origine de la modélisation, était de mieux comprendre (en élaborant des hypothèses biologiques) et mieux prédire la propagation de l'agent pathogène, sous différents scénarios.

Le modèle développé prend en compte la dynamique de population dans un élevage naisseurs-engraisseurs « type » (Guillaumont *et al.*, 2017). L'unité utilisée dans le modèle est la bande et différents modes de conduite de bandes sont testés (conduites en 7 puis 4, 5 et enfin 21 bandes). Les flux d'animaux entre les différentes étapes, ainsi que la dynamique de transmission de l'infection, sont décrits de façon détaillée. Les troupeaux sont ainsi modélisés (sur la base de 500 semaines soit environ 10 ans) et cette approche est couplée à un modèle de type SIR (Susceptible, Infectious, Recovered) représentant la transmission indirecte féco-orale des salmonelles, par ingestion des bactéries présentes dans la salle. L'introduction des

salmonelles dans l'élevage se fait par le biais de cochettes porteuses excrétrices séronégatives. La proportion d'animaux porteurs excréteurs séropositifs et porteurs non excréteurs séropositifs (= la séroprévalence totale des truies et des porcs dans l'élevage) est donc la sortie principale du modèle.

La séroprévalence des truies dans les élevages est estimée entre 66% et 85% (médiane= 75%) (en mode stochastique, après 1001 répétitions). Le modèle estime également une moyenne de 4% de porcs séropositifs dans un élevage (figure 12).

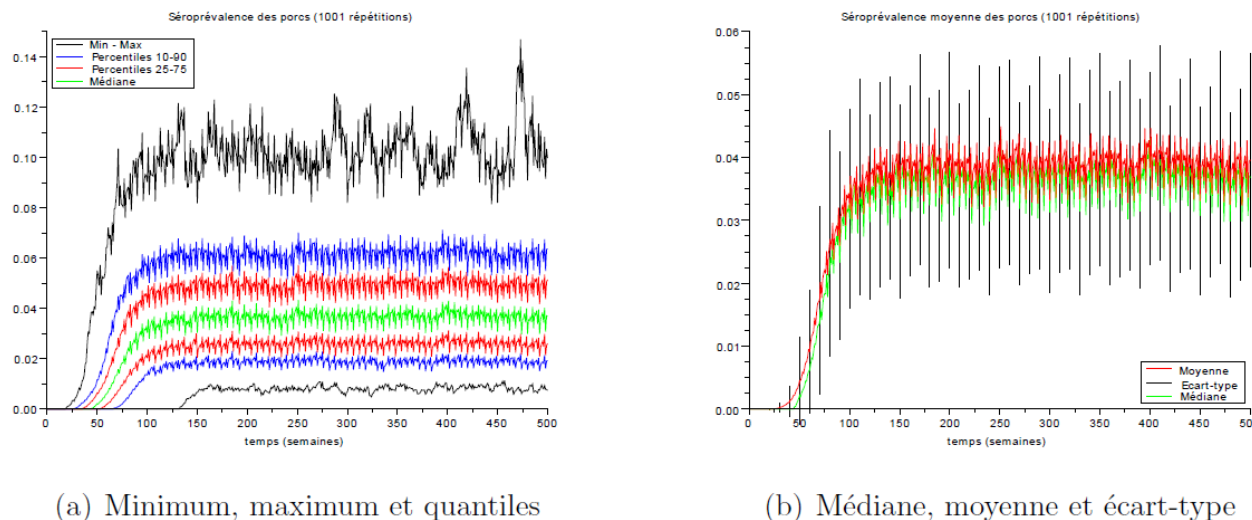


Figure 12. Séroprévalence des porcs en fonction du temps

Le scénario 4 du modèle, présenté dans la figure 12, correspond au schéma suivant : 7 bandes de truies avec 3 semaines entre chaque bande, un âge au sevrage de 28 jours, un mélange de bandes en post sevrage et à l'engraissement (mode stochastique, 1001 répétitions) (Guillaumont *et al.*, 2017).

Différents scénarios de mesures de maîtrise (dont la vaccination des truies) sont testés pour évaluer leur impact sur la réduction de la probabilité d'infection et la réduction de la quantité de salmonelles excrétées. Le mélange de bandes ne semble pas avoir un impact majeur sur la séroprévalence des porcs. La restriction des mouvements d'animaux en fonction du statut des troupeaux est évaluée comme une mesure réductrice du nombre d'animaux infectés.

Ces travaux représentent un intérêt puisqu'ils se veulent représentatifs des pratiques françaises en filière porcine et ils nécessitent, à priori, moins d'étapes de paramétrage (moins d'entrées dans le modèle) que le modèle EFSA. Ainsi, l'utilisation du module élevage de l'INRA s'avérerait plus simple d'usage et de paramétrage (moins de données à acquérir) que l'utilisation de celui de l'EFSA.

Le code Scilab ainsi qu'un document technique ont été transmis par l'INRA dans le cadre des travaux du groupe de travail.

❖ Le modèle EFSA

Le modèle EFSA a pour principal objectif l'évaluation de l'impact de possibles mesures de maîtrise sur le risque d'infection humaine par les salmonelles. Il a été développé par un consortium (VLA-DTU-RIVM) entre 2006 et 2009 et est documenté dans un rapport publié en 2010 (FCC Consortium, 2010).

Une présentation du modèle par le Pr. Simons (Veterinary Laboratories Agency, UK) aux membres du groupe de travail a permis de mieux l'appréhender. Les remarques et conclusions principales qui sont ressorties des échanges, lors de cette audition, sont les suivantes :

- le modèle suit une approche modulaire de la chaîne de production porcine bien que certains modules s'avèrent très complexes à appréhender dans le détail ;
- l'impact sur le nombre de cas de salmonellose humaine est plus important dans le cas de mesures de maîtrise appliquées au niveau de l'élevage et de l'abattoir par rapport aux étapes de transformation et de consommation ;
- une analyse coûts/bénéfice a été menée sur quatre scénarios de mesures de maîtrise à différents maillons de la chaîne, sans qu'aucun d'entre eux ne présente un cout/bénéfice plus intéressant (au niveau européen) ;

- l'interface du modèle (GUI Efsasip (Swart et Pielaat, 2012)) développée par le consortium s'avère trop figée (en termes d'hypothèse et d'étapes considérées) pour permettre une réelle adaptation à la situation française.

Suite à cette audition, il s'est avéré nécessaire de disposer du code sous Matlab pour approfondir et s'approprier le modèle. L'équipe du consortium responsable du développement du modèle a accepté la demande officielle de l'Anses et a transmis le code en novembre 2016.

4.2 Modélisation

4.2.1 Approche de modélisation

Les éléments descriptifs de la filière porcine française, disponibles en partie 3 de ce rapport, permettent de valider l'approche de modélisation européenne de 2010 : les modules et sous étapes modélisées sont considérées comme similaires à la structure de la filière française.

La possibilité de reparamétrer le modèle en profondeur et certains éléments clés des modules (grâce au code Matlab transmis par le consortium FCC) notamment sur la structure des élevages, les prévalences en alimentation animale et les points d'intervention, permet l'adoption de cette approche de modélisation sans avoir recours à une étape de réécriture et de modélisation qui s'avèreraient très chronophage. Il sera discuté plus tard, dans ce rapport, de l'intérêt d'une modélisation intégrée spécifique française.

Le modèle (SiPFR) utilisé dans ce rapport simule les différentes étapes de la fabrication des trois types de produits (chair à saucisse à cuire, viande fraîche de porc, salaison) depuis la ferme jusqu'à leur consommation (figure 13).

L'objectif de la modélisation est d'estimer et de comparer l'efficacité de certaines interventions testées et/ou une combinaison de celles-ci, sur la réduction du risque de salmonellose humaine liée à la consommation de l'un des trois produits étudiés.

Le modèle est basé sur le postulat que l'intervention testée (mesure de maîtrise ou ensemble de mesures) réduit la contamination par les salmonelles au point d'application de la mesure et a donc un impact sur l'exposition des consommateurs et le risque de salmonellose lié à ces consommations.

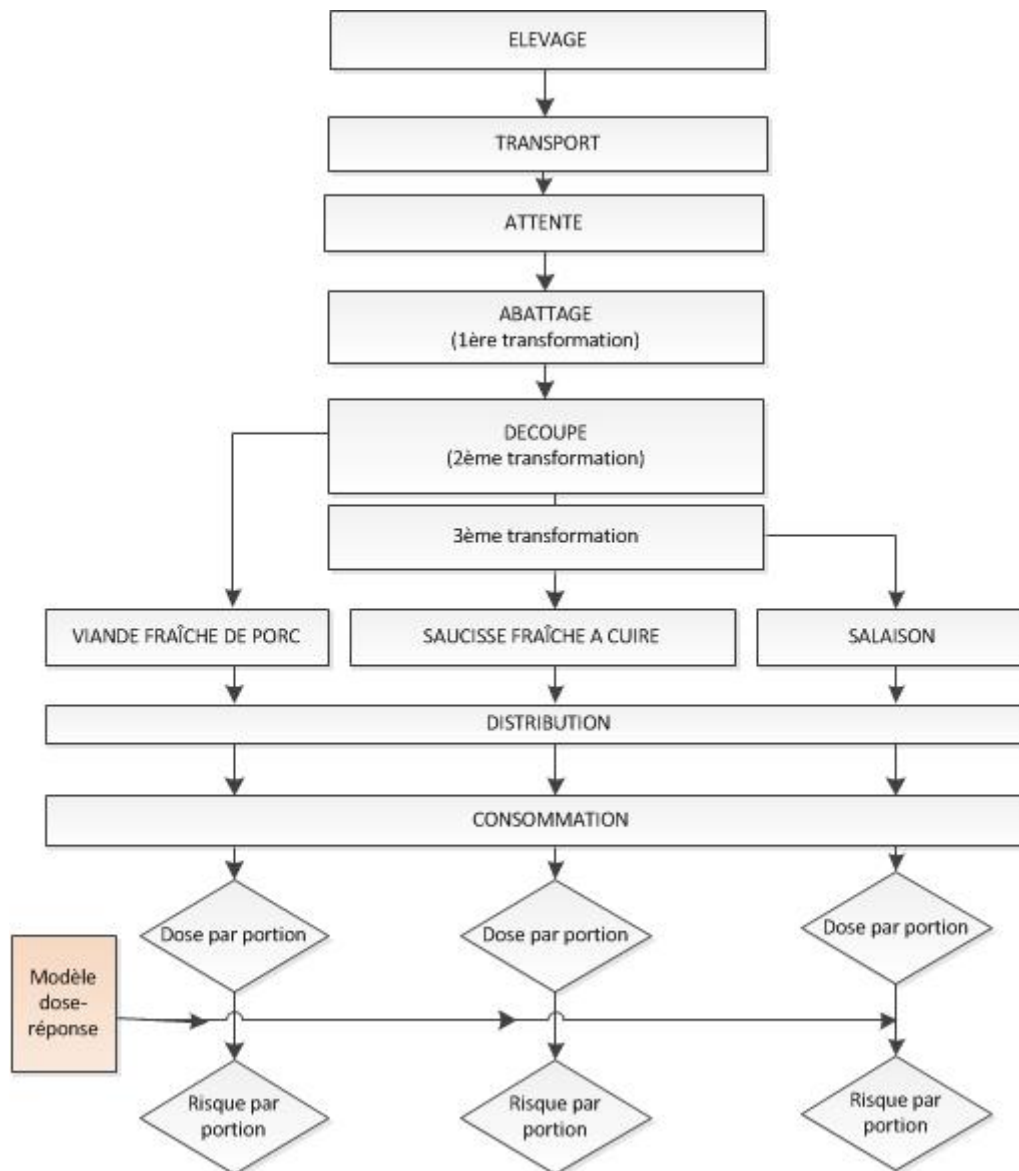


Figure 13. Structure générale du modèle d'évaluation du risque lié à la contamination par *Salmonella* spp. dans la filière porcine

4.2.1.1 Description du modèle EFSA 2010 – SiPFR

Le modèle EFSA a pour principal objectif l'évaluation de l'impact de possibles mesures de maîtrise sur le risque d'infection humaine par les salmonelles. Le modèle se veut générique, afin de pouvoir être adapté aux différentes caractéristiques de production, d'abattage et de consommation des porcs dans les différents Etats membres de l'Union européenne.

Le modèle se divise en 4 modules : (1) l'élevage, (2) le transport et l'attente, (3) l'abattage et la transformation, (4) la préparation et la consommation. Ces modules sont combinés linéairement, les résultats d'un module formant les données d'entrée du suivant, afin de retracer toute la chaîne, de la production des aliments à leur consommation.

La plupart des processus modélisés le sont de façon stochastique : les valeurs de certains paramètres ne sont pas fixées mais tirées au sort à partir de distributions de probabilités spécifiées par l'utilisateur, et certains processus, par exemple d'infection ou de contamination, sont simulés par une méthode Monte-Carlo. Chaque module est brièvement décrit ci-dessous. Les hypothèses et détails de calculs pour chaque module sont décrits dans le rapport du consortium (FCC Consortium, 2010).

❖ Module élevage

Le module élevage est un modèle mathématique stochastique simulant la transmission de salmonelles entre les porcs élevés au sein d'un même troupeau. A la différence du modèle INRA décrit précédemment, ce modèle est individu-centré, chaque porc élevé au sein du troupeau représenté dans le modèle est explicitement modélisé.

Une itération du modèle représente une période de production de 500 jours, avec l'envoi de lots de porcs à l'abattoir chaque semaine. Le nombre de porcs dans la ferme, le type de production (continu ou tout-plein-tout-vider), le type de sol, le type d'aliments, et la répartition entre les sources des porcs (naisseurs-engraisseurs, post-sevreurs, etc.) peuvent être définis par l'utilisateur.

Au début d'une simulation, chaque porc destiné à l'engraissement et à l'abattage, est considéré « sensible ».

Les salmonelles peuvent être introduites dans cette population par :

- les truies, qui infectent alors les porcelets ;
- l'aliment ;
- la faune sauvage ;
- la réception d'un nouvel arrivage de porcs.

De plus, les porcs peuvent devenir infectés suite à l'ingestion de bactéries présentes dans l'environnement, le processus d'infection étant simulé par une fonction dose-réponse bêta-binomiale utilisant la concentration de salmonelles dans l'environnement comme dose d'exposition. Cette concentration est modélisée, et évolue dans le temps suite à l'introduction des bactéries par des sources extérieures (listées ci-dessus), l'excrétion de bactéries par des porcs infectés, et l'inactivation des bactéries dans l'environnement.

Une fois infecté, un porc est excréteur. Son niveau d'excrétion dépend de la dose d'exposition. Après une période de temps donnée, un porc infecté redevient à nouveau sensible.

Il est à noter que ce modèle utilise un nombre important de paramètres (18 paramètres) pour simuler les processus d'infection, dont la valeur est issue de dire d'experts pour près de la moitié d'entre eux, faute de données disponibles.

A chaque itération, les résultats du modèle sont :

- la prévalence d'infection (c'est-à-dire la proportion de porcs infectés) ;
- une distribution de la concentration de salmonelles excrétées dans les fèces des porcs infectés pour chaque lot de porcs transportés à l'abattoir, pendant la période de production.

❖ Module transport et attente

Des lots de porcs produits par le module élevage sont tirés au sort jusqu'à ce que la capacité de l'abattoir (c'est-à-dire le nombre de porcs abattus en une journée) soit atteinte.

La prévalence d'infection dans les lots de porcs quittant les fermes pour l'abattoir est déterminée par les résultats du module élevage. Le temps passé par les porcs dans les camions les amenant à l'abattoir puis dans l'aire d'attente de l'abattoir sont des variables dans le modèle.

La transmission est modélisée de la même façon que dans le module élevage : le modèle est stochastique, individu-centré. A cette fin, la concentration de salmonelles dans les camions et les enclos de l'aire d'attente est simulée, permettant aussi le transfert de salmonelles des lots de porcs successivement transportés et mis en attente.

L'effet du stress associé au transport et à l'attente à l'abattoir est pris en compte et résulte en des niveaux d'excrétion plus élevés.

A chaque itération du modèle, sont estimés et utilisés comme données d'entrée pour le module suivant :

- la prévalence d'infection ;
- la concentration de salmonelles sur la peau des porcs.

❖ Module abattage et transformation

Ce module fait directement suite au module transport et attente.

L'évolution de la contamination des carcasses à l'abattoir est modélisée à travers différentes étapes successives, de l'étourdissement de l'animal au refroidissement des demi-carcasses. Cependant, seules les étapes qui ont été jugées avoir l'impact le plus important sur la contamination par les salmonelles ont été modélisées.

Les étapes successives prises en compte par le modèle sont :

- l'échaudage ;
- l'épilage ;
- le flambage ;
- le grattage ;
- l'ouverture abdominale ;
- la fente en demi ;
- l'inspection des carcasses ;
- le refroidissement.

Comme pour les modules précédents, le modèle est stochastique. Les valeurs de paramètres peuvent être échantillonnées à partir de distributions de probabilités, et les processus microbiens sont simulés par une méthode Monte-Carlo.

A chaque étape de la chaîne, les transferts de bactéries des carcasses à l'environnement de l'abattoir, et de l'environnement aux carcasses, sont modélisés de façon explicite. Plusieurs processus microbiens sont modélisés, tels que l'inactivation bactérienne ou le transfert de salmonelles, résultant en une diminution ou une augmentation de la concentration en salmonelles sur les carcasses.

Par exemple, le transfert de salmonelles d'une carcasse à l'autre peut survenir lors de l'épilage, la machine utilisée pouvant être contaminée, et ainsi constituer une source de contamination pour les carcasses suivantes.

Dans ce module, les salmonelles sont classées en trois catégories : (1) faiblement liées à la carcasse, (2) fortement liées à la carcasse, (3) résidentes.

L'impact des différentes pratiques d'abattage sur la concentration de salmonelles appartenant à chacune de ces catégories diffère. Par exemple, l'échaudage détache les salmonelles faiblement liées à la carcasse, mais pas celles fortement liées à celle-ci.

A la fin de la chaîne d'abattage sont estimées ;

- la proportion de demi-carcasses contaminées ;
- la concentration de salmonelles sur les demi-carcasses contaminées.

Ces demi-carcasses sont ensuite transformées en portion de différents types de produits, tels que la viande fraîche et les saucisses. La découpe des demi-carcasses en pièces est modélisée. Les lignes de coupes sont prises en compte, de telle sorte que le niveau de contamination des portions dépend de la découpe et de la localisation de la viande sur la demi-carcasse.

A la fin de ce module, le nombre de bactéries présentes par portion de chaque produit est estimé, et utilisé comme donnée d'entrée du module suivant.

❖ Module préparation et consommation

Dans ce dernier module, les portions produites à l'étape précédente sont modélisées indépendamment. L'évolution de la proportion de portions contaminées et de la concentration de salmonelles dans ces portions est modélisée au cours de leur transport, de leur conservation et de leur préparation.

La croissance bactérienne est modélisée au cours des étapes de transport et de conservation. Elle est influencée par la température ainsi que les durées de transport et de conservation.

Lors de la préparation du repas, le transfert de salmonelles entre une portion et l'environnement (par exemple, la planche à découper, le couteau, les mains du préparateur) est également modélisé.

Lors de la cuisson de la viande fraîche, la propagation de la chaleur au sein d'une portion est modélisée, afin d'estimer le niveau d'inactivation des bactéries en fonction des conditions de cuisson. L'inactivation des salmonelles lors de la fermentation des saucissons est également modélisée ; celle-ci est influencée par le pH et la température.

La dose ingérée, autrement dit le nombre de salmonelles présentes dans chaque type de portion, au moment de leur consommation, est ainsi estimée.

L'approche principale du groupe de travail est basée sur le modèle EFSA disponible sous Matlab, désignée SiPFR (pour *Salmonella* in PIg France).

La structure générale de modélisation utilisée pour élaborer l'avis de l'EFSA (2010b) est reprise pour SiPFR, avec l'ensemble des hypothèses et biais identifiés dans le rapport du consortium.

4.2.1.2 Paramétrage - Application du modèle à la filière porcine française

Le groupe de travail a collecté, grâce à la bibliographie et aux auditions, de nombreuses données utiles au paramétrage du modèle pour apporter le plus de cohérence possible en rapport avec la situation française.

Les 165 paramètres (70 paramètres à l'élevage, 39 pour le transport et l'attente, 27 pour l'abattoir, 5 pour la distribution et 24 pour la consommation des trois types de produits) ont été revus et modifiés, si nécessaire, par le groupe de travail.

D'autres paramètres existent dans le modèle mais n'ont pas été revus par le groupe de travail car considérés comme trop spécifiques aux hypothèses de modélisation ou n'étant pas spécifique d'un type de filière (ou de pays) en particulier.

Les valeurs fixées pour chaque paramètre du modèle sont reportées dans le tableau en Annexe 8.4. Certains détails de calculs pour des paramètres spécifiques sont cependant donnés ci-dessous.

❖ Paramètres à l'élevage

Dans le modèle, différentes pratiques d'élevage sont prises en compte :

- les élevages de type naisseurs-engraisseurs *versus* les élevages post-sevrage et engraisseurs ;
- l'environnement de production : bâtiment *versus* extérieur (plein air) ;
- le type de production : production all-in-all-out *versus* production en continu ;
- le type de sol : caillebottis *versus* autres sols ;
- le type de présentation de l'aliment : aliment sec *versus* aliment humide (soupe).

Les proportions d'élevages français (tableau 20 et 21) suivant chacune de ces pratiques sont renseignées grâce à la bibliographie et par les dires d'experts, puis intégrées au modèle du module élevage.

Tableau 20. Répartition des pratiques d'élevage en France (en % d'élevages concernés) et sources de données

	Lieu production		Type de production		Type de sol		Type de présentation de l'aliment		Source des données
	Bâtiment	Plein air	All in/ All out	Continu	Caillebottis	Autres types de sol	Sec	Humide	
Naisseurs-Engraisseurs (46,9% des élevages)	99,1%	0,9%	95%	5%	95%	5%	40,1%	59,6%	Données pour la France de l'EFSA Baseline survey 2008 (EFSA, 2009)
Éleveurs-post-sevrageurs (2,5% des élevages)	97,74%	2,26%	95%	5%	93%	7%	59,2%	40,8%	Données pour la France de l'EFSA Baseline survey 2008 (EFSA 2009)
Engraisseurs (51% des élevages)	99,8%	0,2%	95%	5%	95%	5%	19%	81%	Études Bâtiments d'élevage IFIP 2007 (Massabie et Ramonet 2007)

Tableau 21. Paramètres utilisés pour la structure française d'élevage

	Naisseurs- Engraisseurs (46,9% des élevages)	Éleveurs - post-sevrés (2,5% des élevages)	Engraisseurs (51% des élevages)
Bâtiment / all in all out/ autre type de sol / alimentation sèche	1,89	3,85	0,95
Bâtiment / all in all out / autre type de sol / alimentation humide	2,80	2,65	4,04
Bâtiment / all in all out/ caillebottis / alimentation sèche	35,86	51,12	17,11
Bâtiment / all in all out / caillebottis / alimentation humide	53,30	35,23	72,96
Bâtiment / continue/ autre type de sol / alimentation sèche	0,10	0,20	0,05
Bâtiment / continue / autre type de sol / alimentation humide	0,15	0,14	0,20
Bâtiment / continue / caillebottis/ alimentation sèche	1,89	2,69	0,90
Bâtiment / continue / caillebottis / alimentation humide	2,80	1,85	3,84
Plein air / all in all out / autre type de sol / alimentation sèche	0,02	0,09	0,00
Plein air / all in all out / autre type de sol / alimentation humide	0,03	0,06	0,01
Plein air / all in all out / caillebottis / alimentation sèche	0,33	1,18	0,03
Plein air / all in all out / caillebottis / alimentation humide	0,48	0,81	0,15
Plein air / continue / autre type de sol / alimentation sèche	0,00	0,00	0,00
Plein air / continue / autre type de sol / alimentation humide	0,00	0,00	0,00
Plein air / continue / caillebottis / alimentation sèche	0,02	0,06	0,00
Plein air / continue / caillebottis / alimentation humide	0,03	0,04	0,01

Une étude d'estimation de la prévalence de l'infection par *Salmonella* spp. dans les troupeaux de porcs reproducteurs et charcutiers a été conduite entre janvier 2008 et décembre 2008 (AFSSA, 2009a,b). La prévalence était alors estimée à 43,93% chez les porcs reproducteurs sur l'ensemble des exploitations (50% pour les exploitations de reproduction et 38,83% pour les exploitations de production) et à 22,02% chez les porcs charcutiers dans les élevages naisseurs-engraisseurs.

Pour la France, dans le modèle EFSA, la prévalence de salmonelles à l'élevage (au sein des reproducteurs) est fixée à 0,5.

La prévalence des salmonelles dans l'alimentation animale est fixée à 0,01 pour la France. L'ordre de grandeur de la prévalence en salmonelles dans l'alimentation animale initialement pris en compte dans le modèle européen pour les quatre Etats membres choisis est de 0,1.

Les valeurs des autres paramètres modifiés sont consultables en Annexe 8.4.

4.2.1.3 Choix du modèle de dose-réponse

Deux modèles de dose-réponse pertinents pour l'estimation du nombre de cas de salmonellose humaine ont été identifiés dans la littérature (Pouillot *et al.*, 2012 ; Guillier *et al.*, 2013 ; FCC Consortium, 2010) : le modèle dit « de Teunis » (Teunis *et al.*, 2010) et celui de la FAO (FAO/WHO, 2002) (figure 14).

Le modèle de Teunis prend en compte le risque d'infection puis la probabilité, une fois infecté, d'être malade, en fonction de la dose ingérée. Le modèle FAO estime directement la probabilité d'être malade à partir de la dose ingérée.

Le groupe de travail a comparé le nombre de cas de salmonellose humaine prédits avec le modèle EFSA en utilisant l'une ou l'autre de ces deux doses-réponses. Celui développé par Teunis était jugé a priori plus récent et plus pertinent que celui utilisée par le consortium pour le modèle EFSA, c'est-à-dire la dose-réponse de la FAO.

Le nombre de salmonelloses humaines par transmission alimentaire en France, en 2018, est estimé à 183 002 cas (estimation annuelle moyenne) (Van Cauteren *et al.*, 2018). Pires *et al.* (2014) ont estimé

qu'annuellement environ un tiers des salmonelloses humaines (34,1%), en Europe de l'ouest sont liées à la consommation de viandes de porcs. En se basant sur ces deux estimations, le groupe de travail estime qu'en France, environ 62 400 cas de salmonellose humaine seraient liés à la consommation de produits porcins.

Or, en utilisant le modèle de dose-réponse de Teunis, le nombre de cas liés à la consommation des trois produits étudiés ne correspond pas à cette estimation (et ne correspond pas non plus aux estimations obtenues pour les quatre Etats membres pris en exemple dans le modèle EFSA).

Pour garder une cohérence en termes d'estimation du nombre de cas de salmonellose humaine (par rapport à la situation française et par rapport aux estimations du rapport EFSA en 2010), le groupe de travail a choisi d'appliquer le modèle de dose-réponse de la FAO (FAO/WHO, 2002).

Equation	Used in risk model	α	β	η	ρ	Reference
$p_{illij} = 1 - \left(1 + \frac{dose_{ij}}{\beta}\right)^{-\alpha}$	#1	0.1324	51.45			FAO/WHO (2002)
	#1u	Triang (0.0763,0.1324,0.2274)	Triang (38.49,51.45,57.96)			
$p_{infinij} = 1 - \frac{\Gamma(\alpha+\beta) \cdot \Gamma(\beta+dose_{ij})}{\Gamma(\beta) \cdot \Gamma(\alpha+\beta+dose_{ij})}$	#2	7.75×10^{-3}	2.72×10^{-3}	1.92×10^{-6}	1.37×10^3	Teunis et al. (2010)
$p_{illinfinij} = 1 - (1 + \eta \cdot dose_{ij})^{-\rho}$ $p_{illij} = p_{infinij} \cdot p_{illinfinij}$	#2u	5000 sets of $\{\alpha, \beta, \rho, \eta\}$ parameter values furnished by Teunis et al. (2010)				

Figure 14. Les deux modèles (Teunis et al. 2010 ; FAO/WHO, 2002) de dose-réponse utilisés pour prédire le nombre de cas de salmonellose humaine avec leurs paramètres associés (en considérant l'incertitude) [tiré de Guillier et al. (2013)].

4.2.2 Estimation du risque de salmonellose par portion

L'estimation du nombre de cas de salmonellose grâce au modèle SiPFR est utilisée pour les calculs d'efficacité de scénarios présentés dans la partie 4.4.

La probabilité (*Pill*) de salmonellose associée à la consommation d'une portion d'un des trois produits étudiés est obtenue en appliquant le modèle de dose-réponse de la FAO pour l'analyse des risques de salmonelloses dans la filière « volailles » (FAO/WHO, 2002).

Le modèle de dose-réponse est appliqué à la dose individuelle par portion consommée et utilise les mêmes paramètres α et β de la FAO de 2002 et du rapport du consortium en 2010 :

$$\alpha = 0,1324 \text{ et } \beta = 51,45$$

4.2.2.1 Taille des portions

Les données de consommation utilisées pour estimer l'exposition alimentaire proviennent de l'étude INCA3 (Dubuisson et al., 2017), la troisième enquête nationale sur la consommation, réalisée entre février 2014 et septembre 2015, en France métropolitaine, auprès de 2 698 enfants et adolescents de 17 ans et moins, et de 3 157 adultes de 18 à 79 ans représentatifs de la France métropolitaine (hors Corse).

Les tailles de portion de viande de porc fraîche, de saucisse de porc fraîche à cuire et de salaison de porc sont présentées dans le tableau 22.

Tableau 22. Taille de portion (en g) moyenne et médiane des différents produits chez les seuls consommateurs adultes de 18 à 79 ans (Source INCA3, Dubuisson et al., 2017)

Produit	Nombre de consommations	Moyenne (g)	[IC 95%]	Médiane
Viande de porc fraîche	663	111,8	[101,9-121,6]	100,0
Saucisse de porc fraîche à cuire	530	77,7	[72,1-83,3]	69,1
Salaison de porc	947	28,7	[26,4-31,1]	22,0

4.2.2.2 Probabilité d'être malade $P_{illness}$

Le résultat principal du modèle est une probabilité de maladie ($P_{illness}$) associée à la consommation d'une portion parmi 10 000 portions simulées d'un des trois produits étudiés.

4.2.2.3 Calcul du nombre annuel de cas N

Le nombre annuel de cas de salmonellose humaine $N(H)$ (où $H = \{\text{viande fraîche, saucisse à cuire, salaison}\}$) est obtenu par la formule suivante:

$$N(Fr, Mat) = \text{FreqConso}(H) / \text{portion}(H) \times \text{Pillness}(H) \times \text{Pop} \times 365$$

Où $\text{FreqConso}(H)$ est la quantité consommée quotidiennement de chaque produit H (en g/jour/personne), $\text{portion}(H)$ est la taille moyenne de chaque portion consommée (en g), $\text{Pillness}(H)$ la probabilité d'être malade associée à la consommation d'une portion parmi 10 000 portions simulées d'un des trois produits et Pop la population totale.

La quantité journalière consommée de chaque produit, est obtenue avec les données de l'enquête INCA3 (Dubuisson *et al.*, 2017).

Les estimations reportées dans le tableau 23, pour la France, concernent le nombre annuel total de cas attribués à la consommation de viande fraîche de porc, de salaison, de chair à saucisse à cuire, qui est estimé à 43 000 cas de salmonellose.

Tableau 23. Calcul du nombre de cas annuels de salmonellose humaine pour les Etats membres testés dans le modèle EFSA 2010 (MS1, MS2, MS3, MS4) et pour la France

		Quantité journalière consommée [g/jour/personne]	Taille de portion (g)	Population	Pill pour une portion SIPFR	Nombre de cas annuel moyen SIPFR
MS1	Viande fraîche	33	146	8 200 000	7,65E-07	518
	Chair à saucisse à cuire	2,55	125		8,84E-07	54
	Salaison	10	150		1,87E-06	373
MS2	Viande fraîche	3,5	146	60 200 000	1,86E-05	9 798
	Chair à saucisse à cuire	2,83	125		2,24E-05	11 143
	Salaison	0,69	150		4,25E-05	4 296
MS3	Viande fraîche	43	200	38 100 000	3,88E-07	1 160
	Chair à saucisse à cuire	4,34	77		2,32E-07	182
	Salaison	2,25	110		5,78E-07	164
MS4	Viande fraîche	28,6	200	10 200 000	2,55E-06	1 358
	Chair à saucisse à cuire	4,48	77		2,58E-07	56
	Salaison	8,56	110		4,29E-06	1 243
France	Viande fraîche	47,9	111,8	67 186 638 ⁷	7,80E-07	8 197
	Chair à saucisse à cuire	41,01	77,7		9,12E-07	11 800
	Salaison	14,35	28,7		1,88E-06	23 003

4.2.2.4 Calcul du risque de référence R_{ref}

Le risque de référence, noté R_{ref} , est la probabilité de salmonellose humaine suite à la consommation d'une portion d'un des 3 produits ($P_{illness}$) calculée sans appliquer d'intervention dans le modèle.

4.2.3 Validation de l'approche avec les données existantes

La prévalence estimée, à chaque fin de module du modèle SiPFR, peut être utilisée pour valider l'approche et les paramètres choisis. En effet, certaines données de prévalence d'infection par *Salmonella* spp., en filière porcine, sont disponibles en France et permettent de valider l'approche retenue par le groupe de travail.

⁷ Source : Insee, estimations de population (résultats provisoires à fin 2017). Champ : France inclus Mayotte.

4.2.3.1 Prévalence

Le niveau de prévalence estimé par le modèle, après l'attente à l'abattoir, est en moyenne de 12% (IC 95% = 8% - 35%). Cette estimation est comparée à la prévalence en fin d'attente calculée pour la France pour l'étude de référence de l'EFSA (EFSA 2008) qui est de 18,1% en moyenne (IC 95% : 16% - 20,5%). La prévalence estimée à la fin de chaque module du modèle SiPFR, ainsi que la séroprévalence avant le transport des porcs vers l'abattoir, sont très proches des valeurs observées en production.

D'autre part, les estimations indiquées dans le rapport de l'INRA sur la séroprévalence des porcs à l'élevage conduisent à une valeur de 4%. Le niveau de prévalence estimé par le modèle européen avec les paramètres français avant transport à l'élevage est estimé en moyenne à 3,8 % (IC 95% = 3% - 15%).

Les évolutions de pratiques d'élevage, ces dernières années, pourraient expliquer le niveau de prévalence plus faible obtenu par le modèle, par rapport à l'étude de référence de l'EFSA (EFSA, 2008). Ces comparaisons permettent néanmoins de vérifier la pertinence du paramétrage du modèle européen pour la France.

4.2.3.2 Nombre de cas humains estimés

Comme vu précédemment, le groupe de travail a estimé qu'en France 62 400 cas de salmonellose humaine seraient liés à la consommation de produits porcins, en combinant le nombre de salmonelloses par transmission alimentaire en France évalué à 183 002 cas par Van Cauteren *et al.* (2018) et les estimations en termes de source attribution faites par Pires *et al.* (2014) selon lesquelles 34,1% des salmonelloses humaines seraient liées à la consommation de porc chaque année.

Selon le modèle utilisé par le groupe de travail, le nombre annuel de cas liés à la consommation des trois produits étudiés serait de 43 000 (8 197 cas liés à la consommation de viande fraîche + 11 800 cas liés à la consommation de saucisse fraîche à cuire + 23 003 cas liés à la consommation de salaisons).

La comparaison de ces deux estimations (62 400 cas vs 43 000 cas) permet de vérifier la pertinence des estimations du modèle. La différence entre ces deux estimations pourrait, en partie, s'expliquer par le fait que le modèle ne prend pas en compte l'ensemble des produits à base de porc consommés en France (sous-estimation du nombre de cas).

4.3 Choix des interventions à tester au cours de la modélisation

Les scénarios testés (tableau 24) sont les suivants :

a. Au maillon élevage

- Le scénario PREVREPRO teste l'effet de la réduction de la prévalence de *Salmonella* spp. dans le cheptel reproducteur de 0,5 à 0,25 ;
- le scénario SC1 teste l'effet de valeurs de réductions décimales de la concentration en *Salmonella* spp., en log d'UFC/g de fèces, en fin d'élevage (de 0,1 à 2 réductions décimales) ;
- le scénario ALAN0 teste l'impact d'une prévalence en *Salmonella* spp. nulle dans les aliments destinés aux animaux ;
- le scénario PIL0.1 teste l'impact, en termes d'une réduction du risque, si la prévalence intra-lot (en présence/absence de *Salmonella* spp. dans les fèces) est abaissée à 0,1 ;
- le scénario AH (aliment humide) teste l'impact, en termes d'une réduction du risque, d'une alimentation des porcs uniquement sous une forme humide.

b. Au maillon abattoir

- le scénario AL (abattage logistique) teste l'impact, en termes d'une réduction du risque, de l'abattage systématique des lots fortement contaminés, en fin de journée ;
- le scénario SC2 teste l'effet de valeurs de réductions décimales de la concentration en *Salmonella* spp., en log d'UFC/unité de surface de carcasse échantillonnée, mesurée en sortie de flambage (de 0,1 à 2 réductions décimales) ;
- le scénario SC3 teste l'effet de valeurs de réductions décimales de la concentration en *Salmonella* spp., en log d'UFC/ unité de surface de carcasse échantillonnée, mesurée en fin de refroidissement (de 0,1 à 2 réductions décimales) ;
- le scénario SC4 teste l'effet de valeurs de réductions décimales de la concentration en *Salmonella* spp., en UFC/g de produits (c'est-à-dire viande fraîche, chair à saucisse à cuire ou saucisse sèche) avant consommation (de 0,1 à 2 réductions décimales).

c. Combinaisons de mesures

- le scénario SCG teste l'impact, en termes d'une réduction du risque, de 0,5 réduction décimale de la concentration en *Salmonella* spp. à la sortie de chaque module (élevage, abattoir et consommateur), associé à une alimentation humide des animaux et à un abattage logistique systématique ;
- le scénario SCGbis teste l'impact, en termes d'une réduction du risque, de 0,5 réduction décimale, de la concentration en *Salmonella* spp. à la sortie de chaque module (élevage, abattoir et consommateur).

Il convient de noter que tous les modules n'ont pas fait l'objet d'un scénario d'intervention.

Tableau 24. Description des scénarios d'interventions évalués

Identification du scénario		Module et/ou produit concernés	Réduction décimale ou de prévalence
PREVREPRO		Cheptel reproducteur	P = 0,25
ALAN0		Prévalence alimentation animale nulle	P = 0
SC1	SC1-1	Porc / fin d'élevage	RD = 0,1
	SC1-2	Porc / fin d'élevage	RD = 0,25
	SC1-3	Porc / fin d'élevage	RD = 0,5
	SC1-4	Porc / fin d'élevage	RD = 1
	SC1-5	Porc / fin d'élevage	RD = 2
PIL0.1		Abaissement de la prévalence intra lot à 0,1 (au lieu de 0,5)	P = 0,1
AH		Elevage - alimentation animale uniquement humide (100% alimentation humide)	
AL		Abattage logistique (abattage des lots fortement contaminés en fin de journée)	
SC2	SC2-1	Carcasse après flambage	RD = 0,1
	SC2-2	Carcasse après flambage	RD = 0,25
	SC2-3	Carcasse après flambage	RD = 0,5
	SC2-4	Carcasse après flambage	RD = 1
	SC2-5	Carcasse après flambage	RD = 2
SC3	SC3-1	Carcasse entière en fin d'abattage (sortie refroidissement)	RD = 0,1
	SC3-2	Carcasse entière en fin d'abattage (sortie refroidissement)	RD = 0,25
	SC3-3	Carcasse entière en fin d'abattage (sortie refroidissement)	RD = 0,5
	SC3-4	Carcasse entière en fin d'abattage (sortie refroidissement)	RD = 1
SC4	SC4-1	Produit fini	RD = 0,1
	SC4-2	Produit fini	RD = 0,25
	SC4-3	Produit fini	RD = 0,5
	SC4-4	Produit fini	RD = 1
SCG		0,5 réduction décimale à chaque module + AH + AL	RD 0,5 + AL + AH
SCGbis		0,5 réduction décimale après chaque module	RD = 0,5

4.4 Résultat de la modélisation - Evaluation de l'impact des mesures et des programmes de maîtrise sur la réduction du risque de salmonellose humaine

Dans un premier temps, et même si ce n'est pas l'objectif des travaux, la comparaison du risque de référence associé à la consommation de chacun des trois types de produits étudiés permet de noter que le risque moyen de salmonellose humaine associé à la consommation de salaison ($R_{ref\ sal} = 1,88 \times 10^{-6}$) est deux fois plus important que celui associé à la consommation de chair à saucisse ($R_{ref\ csau} = 9,12 \times 10^{-7}$), qui est lui-même du même ordre de grandeur que le risque associé à la consommation de viande fraîche de porc ($R_{ref\ csau} = 7,8 \times 10^{-7}$).

Le risque de salmonellose humaine associé à la consommation de saucisson est supérieur à celui associé à la consommation des deux autres produits. Ceci est lié à l'absence de cuisson du produit de salaison. Ainsi, en l'absence de cuisson, le risque associé à la consommation de chair à saucisse passe de l'ordre 10^{-7} à un risque d'infection de l'ordre 10^{-4} et celui de la viande fraîche passe de l'ordre 10^{-7} à un risque d'infection de l'ordre 10^{-5} . L'impact de la cuisson, sur les deux produits est illustré sur la figure 15 (exemple de l'impact de la cuisson sur la viande fraîche de porc pendant le module de consommation).

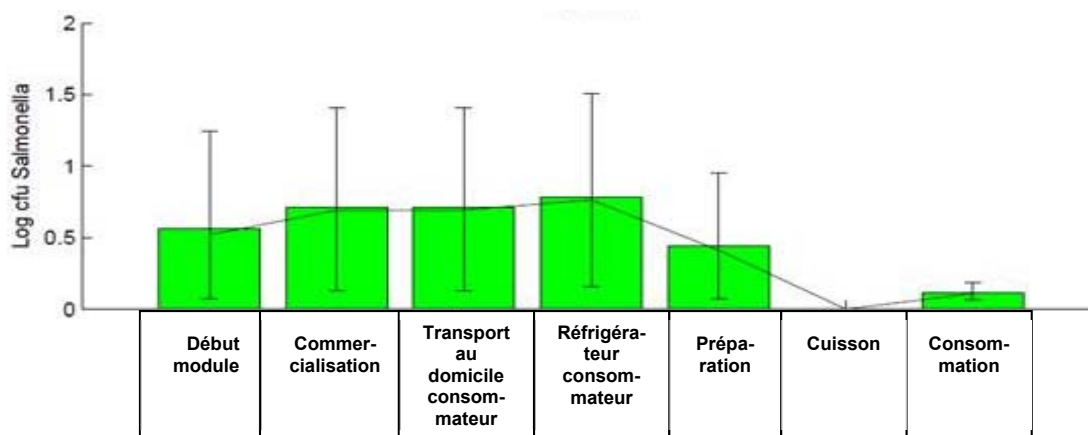


Figure 15. Evolution de la concentration en salmonelles sur une portion de viande fraîche de porc, pendant le module consommation

La réduction observée du risque relatif suite à la mise en œuvre des différents scénarios est reportée dans le tableau 25.

Tableau 25 : Effet des scénarios testés sur le risque relatif pour les produits « chair à saucisse à cuire », « viande fraîche de porc » et « salaison »

Scénario		% Red Risque pour la chair à saucisse à cuire	% Red Risque pour la viande fraîche de porc	% Red Risque pour les salaisons
PREVREPRO		58	53	65
ALANO		13	11	13
AH		3	5	16
PILO,1		75	73	70
SC1	SC1-1	3	3	10
	SC1-2	5	7	13
	SC1-3	6	7	14
	SC1-4	8	8	15
	SC1-5	11	13	17
AL		9	8	13
SC2	SC2-1	0	0	0
	SC2-2	0	6	5
	SC2-3	10	6	16
	SC2-4	12	9	17
	SC2-5	12	10	18
SC3	SC3-1	37	26	30
	SC3-2	40	26	33
	SC3-3	59	65	89
	SC3-4	76	90	99
SC4	SC4-1	4	5	7
	SC4-2	7	10	11
	SC4-3	31	31	13
	SC4-4	47	40	14
SCG		95	97	99
SCGbis		76	89	89

Ainsi, en élevage (SC1), l'application des réductions décimales de 0,1- 0,25 - 0,5 - 1 ou 2 logs n'entraîne pas des réductions importantes du risque relatif pour le consommateur. Par exemple, sur les produits de salaisons, les réductions prévisibles du risque relatif pour le consommateur, varient de 10% à 17% en fonction de la réduction décimale appliquée. De même, la mise en place, en élevage, d'une alimentation des porcs avec un aliment humide (AH) ou d'un abattage logistique (AL), ne permet pas d'obtenir des taux de réduction très élevés du risque relatif pour le consommateur (par exemple respectivement 16% et 13% pour les produits de salaison). De même, réduire la prévalence de *Salmonella* spp. à zéro dans les aliments destinés aux porcs (ALANO) n'entraîne pas une réduction importante du risque relatif pour le consommateur (10 à 13% en fonction des produits concernés). En revanche, le scénario (PREVREPRO) prévoyant une diminution de la prévalence de *Salmonella* spp. dans le cheptel des porcs reproducteurs de 0,5 à 0,25 % permet d'obtenir une réduction relative de 53 à 65% en fonction du produit considéré.

La réduction de la contamination des carcasses obtenue après le module Abattoir (SC3) entraîne une forte réduction du risque relatif de contamination des portions, quel que soit le produit concerné ; par exemple, pour les salaisons, la réduction du risque relatif est de 30% lorsque l'on applique 0,1 réduction décimale et de 99% lorsque l'on applique 1 réduction décimale. Les moyens pour atteindre ces objectifs en abattoir sont à la fois préventifs et curatifs visant, pour les premiers, à minimiser les transferts de salmonelles sur les carcasses et, pour les seconds, à inactiver les salmonelles qui ont été transférées lors de ce module ou des modules précédents. Le modèle n'a pas testé individuellement chaque intervention possible à l'abattoir (sauf pour l'étape du double flambage) sachant qu'il s'agit d'une succession d'opérations dont le résultat n'est pas strictement indépendant des autres. De plus, certaines interventions potentielles d'ordre général comme « améliorer la mise en œuvre et la surveillance des BPH » semblent efficaces mais délicates à objectiver. En

outre, il est raisonnable de penser que l'efficacité globale du module abattoir n'est pas entièrement indépendante des efforts réalisés dans les modules précédents pour réduire la pression de contamination par les salmonelles.

De fait, les scénarios combinant plusieurs interventions se sont révélés très intéressants. Ainsi, le scénario SCG, combinant une alimentation humide, un abattage logistique et une réduction décimale de 0,5 de la contamination des carcasses à la fin des opérations d'abattage permet d'obtenir une réduction relative de 95, 97 et 99% respectivement pour les produits de chair à saucisse, de viande fraîche et de salaisons. De même, le scénario SCGbis, correspondant à une réduction décimale de 0,5 dans chaque module, permettrait d'obtenir des réductions de risque relatif de 76, 89 et 88% respectivement pour les produits de chair à saucisse, de viande fraîche et de salaisons.

En conclusion, les scénarios testés montrent que les interventions proposées ont des conséquences différentes sur la réduction du risque pour les consommateurs, quel que soit le produit concerné. Certains, mis en place individuellement, notamment sur le module élevage, ont peu d'influence. D'autres, au contraire, appliqués à l'abattoir, permettent d'obtenir des réductions très significatives du risque relatif. Enfin, les scénarios les plus efficaces sont ceux combinant des interventions appliquées tant à l'élevage qu'à l'abattoir. Ainsi, 0,5 réduction décimale après chaque module (élevage, transport-attente et abattoir), appliquée sur l'ensemble de la production porcine française, permettrait de réduire de 75 à 90% le risque relatif de salmonellose humaine liée à la consommation de ces produits.

4.5 Prise en compte des incertitudes

4.5.1 Incertitudes liées aux données disponibles sur l'efficacité des mesures de maîtrise en filière

La revue bibliographique approfondie menée par le groupe de travail, qui complète celle effectuée par le consortium FCC en 2010, a mis en évidence un niveau d'incertitude important, associé aux données d'efficacité des mesures de maîtrise, parmi lesquelles :

- le faible nombre d'études récentes disponibles ;
- le nombre non-négligeable d'études jugées à niveau de preuve non satisfaisant (biais méthodologique principalement) ;
- le manque de données de quantification, en conditions autres qu'expérimentales ;
- le fait que de nombreuses mesures de maîtrise et leurs efficacités potentielles sur *Salmonella* spp. ne sont pas évaluées (ou les données relatives à l'évaluation de leur efficacité ne sont pas disponibles/accessibles).

Ces données limitent la possibilité de conclure, à un niveau quantitatif, sur l'efficacité associée aux mesures de maîtrise identifiées, et donc d'identifier les leviers d'action à mettre en place pour la maîtrise des salmonelles.

La collecte des données utilisées par le groupe de travail a reposé, en partie, sur des extractions de publications/articles sélectionnées au moyen des bases de données Scopus et Pubmed, ainsi que des données des experts membres du groupe (certaines provenant de la littérature grise) : il convient donc de noter qu'une incertitude peut être associée à la non exhaustivité des données collectées sur l'efficacité des mesures de maîtrise ainsi que sur les valeurs de paramètres du modèle (biais de publication).

4.5.2 Incertitude liée aux données utilisées pour modéliser la filière et le comportement de *Salmonella* spp.

Le rapport du consortium FCC et l'avis de l'EFSA publié en 2010 font état d'un haut niveau d'incertitude sur les hypothèses de modélisation utilisées à ce moment. Par son travail de paramétrage, le groupe de travail a probablement limité certaines incertitudes sur les paramètres du modèle, mais celles relatives à la structure et à l'approche générale de modélisation restent inchangées (cf. identification des incertitudes du rapport du consortium pour le détail des éléments identifiés).

Enfin, l'absence de données récentes de surveillance nationale (publiques et privées), aux différents maillons de la filière porcine, limite les interprétations et la capacité de valider les sorties du modèle et ainsi de conclure véritablement quant à l'efficacité des scénarios d'intervention testés.

5 Conclusions du groupe de travail

5.1 État des lieux des connaissances sur l'efficacité des mesures de maîtrise pouvant être mises en œuvre dans la filière et évaluation de leur impact sur la réduction du risque pour le consommateur

Le groupe de travail a conduit une revue approfondie des publications scientifiques disponibles entre 2010 et 2016 : aucune avancée technologique significative dans la maîtrise des salmonelles dans la filière porcine n'a été identifiée.

La filière porcine a été étudiée selon les modules suivants : élevage, transport et attente, abattoir et transformation, consommateur.

Différentes actions sont, dès à présent, menées lors des étapes d'élevage, de transport, d'attente, d'abattage et de transformation des porcs, notamment par la mise en place de mesures de bonnes pratiques d'hygiène.

L'élevage constitue la principale voie d'introduction des salmonelles dans la chaîne alimentaire. Les vecteurs d'introduction sont multiples, sans qu'il soit possible de les hiérarchiser. Cependant, les animaux reproducteurs et l'aliment distribué peuvent être considérés comme des voies principales d'introduction des salmonelles dans l'élevage. Par la suite, la période d'élevage doit être considérée comme une étape de multiplication et de dissémination des salmonelles entre les animaux et dans le bâtiment.

Pour le volet élevage, les mesures de maîtrise suivantes ont un impact favorable :

- ✓ Dans l'aliment :
 - une transformation physique de l'aliment en particulier si les matières premières ou les aliments composés ne subissent pas un traitement thermique permettant la destruction de *Salmonella* spp. Ainsi, l'alimentation sous forme liquide (soupe) semble un élément protecteur vis-à-vis de la contamination par *Salmonella* spp., mais ce type d'aliments ne peut pas être distribué à tous les stades physiologiques des animaux.
 - l'ajout d'acide(s) organique(s) dans l'aliment.
- ✓ L'application des mesures de biosécurité, en se référant au GBPH à l'élevage.
- ✓ La vaccination : cette mesure n'est pas appliquée en France, car elle n'est pas autorisée à ce jour. De plus, son efficacité se limiterait probablement au seul sérovar ciblé par le vaccin alors que plusieurs d'entre eux prédominent dans la filière porcine (en particulier *S. Typhimurium* et son variant monophasique ainsi que *S. Derby*).

L'attente et le transport vers l'abattoir sont des étapes importantes car sources de stress pour les animaux, entraînant une excrétion fécale, une dissémination de *Salmonella* spp. dans l'environnement et une contamination des autres animaux. Les mesures suivantes semblent efficaces pour réduire la contamination des porcs par *Salmonella* spp. :

- ✓ Une durée de transport, de l'élevage jusqu'à l'abattoir, la plus courte possible.
- ✓ Une durée d'attente, à l'abattoir, la plus courte possible, sous réserve de respecter les deux heures de repos exigées par la réglementation.
- ✓ L'abattage logistique des animaux (les lots d'animaux étant abattus successivement en fonction de leur niveau de contamination) pourrait être avantageux sous réserve que :
 - celui-ci soit précédé d'un ramassage des lots à la ferme en fonction du statut vis-à-vis de *Salmonella* spp. des lots d'animaux à abattre ;
 - qu'il y ait une gestion séparée des lots négatifs et des lots positifs de l'élevage jusqu'à l'abattoir (camions et cases d'attente attribués selon le statut du lot), suivi d'un abattage, en priorité, des animaux reconnus indemnes de *Salmonella* spp. ;
 - que les opérations de nettoyage et de désinfection des aires de stockage, des quais d'embarquement, des camions, des quais de déchargement, des cases d'attente, et de l'abattoir, soient rigoureusement et fréquemment réalisées.

L'abattoir est un lieu favorable à la dissémination des salmonelles par les outils, le matériel et en raison de pratiques inadéquates, par exemple lors d'accidents d'éviscération.

Au cours de ce processus, certaines opérations ont cependant un effet de réduction de la contamination des carcasses. En ce sens, les mesures suivantes semblent efficaces pour réduire la contamination par *Salmonella* spp. :

- ✓ Le double flambage : 0,5 réduction décimale de la contamination.
- ✓ L'application d'un traitement au lactate de potassium ou d'une solution d'acide citrique et de chlorite de sodium. Cependant, à ce jour, le traitement chimique des carcasses n'est pas autorisé.
- ✓ L'application d'un lavage des carcasses avant le refroidissement, notamment avec de l'eau chaude.

Ces mesures seront d'autant plus efficaces que :

- Les opérations de nettoyage et de désinfection, sur l'ensemble du module (des cases d'attente aux chambres froides utilisées pour le refroidissement et le stockage) seront rigoureusement réalisées et surveillées ;
- Les opérations potentiellement contaminantes du diagramme d'abattage seront conduites conformément aux bonnes pratiques d'hygiène afin de limiter cette contamination.

Pour le volet 2^{ème} et 3^{ème} transformation, les mesures suivantes semblent efficaces pour réduire la concentration en salmonelles :

- ✓ L'utilisation de différents procédés chimiques : utilisation de nitrites/nitrates ou application d'une solution d'acide lactique, dans le respect des réglementations en vigueur.
- ✓ Le conditionnement sous vide ou sous atmosphères modifiées, ralentissant la multiplication des salmonelles.
- ✓ Les traitements par hautes pressions hydrostatiques sur les pièces de découpe ou les produits finis s'avèrent efficaces pour réduire la concentration en salmonelles.
- ✓ L'ionisation, procédé soumis à autorisation, pourrait également s'avérer efficace, mais demeure un verrou sociétal et réglementaire.

Pour le volet distribution, les experts n'ont connaissance d'aucune nouvelle publication mais ils rappellent que les mesures suivantes sont reconnues pour leur efficacité :

- ✓ Les conditions de conservation (maintien de la chaîne du froid notamment).
- ✓ Eviter les transferts de contaminations pour les produits nus ou en vrac (non protégés par l'emballage).

Pour le volet consommateur, le seul article identifié par le groupe de travail porte sur l'impact favorable de la cuisson.

5.2 Définition des points de gestion prioritaires pour maîtriser le risque de salmonellose pour le consommateur, en se basant sur une modélisation intégrée (c'est-à-dire sur l'ensemble des maillons de la filière) inspirée du modèle d'appréciation quantitative du risque (AQR) de l'EFSA en 2010

⇒ Résultats du modèle

Le modèle a permis de tester différents scénarios faisant l'hypothèse d'une réduction de prévalence de portage ou de concentration en *Salmonella* spp. aux différentes étapes de la filière porcine.

Les scénarios testés montrent que les interventions proposées ont des conséquences différentes sur la réduction du risque pour les consommateurs, quel que soit le produit concerné. Certains scénarios, mis en place sur un seul module, ont peu d'influence, avec moins de 20% de réduction du risque relatif. D'autres, au contraire, par exemple appliqués au niveau de l'abattoir, permettent d'obtenir des réductions plus importantes. Néanmoins, les scénarios les plus efficaces sont ceux combinant des interventions appliquées tant au niveau de l'élevage que de l'abattoir. Ainsi, une réduction décimale de 0,5 après chaque module (élevage, transport-attente et abattoir), appliquée sur l'ensemble de la production porcine française, permettrait de réduire de 75 à 90% le risque relatif de salmonellose humaine liée à la consommation de ces produits.

⇒ Limites du modèle

Les résultats de cette modélisation doivent être considérés au regard des incertitudes qui les accompagnent. Celles-ci sont liées à la disponibilité et à la qualité des données nécessaires pour la modélisation (notamment la disponibilité de données quantitatives d'excrétion/contamination) ainsi qu'aux hypothèses de

modélisation. Pour autant, ces résultats permettent de tester des hypothèses d'interventions dans la filière. Tous ces résultats devront être confirmés par la conduite d'études sur le terrain.

De plus, il faut noter que la mise en place de certaines pratiques n'est pas connue avec précision. Ainsi, il est en général difficile d'évaluer si une intervention est déjà mise en place et dans quelle mesure elle est appliquée et, par conséquent, quel serait son effet réel si elle était appliquée de façon systématique.

5.3 Considération finale

Parmi l'ensemble des mesures de maîtrises identifiées par le groupe de travail, il faut souligner que très peu d'entre elles sont spécifiques à la maîtrise des salmonelles. Toutes ces mesures relèvent de l'application des principes de l'hygiène et des bonnes pratiques tout au long de la chaîne alimentaire et elles s'appliquent donc à la majorité des agents pathogènes. Les seules mesures spécifiques à *Salmonella* spp. identifiées par le groupe de travail sont la vaccination et l'abattage logistique, avec les limites présentées précédemment.

6 Recommandations de l'expertise collective

Les recommandations présentées ci-dessous ne sont pas hiérarchisées.

R1 – Un plan national de maîtrise de *Salmonella* spp. en filière porcine impliquant tous les acteurs de la chaîne alimentaire, sans exception, devrait être mis en place. En effet, comme le montrent les résultats du modèle, pour obtenir une forte diminution du risque relatif, il conviendrait de combiner des interventions appliquées à chacune des étapes de la filière.

R2 - Une meilleure connaissance des sources de salmonellose humaine est nécessaire (étude d'attribution (Anses 2017)). En effet, cette maladie n'est pas uniquement liée à la consommation de produits issus de porcs élevés en France. Les produits importés et d'autres aliments peuvent également en être la cause. Les résultats présentés dans ce rapport doivent donc être compris comme ne représentant qu'une proportion des cas de salmonellose humaine.

R3 - La validation et la vérification de la mise en œuvre des GBPH à l'élevage et lors des transformations, devraient être renforcées.

R4 – L'élaboration d'un GBPH relatif au transport et à l'abattage des porcs est recommandée.

R5 – Toutes les démarches organisées et planifiées dans les entreprises visant à améliorer l'hygiène des opérations devraient être encouragées : les opérations de nettoyage et de désinfection (locaux, matériels) ne sont pratiquement jamais incluses formellement dans les diagrammes des opérations. Or, cette absence ne doit pas conduire à sous-estimer leur nécessité car il s'agit d'opérations très importantes visant à obtenir quotidiennement la propreté microbiologique des surfaces et des matériels. La validation, la surveillance et la vérification des opérations de nettoyage et de désinfection sont donc des points clés qu'il convient de ne pas négliger.

R6 – Une nouvelle enquête sur la situation vis-à-vis de *Salmonella* spp. (prévalence, niveau de contamination) dans la filière porcine en France devrait être conduite et suivie d'une surveillance régulière.

R7 – Le statut sanitaire des porcs vis-à-vis de *Salmonella* spp., notamment des animaux reproducteurs, devrait être amélioré : la réduction du portage et de la contamination, avant l'abattage participent à la maîtrise des salmonelles à l'abattoir, de même que la logistique d'abattage (les lots positifs devraient être abattus en fin de journée).

R8 : Le groupe de travail rappelle l'importance de la cuisson à cœur notamment pour les produits de porc et en particulier pour les produits de saucisserie (cuisine domestique et collective).

R9 - Lors de la revue bibliographique, il a été noté que la plupart des études ne contiennent pas de données quantitatives de prévalence ou de concentrations. Les interventions qui n'ont fait l'objet que d'une étude n'ont pas été retenues. Le groupe de travail émet donc des recommandations pour l'acquisition de données concernant plus particulièrement les points suivants :

- ✓ A l'élevage :
 - l'effet de la vaccination des animaux mériterait un effort de recherche important ;
 - acquérir de données nationales permettrait de mieux renseigner les modèles existants.
- ✓ A l'abattoir :
 - a l'étape d'attente ;
 - a l'étape d'échaudage ;
 - pour évaluer l'efficacité, ou non, des systèmes actuels par trempage, sur la contamination des carcasses par salmonelles ;
 - pour comparer les pratiques d'échaudage en bac ou en « caisson vapeur »
 - a l'étape du flambage (double flambage),
 - a l'étape d'éviscération,
 - au lavage avant refroidissement.

Date de validation de la première partie du rapport d'expertise collective par le groupe de travail: 07/05/2018

Date de validation de l'ensemble du rapport d'expertise collective par le groupe de travail: 08/07/2018

7 Bibliographie

7.1 Publications

- Aarnink, A. J., J. W. Schrama, M. J. Heetkamp, J. Stefanowska, et T. T. Huynh. 2006. "Temperature and body weight affect fouling of pig pens." *J Anim Sci* 84 (8):2224-31. doi: 10.2527/jas.2005-521.
- AFSSA, Denis. M, Fablet. A, Houard. E, Tircot. A, et Fravalo. P. 2009a. "Etude d'estimation de la prévalence de l'infection par *Salmonella* spp. dans les exploitations de porcs reproducteurs (Enquête Européenne). Rapport Final délivré à la DGAL." ; . 18.
- AFSSA, Denis. M, Fablet. A, Houard. E, Tircot. A, et Fravalo. P. 2009b. "Etude d'estimation de la prévalence de l'infection par *Salmonella* spp. des porcs charcutiers dans les élevages de production (Enquête DGAL). Rapport Final délivré à la DGAL." ; . 7.
- Almeida, Cevallos, Houdayer, Bailly, Paboeuf, Fablet, Devis, et Kerouanton. 2017. "Dynamique de l'excrétion et de la réponse immunitaire des porcs infectés expérimentalement avec le variant monophasique de *Salmonella* Typhimurium sérovar 1,4[5],12:i:-."
- ANSES. 2014. "AVIS de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif au risque d'émergence de la diarrhée épidémique porcine (DEP) due à un nouveau variant du virus de la DEP en France 2014-SA-0087." Maisons-Alfort: ANSES.
- ANSES. 2017. "Attribution des sources des maladies infectieuses d'origine alimentaire. Partie 1 : Revue des méthodes et inventaire des données".
- ANSES. 2018. "*Salmonella* spp. en alimentation animale - RAPPORT d'expertise collective- Saisine 2016-SA-0029."
- Argüello, H., A. Carvajal, A. Álvarez-Ordóñez, H. A. Jaramillo-Torres, et P. Rubio. 2014. "Effect of logistic slaughter on *Salmonella* contamination on pig carcasses." *Food Research International* 55:77-82. doi: 10.1016/j.foodres.2013.10.041.
- Arguello, H., A. Carvajal, S. Costillas, et P. Rubio. 2013. "Effect of the addition of organic acids in drinking water or feed during part of the finishing period on the prevalence of *Salmonella* in finishing pigs." *Foodborne Pathog Dis* 10 (10):842-9. doi: 10.1089/fpd.2013.1497.
- Arguello, H., A. Carvajal, G. Naharro, et P. Rubio. 2013. "Evaluation of protection conferred by a *Salmonella* Typhimurium inactivated vaccine in *Salmonella*-infected finishing pig farms." *Comp Immunol Microbiol Infect Dis* 36 (5):489-98. doi: 10.1016/j.cimid.2013.05.002.
- Arnold, M. E., et A. J. Cook. 2009. "Estimation of sample sizes for pooled faecal sampling for detection of *Salmonella* in pigs." *Epidemiol Infect* 137 (12):1734-41. doi: 10.1017/s0950268809002702.
- Baptista, F. M., L. Alban, L. R. Nielsen, I. Domingos, C. Pomba, et V. Almeida. 2010. "Use of herd information for predicting *Salmonella* status in pig herds." *Zoonoses Public Health* 57 Suppl 1:49-59. doi: 10.1111/j.1863-2378.2010.01354.x.
- Bearson, B. L., S. M. Bearson, et J. D. Kich. 2016. "A DIVA vaccine for cross-protection against *Salmonella*." *Vaccine* 34 (10):1241-6. doi: 10.1016/j.vaccine.2016.01.036.
- Beloëil, P. A., C. Chauvin, K. Proux, F. Madec, P. Fravalo, et A. Alioum. 2004. "Impact of the *Salmonella* status of market-age pigs and the pre-slaughter process on *Salmonella* caecal contamination at slaughter." *Vet Res* 35 (5):513-30. doi: 10.1051/vetres:2004028.
- Belœil, P. A., P. Fravalo, C. Fablet, J. P. Jolly, E. Eveno, Y. Hascoet, C. Chauvin, G. Salvat, et F. Madec. 2004. "Risk factors for *Salmonella* enterica subsp. enterica shedding by market-age pigs in French farrow-to-finish herds." *Prev Vet Med* 63 (1):103-120. doi: https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2004.01.010.
- Berends, B. R., H. A. Urlings, J. M. Snijders, et F. Van Knapen. 1996. "Identification and quantification of risk factors in animal management and transport regarding *Salmonella* spp. in pigs." *Int J Food Microbiol* 30 (1-2):37-53.
- Bin, Shan, Cai Yi-Zhong, Brooks John D, et Corke Harold. 2009. "Antibacterial and antioxidant effects of five spice and herb extracts as natural preservatives of raw pork." *J Sci Food Agric* 89 (11):1879-1885. doi: doi:10.1002/jsfa.3667.

- Bollaerts, K. E., W. Messens, L. Delhalle, M. Aerts, Y. Van der Stede, J. Dewulf, S. Quoilin, D. Maes, K. Mintiens, et K. Grijspeerdt. 2009. "Development of a quantitative microbial risk assessment for human salmonellosis through household consumption of fresh minced pork meat in Belgium." *Risk Anal* 29 (6):820-40. doi: 10.1111/j.1539-6924.2009.01223.x.
- Bollaerts, K., W. Messens, M. Aerts, J. Dewulf, D. Maes, K. Grijspeerdt, et Y. Van der Stede. 2010. "Evaluation of scenarios for reducing human salmonellosis through household consumption of fresh minced pork meat." *Risk Anal* 30 (5):853-65. doi: 10.1111/j.1539-6924.2010.01368.x.
- Boughton, C., J. Egan, G. Kelly, B. Markey, et N. Leonard. 2007. "Rapid infection of pigs following exposure to environments contaminated with different levels of *Salmonella typhimurium*." *Foodborne Pathog Dis* 4 (1):33-40. doi: 10.1089/fpd.2006.58.
- Calveyra, J. C., M. G. Nogueira, J. D. Kich, L. L. Biesus, R. Vizzotto, L. Berno, A. Coldebella, L. Lopes, N. Morés, G. J. M. M. Lima, et M. Cardoso. 2012. "Effect of organic acids and mannanoligosaccharide on excretion of *Salmonella typhimurium* in experimentally infected growing pigs." *Res Vet Sci* 93 (1):46-47. doi: 10.1016/j.rvsc.2011.08.018.
- Cardinale, E., S. Maeder, V. Porphyre, et M. Debin. 2010. "Salmonella in fattening pigs in Reunion Island: herd prevalence and risk factors for infection." *Prev Vet Med* 96 (3-4):281-5. doi: 10.1016/j.prevetmed.2010.06.006.
- Cardinale, E., F. Tall, E. F. Gueye, M. Cisse, et G. Salvat. 2004. "Risk factors for *Salmonella enterica* subsp. *enterica* infection in senegalese broiler-chicken flocks." *Prev Vet Med* 63 (3-4):151-61. doi: 10.1016/j.prevetmed.2004.03.002.
- Casanova-Higes, A., S. Andres-Barranco, et R. C. Mainar-Jaime. 2017. "Influence of On-farm pig *Salmonella* status on *Salmonella* Shedding at Slaughter." *Zoonoses Public Health* 64 (5):328-336. doi: 10.1111/zph.12301.
- Chen, C. H., S. Ravishankar, J. Marchello, et M. Friedman. 2013. "Antimicrobial activity of plant compounds against *Salmonella Typhimurium* DT104 in ground pork and the influence of heat and storage on the antimicrobial activity." *J Food Prot* 76 (7):1264-9. doi: 10.4315/0362-028x.Jfp-12-493.
- Chevillon, P., Corrége, I., Rugraff, Y. 1998. "Réaliser un nettoyage-désinfection efficace des camions de transport des porcs vivants." *Techni-porc* 21 (4):3.
- Chevillon, P., Vautier, A., Guillard, A.-S., Gilbert, E., Lebret, B., Terlouw, C., Foury, A., Mormède, P. 2005. "Modes d'élevage alternatifs des porcs : 1. Effets sur les performances de croissance et les qualités des carcasses et des viandes et l'aptitude à la transformation en jambons cuits et secs. ." *37èmes Journées de la Recherche Porcine*:9.
- Chu, G. M., C. K. Jung, H. Y. Kim, J. H. Ha, J. H. Kim, M. S. Jung, S. J. Lee, Y. Song, R. I. Ibrahim, J. H. Cho, S. S. Lee, et Y. M. Song. 2013. "Effects of bamboo charcoal and bamboo vinegar as antibiotic alternatives on growth performance, immune responses and fecal microflora population in fattening pigs." *Anim Sci J* 84 (2):113-20. doi: 10.1111/j.1740-0929.2012.01045.x.
- Corrége I., A. Hémonic, B. Gouvars. 2009. "Conditions d'élevage associées à la séroprévalence salmonelles des porcs en fin d'engraissement." *Journées Rech. Porcine* (41):8.
- Corrége I. et A. Hémonic. 2012. "Influence du protocole de nettoyage-désinfection sur la décontamination des salles et sur la persistance de salmonelles en élevage porcin." *Journées Recherche Porcine* 44:2.
- Corrége, I, et B Minvielle. 2013. "Enjeux et stratégies de maîtrise de *Salmonella* dans la filière porcine : une analyse prospective." *Journées Recherche Porcine* 45:11.
- Correia-Gomes, C., D. Mendonca, M. Vieira-Pinto, et J. Niza-Ribeiro. 2013. "Risk factors for *Salmonella* spp in Portuguese breeding pigs using a multilevel analysis." *Prev Vet Med* 108 (2-3):159-66. doi: 10.1016/j.prevetmed.2012.07.013.
- Dahl, J. 1997. Cross-sectional epidemiological analysis of the relations between different herd factors and salmonella-seropositivity. Vol. ISVEE 8: Proceedings of the 8th Symposium of the International Society for Veterinary Epidemiology and Economics, Paris, France (published as *Epidémiologie et Santé Animale*, Issues 31-32), *International Symposia on Veterinary Epidemiology and Economics proceedings*: International Symposia on Veterinary Epidemiology and Economics.
- Davies, R., R. J. Gosling, A. D. Wales, et R. P. Smith. 2016. "Use of an attenuated live *Salmonella Typhimurium* vaccine on three breeding pig units: A longitudinal observational field study." *Comp Immunol Microbiol Infect Dis* 46:7-15. doi: 10.1016/j.cimid.2016.03.005.

- Davies, R. H., I. M. McLaren, et S. Bedford. 1999. "Observations on the distribution of *Salmonella* in a pig abattoir." *Vet Rec* 145 (23):655-61.
- De Ridder, L., D. Maes, J. Dewulf, P. Butaye, F. Pasmans, F. Boyen, F. Haesebrouck, et Y. Van der Stede. 2014. "Use of a live attenuated *Salmonella enterica* sérovar Typhimurium vaccine on farrow-to-finish pig farms." *Vet J* 202 (2):303-8. doi: 10.1016/j.tvjl.2014.09.012.
- Delhalle, L., N. Korsak koulagenko, et G. Daube. 2008. "*Salmonella* dans la filière porcine: de l'abattoir au consommateur. ." *Revue de la filière porcine wallonne*.
- Derens, E., B. Palagos, et J. Guilpart. 2006. "The cold chain of chilled products under supervision in France." :823.
- Dubuisson, C, S Carrillo, A Dufour, S Havard, P Pinard, et JL Volatier. 2017. "The French dietary survey on the general population (INCA3)." *EFSA Supporting Publications* 14 (12):1351E. doi: doi:10.2903/sp.efsa.2017.EN-1351.
- EFSA. 2008. "Report of the Task Force on Zoonoses Data Collection on the Analysis of the baseline survey on the prevalence of *Salmonella* in slaughter pigs, in the EU, 2006–2007 - Part A: *Salmonella* prevalence estimates." *EFSA Journal* 6 (6):135r. doi: doi:10.2903/j.efsa.2008.135r.
- EFSA. 2009. "Analysis of the baseline survey on the prevalence of *Salmonella* in holdings with breeding pigs in the EU, 2008 - Part A: *Salmonella* prevalence estimates." *EFSA Journal* 7 (12):1377. doi: doi:10.2903/j.efsa.2009.1377.
- EFSA. 2010a. "Application of systematic review methodology to food and feed safety assessments to support decision making." *EFSA Journal* 8 (6):1637. doi: doi:10.2903/j.efsa.2010.1637.
- EFSA. 2010b. "Scientific Opinion on a Quantitative Microbiological Risk Assessment of *Salmonella* in slaughter and breeder pigs." *EFSA Journal* 8 (4):1547. doi: doi:10.2903/j.efsa.2010.1547.
- EFSA. 2015. "Tools for critically appraising different study designs, systematic review and literature searches." *EFSA Supporting Publications* 12 (7):836E. doi: doi:10.2903/sp.efsa.2015.EN-836.
- Eggenberger-Solorzano, L., S. E. Niebuhr, G. R. Acuff, et J. S. Dickson. 2002. "Hot water and organic acid interventions to control microbiological contamination on hog carcasses during processing." *J Food Prot* 65 (8):1248-52.
- Epling, L. K., J. A. Carpenter, et L. C. Blankenship. 1993. "Prevalence of *Campylobacter* spp. and *Salmonella* spp. on Pork Carcasses and the Reduction Effected by Spraying With Lactic Acid." *J Food Prot* 56 (6):536-537. doi: 10.4315/0362-028x-56.6.536.
- FAO/WHO. 2002. "Risk assessment of *Salmonella* in eggs and broiler chickens (" ; . 302.
- FAO/WHO. 2017. "Interventions for the Control of Non-typhoidal *Salmonella* spp. in Beef and Pork " ; . 292.
- Farzan, A., R. M. Friendship, C. E. Dewey, C. Poppe, et J. Funk. 2010. "Evaluation of the risk factors for shedding *Salmonella* with or without antimicrobial resistance in swine using multinomial regression method." *Zoonoses Public Health* 57 Suppl 1:85-93. doi: 10.1111/j.1863-2378.2010.01357.x.
- FCC Consortium. 2010. "Quantitative Microbiological Risk Assessment on *Salmonella* in Slaughter and Breeder pigs: Final Report - VLA in consortium with DTU and RIVM " ; .
- Fris, C., et J. van den Bos. 1995. "A retrospective case-control study of risk factors associated with *Salmonella enterica* subsp. *enterica* sérovar Enteritidis infections on Dutch broiler breeder farms." *Avian Pathology* 24 (2):255-272. doi: 10.1080/03079459508419067.
- Frotin P. 2008. "Elevages transformant et commercialisant leurs porcs: Caractéristiques techniques." *TechniPorc* 31 (5):7.
- Frotin P., Bataille G. Bouyssiere M., et al., 2001. "Rapport ITP." :65.
- FSA. 2006. "Project M01028: Cleaning and disinfection of lairage-to-stunning areas in slaughterhouses. Final Technical Report." Royaume-Uni: University of Bristol.
- Gantzhorn, M. R., K. Pedersen, J. E. Olsen, et L. E. Thomsen. 2014. "Biocide and antibiotic susceptibility of *Salmonella* isolates obtained before and after cleaning at six Danish pig slaughterhouses." *Int J Food Microbiol* 181:53-9. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2014.04.021.
- García-Feliz, C., A. Carvajal, J. A. Collazos, et P. Rubio. 2009. "Herd-level risk factors for faecal shedding of *Salmonella enterica* in Spanish fattening pigs." *Prev Vet Med* 91 (2-4):130-136. doi: 10.1016/j.prevetmed.2009.05.011.

- Gotter, V., G. Klein, S. Koesters, L. Kreienbrock, T. Blaha, et A. Campe. 2012. "Main risk factors for *Salmonella*-infections in pigs in north-western Germany." *Prev Vet Med* 106 (3-4):301-7. doi: 10.1016/j.prevetmed.2012.03.016.
- Grilli, E., F. Foresti, B. Tugnoli, M. Fustini, M. G. Zanoni, P. Pasquali, T. R. Callaway, A. Piva, et G. L. Alborali. 2015. "Microencapsulated sorbic acid and pure botanicals affect *Salmonella* Typhimurium shedding in pigs: a close-up look from weaning to slaughter in controlled and field conditions." *Foodborne Pathog Dis* 12 (10):813-9. doi: 10.1089/fpd.2015.1953.
- Guillaumont, J., C. Bidot, et S. Touzeau. 2017. "Modélisation du portage des salmonelles dans un élevage porcin. Rapport technique 2017-2, juin 2017" Jouy en Josas: INRA. 47.
- Guillier, Laurent, Corinne Danan, Hélène Bergis, Marie-Laure Delignette-Muller, Sophie Granier, Sylvie Rudelle, Annie Beaufort, et Anne Brisabois. 2013. "Use of quantitative microbial risk assessment when investigating foodborne illness outbreaks: The example of a monophasic *Salmonella* Typhimurium 4,5,12:i:- outbreak implicating beef burgers." *Int J Food Microbiol* 166 (3):471-478. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2013.08.006>.
- Hamilton, D., G. Holds, M. Lorimer, A. Kiermeier, C. Kidd, J. Slade, et A. Pointon. 2010. "Slaughterfloor decontamination of pork carcasses with hot water or acidified sodium chlorite - a comparison in two Australian abattoirs." *Zoonoses Public Health* 57 Suppl 1:16-22. doi: 10.1111/j.1863-2378.2010.01359.x.
- Henry AE. 2014. "Étude de la distribution de *Salmonella* comme un descripteur des enjeux de biosécurité dans un réseau de production: élevages et abattoir de porcs." M. Sc., Département de Pathologie et de Microbiologie Faculté de Médecine Vétérinaire, Université de Montréal.
- Hill, Andrew, Simons Robin, Ramnial Vick, Tennant Jane, Denman Sarah, Cheney Tanya, Snary Emma, Swart Arno, Evers Eric, Nauta Maarten, Swanenburg Manon, Leusden Frans, Vigre Hakan, Domingues Ana Rita, Barfod Kristen, Bo Pedersen Ulrik, Wingstrand Anne, et Hald Tine. 2010. "Quantitative Microbiological Risk Assessment on *Salmonella* in Slaughter and Breeder pigs: Final Report." *EFSA Supporting Publications* 7 (4):46E. doi: doi:10.2903/sp.efsa.2010.EN-46.
- Hospital, X. F., E. Hierro, et M. Fernández. 2014. "Effect of reducing nitrate and nitrite added to dry fermented sausages on the survival of *Salmonella* Typhimurium." *Food Research International* 62:410-415. doi: 10.1016/j.foodres.2014.03.055.
- Hurd, H. S., J. K. Gailey, J. D. McKean, et M. H. Rostagno. 2001. "Rapid infection in market-weight swine following exposure to a *Salmonella* typhimurium-contaminated environment." *Am J Vet Res* 62 (8):1194-7.
- IFIP 2007. « Synthèse : le parc des élevages de porcs en France ».
- IFIP. 2017-2018. "Le porc par les chiffres."
- Institut de l'élevage. 2008. *Maladies des bovins*. Edité par France Agricole. 4 ed, *Manuel Pratique*.
- Issack, M. I., L. Garcia-Migura, V. D. Ramsamy, C. A. Svendsen, S. Pornruangwong, C. Pulsrikarn, et R. S. Hendriksen. 2013. "Dissemination of clonal *Salmonella* enterica sérovar Typhimurium isolates causing salmonellosis in Mauritius." *Foodborne Pathog Dis* 10 (7):618-23. doi: 10.1089/fpd.2012.1426.
- Kim, Y. J., et Y. Song. 2009. "An analysis of the factors for microbial contamination risk for pork at slaughterhouses in Korea using the LOGIT model." *J Toxicol Environ Health A* 72 (21-22):1470-4. doi: 10.1080/15287390903212998.
- King, A. M., R. K. Miller, A. Castillo, D. B. Griffin, et M. D. Hardin. 2012. "Effects of lactic acid and commercial chilling processes on survival of *Salmonella*, *Yersinia enterocolitica*, and *Campylobacter coli* in pork variety meats." *J Food Prot* 75 (9):1589-94. doi: 10.4315/0362-028x.jfp-12-004.
- Koyuncu, Sevinc, Mats Gunnar Andersson, Charlotta Löfström, Panagiotis N. Skandamis, Antonia Gounadaki, Jürgen Zentek, et Per Häggblom. 2013. "Organic acids for control of *Salmonella* in different feed materials." *BMC Vet Res* 9 (1):81. doi: 10.1186/1746-6148-9-81.
- Kramer, B., J. Thielmann, A. Hickisch, P. Muranyi, J. Wunderlich, et C. Hauser. 2015. "Antimicrobial activity of hop extracts against foodborne pathogens for meat applications." *J Appl Microbiol* 118 (3):648-57. doi: 10.1111/jam.12717.
- Kreuzer, S., P. Janczyk, J. Assmus, M. F. Schmidt, G. A. Brockmann, et K. Nockler. 2012. "No beneficial effects evident for *Enterococcus faecium* NCIMB 10415 in weaned pigs infected with *Salmonella*

- enterica* sérovar Typhimurium DT104." *Appl Environ Microbiol* 78 (14):4816-25. doi: 10.1128/aem.00395-12.
- Kusumaningrum, H. D., G. Riboldi, W. C. Hazeleger, et R. R. Beumer. 2003. "Survival of foodborne pathogens on stainless steel surfaces and cross-contamination to foods." *Int J Food Microbiol* 85 (3):227-36.
- Laack, RIËTTE L. J. M. VAN, JENNIFER L. Johnson, CAROL J. N. M. Van des Palen, FRANS J. M. Smulders, et JOS M. A. Snidjers. 1993. "Survival of Pathogenic Bacteria on Pork Loins as Influenced by Hot Processing and Packaging." *J Food Prot* 56 (10):847-851. doi: 10.4315/0362-028x-56.10.847.
- Latha, C., A. T. Sherikar, V. S. Waskar, Z. B. Dubal, et S. N. Ahmed. 2009. "Sanitizing effect of salts on experimentally inoculated organisms on pork carcasses." *Meat Sci* 83 (4):796-799. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.08.033>.
- Leblanc-Maridor, M., M. Denis, S. Rouxel, F. Le Gall, et C. Belloc. 2017. "Control of *Salmonella* Environmental Contamination during Pig Transport and Lairage: a Realistic Project?" 12th International Symposium on the Epidemiology and Control of Biological, Chemical and Physical Hazards in Pigs and Pork, Brésil, 21-24 Aout 2017.
- Lim, S. K., J. R. Byun, H. M. Nam, H. S. Lee, et S. C. Jung. 2011. "Phenotypic and genotypic characterization of *Salmonella* spp. Isolated from pigs and their farm environment in Korea." *J Microbiol Biotechnol* 21 (1):50-4.
- Loynachan, A. T., et D. L. Harris. 2005. "Dose Determination for Acute *Salmonella* Infection in Pigs." *Appl Environ Microbiol* 71 (5):2753-2755. doi: 10.1128/AEM.71.5.2753-2755.2005.
- Lurette, A., S. Touzeau, P. Ezanno, T. Hoch, H. Seegers, C. Fourichon, et C. Belloc. 2011. "Within-herd biosecurity and *Salmonella* seroprevalence in slaughter pigs: a simulation study." *J Anim Sci* 89 (7):2210-9. doi: 10.2527/jas.2010-2916.
- Lurette, Amandine. 2007a. "Modélisation pour l'évaluation de mesures de maîtrise du portage de salmonelles chez le porc charcutier." Biologie, Université de Rennes 1
- Lurette, Amandine. 2007b. "Modélisation pour l'évaluation de mesures de maîtrise du portage de salmonelles chez le porc charcutier." <http://www.theses.fr/2007REN1S108>.
- Mannion, C., J. Egan, B. P. Lynch, S. Fanning, et N. Leonard. 2008. "An investigation into the efficacy of washing trucks following the transportation of pigs--a *salmonella* perspective." *Foodborne Pathog Dis* 5 (3):261-71. doi: 10.1089/fpd.2007.0069.
- Martin-Houssard, G. 2007. "Bilans d'approvisionnement agroalimentaires 2005-2006." *Agreste Chiffres et Données* 193:14.
- Massabie, P, et Y Ramonet. 2007. "Les bâtiments de porcs en France : état des lieux." *TechniPorc* 30 (5):6.
- Mataragas, M., A. Bellio, F. Rovetto, S. Astegiano, L. Decastelli, et L. Cocolin. 2015. "Risk-based control of food-borne pathogens *Listeria monocytogenes* and *Salmonella enterica* in the Italian fermented sausages Cacciatore and Felino." *Meat Sci* 103:39-45. doi: 10.1016/j.meatsci.2015.01.002.
- Matiasovic, J., H. Kudlackova, K. Babickova, H. Stepanova, J. Volf, I. Rychlik, V. Babak, et M. Faldyna. 2013. "Impact of maternally-derived antibodies against *Salmonella enterica* sérovar Typhimurium on the bacterial load in suckling piglets." *Vet J* 196 (1):114-5. doi: 10.1016/j.tvjl.2012.08.002.
- Milnes, A. S., A. R. Sayers, I. Stewart, F. A. Clifton-Hadley, R. H. Davies, D. G. Newell, A. J. C. Cook, S. J. Evans, R. P. Smith, et G. A. Paiba. 2009. "Factors related to the carriage of Verocytotoxigenic *E. coli*, *Salmonella*, thermophilic *Campylobacter* and *Yersinia enterocolitica* in cattle, sheep and pigs at slaughter." *Epidemiol Infect* 137 (8):1135-1148. doi: 10.1017/S095026880900199X.
- Mircovich, C., B. Minvielle, et A. Le Roux. 2005. "Nettoyage-désinfection des porcheries d'attente à l'abattoir : maillon dans la lutte contre la contamination des porcs par les Salmonelles." *Journées Recherche Porcine*, 37:5.
- Montzey, S., et B. Minvielle. 2002. "Traitement spécifique des carcasses de porc par double flambage." *TechniPorc* 25 (3):4.
- Nam, K. C., K. Y. Ko, B. R. Min, H. Ismail, E. J. Lee, J. Cordray, et D. U. Ahn. 2006. "Influence of rosemary-tocopherol/packaging combination on meat quality and the survival of pathogens in restructured irradiated pork loins." *Meat Sci* 74 (2):380-387. doi: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.04.004>.

- Namvar, A., et K. Warriner. 2005. "Attachment strength to pork skin and resistance to quaternary ammonium salt and heat of *Escherichia coli* isolates recovered from a pork slaughter line." *J Food Prot* 68 (11):2447-50.
- OIE. 2007. "OIE - Terrestrial Animal Health Code." Paris: World Organisation For Animal Health, ISBN 978-92-9044-690-3, 642p.
- Omori, Y., T. Sakikubo, M. Nakane, H. Fuchu, K. Miake, Y. Kodama, M. Sugiyama, et Y. Nishikawa. 2010. "Fates of foodborne pathogens in raw hams manufactured rapidly using a new patented method." *J Food Prot* 73 (10):1803-1808.
- Piachin, T., et N. Trachoo. 2011. "Effect of ozone and potassium lactate on lipid oxidation and survival of *Salmonella typhimurium* on fresh pork." *Pak J Biol Sci* 14 (3):236-40.
- Pires, A. F., J. A. Funk, R. Manuzon, M. Darr, et L. Zhao. 2013. "Longitudinal study to evaluate the association between thermal environment and *Salmonella* shedding in a midwestern US swine farm." *Prev Vet Med* 112 (1-2):128-37. doi: 10.1016/j.prevetmed.2013.07.001.
- Pires, S. M., A. R. Vieira, T. Hald, et D. Cole. 2014. "Source attribution of human salmonellosis: An overview of methods and estimates." *Foodborne Pathog Dis* 11 (9):667-676. doi: 10.1089/fpd.2014.1744.
- Porto-Fett, A. C., J. E. Call, B. E. Shoyer, D. E. Hill, C. Pshebniski, G. J. Cocoma, et J. B. Luchansky. 2010. "Evaluation of fermentation, drying, and/or high pressure processing on viability of *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* spp., and *Trichinella spiralis* in raw pork and Genoa salami." *Int J Food Microbiol* 140 (1):61-75. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2010.02.008.
- Pouillot, R., B. Garin, N. Ravaonindrina, K. Diop, M. Ratsitorahina, D. Ramanantsoa, et J. Rocourt. 2012. "A risk assessment of campylobacteriosis and salmonellosis linked to chicken meals prepared in households in Dakar, Senegal." *Risk Anal* 32 (10):1798-819. doi: 10.1111/j.1539-6924.2012.01796.x.
- Rasschaert, G., J. Michiels, M. Tagliabue, J. Missotten, S. De Smet, et M. Heyndrickx. 2016. "Effect of Organic Acids on *Salmonella* Shedding and Colonization in Pigs on a Farm with High *Salmonella* Prevalence." *J Food Prot* 79 (1):51-8. doi: 10.4315/0362-028x.jfp-15-183.
- Rossel, R., A. Le Roux, et B. Minvielle. 2002. *TechniPorc* 25 (2):4.
- Ruggeri, J., M. Pesciaroli, F. Foresti, E. Giacomini, M. Lazzaro, M. C. Ossiprandi, A. Corradi, G. Lombardi, P. Pasquali, et G. L. Alborali. 2015. "Inactivated *Salmonella enterica* sérovar Typhimurium monophasic variant (S. Typhimurium 1,4,[5],12:i-) in sows is effective to control infection in piglets under field condition." *Vet Microbiol* 180 (1-2):82-9. doi: 10.1016/j.vetmic.2015.07.029.
- Serrano-García, E., F. Castrejón-Pineda, M. A. Herradora-Lozano, A. H. Ramírez-Pérez, S. Angeles-Campos, et S. E. Buntinx. 2008. "Fungal survival in ensiled swine faeces." *Bioresour Technol* 99 (9):3850-3854. doi: https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.06.050.
- Shin, J., B. Harte, E. Ryser, et S. Selke. 2010. "Active packaging of fresh chicken breast, with allyl isothiocyanate (AITC) in combination with modified atmosphere packaging (MAP) to control the growth of pathogens." *J Food Sci* 75 (2):M65-71. doi: 10.1111/j.1750-3841.2009.01465.x.
- Small, A., C. James, G. Purnell, P. Losito, S. James, et S. Buncic. 2007. "An evaluation of simple cleaning methods that may be used in red meat abattoir lairages." *Meat Sci* 75 (2):220-228. doi: https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.07.007.
- Stollewerk, K., A. Jofre, J. Comaposada, J. Arnau, et M. Garriga. 2012. "The effect of NaCl-free processing and high pressure on the fate of *Listeria monocytogenes* and *Salmonella* on sliced smoked dry-cured ham." *Meat Sci* 90 (2):472-7. doi: 10.1016/j.meatsci.2011.09.009.
- Swanenburg, M., H. A. Urlings, J. M. Snijders, D. A. Keuzenkamp, et F. van Knapen. 2001. "*Salmonella* in slaughter pigs: prevalence, serotypes and critical control points during slaughter in two slaughterhouses." *Int J Food Microbiol* 70 (3):243-54.
- Swart, A.N., et A. Pielat. 2012. "Development of a user-friendly interface version of the QMRA model for *Salmonella* in pigs developed under grant agreement CFP/EFSA/BIOHAZ/2007/01." *EFSA Supporting Publications* 9 (12):361E. doi: doi:10.2903/sp.efsa.2012.EN-361.
- Szabo, I., L. H. Wieler, K. Tedin, L. Scharek-Tedin, D. Taras, A. Hensel, B. Appel, et K. Nockler. 2009. "Influence of a probiotic strain of *Enterococcus faecium* on *Salmonella enterica* sérovar Typhimurium DT104 infection in a porcine animal infection model." *Appl Environ Microbiol* 75 (9):2621-8. doi: 10.1128/aem.01515-08.

- Tenhagen, Wegeler, Schroeter, Dorn, Helmuth, et Kasbohrer. 2009. "Association of *Salmonella* spp. in slaughter pigs with farm management factors." Quebec City, Canada.
- Teunis, P. F., F. Kasuga, A. Fazil, I. D. Ogden, O. Rotariu, et N. J. Strachan. 2010. "Dose-response modeling of *Salmonella* using outbreak data." *Int J Food Microbiol* 144 (2):243-9. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2010.09.026.
- The *Salmonella* Subcommittee of the Nomenclature Committee of the International Society for microbiology. 1934. "The Genus *Salmonella* Lignières, 1900." *The Journal of Hygiene* 34 (3):333-350.
- Titus, SM. 2007. "A novel model developed for quantitative microbial risk assessment in the pork food chain " Doctor of Philosophy, nstitute of Veterinary, Animal and Biomedical Sciences, Massey University.
- Trivedi, S., A. E Reynolds, et J.Chen. 2007. "Use of a Commercial Household Steam Cleaning System To Decontaminate Beef and Hog Carcasses Processed by Four Small or Very Small Meat Processing Plants in Georgia." *J Food Prot* 70 (3):635-640. doi: 10.4315/0362-028x-70.3.635.
- Twomey, D. F., A. J. Miller, L. C. Snow, J. D. Armstrong, R. H. Davies, S. M. Williamson, C. A. Featherstone, R. Reichel, et A. J. Cook. 2010. "Association between biosecurity and *Salmonella* species prevalence on English pig farms." *Vet Rec* 166 (23):722-4. doi: 10.1136/vr.b4841.
- Van Cauteren, D., Y. Le Strat, C. Sommen, M. Bruyand, M. Tourdjman , N. Jourdan-Da Silva, et et al. 2018. " Estimation de la morbidité et de la mortalité liées aux infections d'origine alimentaire en France métropolitaine 2008-2013." *Bull Epidémiol Hebd.* 1 (2):8.
- Velasquez, A., T. J. Breslin, B. P. Marks, A. Orta-Ramirez, N. O. Hall, A. M. Booren, et E. T. Ryser. 2010. "Enhanced thermal resistance of *Salmonella* in marinated whole muscle compared with ground pork." *J Food Prot* 73 (2):372-5.
- Visscher, C. F., P. Winter, J. Verspohl, J. Stratmann-Selke, M. Upmann, M. Beyerbach, et J. Kamphues. 2009. "Effects of feed particle size at dietary presence of added organic acids on caecal parameters and the prevalence of *Salmonella* in fattening pigs on farm and at slaughter." *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl)* 93 (4):423-430. doi: 10.1111/j.1439-0396.2008.00821.x.
- Wales, A., J. Weaver, I. M. McLaren, R. P. Smith, D. Mueller-Doblies, et R. H. Davies. 2013. "Investigation of the Distribution of *Salmonella* within an Integrated Pig Breeding and Production Organisation in the United Kingdom." *ISRN Vet Sci* 2013:943126. doi: 10.1155/2013/943126.
- Walia, Kavita, Hector Argüello, Helen Lynch, Jim Grant, Finola C. Leonard, Peadar G. Lawlor, Gillian E. Gardiner, et Geraldine Duffy. 2017. "The efficacy of different cleaning and disinfection procedures to reduce *Salmonella* and Enterobacteriaceae in the lairage environment of a pig abattoir." *Int J Food Microbiol* 246:64-71. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2017.02.002>.
- Wheeler, T. L., N. Kalchayanand, et J. M. Bosilevac. 2014. "Pre- and post-harvest interventions to reduce pathogen contamination in the U.S. beef industry." *Meat Sci* 98 (3):372-82. doi: 10.1016/j.meatsci.2014.06.026.
- Yin, F., A. Farzan, Q. C. Wang, H. Yu, Y. Yin, Y. Hou, R. Friendship, et J. Gong. 2014. "Reduction of *Salmonella enterica* sérovar typhimurium DT104 infection in experimentally challenged weaned pigs fed a lactobacillus-fermented feed." *Foodborne Pathog Dis* 11 (8):628-34. doi: 10.1089/fpd.2013.1676.
- Zerby, H. N., R. J. Delmore Jr., R. Murphree, K. E. Belk, J. N. Sofos, G. R. Schmidt, G. L. Bellinger, A.Pape, M. Hardin, W. Lloyd, et G. C. Smith. 1998. "A microbiological profile of pork variety meats and intervention strategies for reducing microbiological contamination on pork variety meats. Final report to the U.S. Meat Export Federation. . "

7.2 Législation et réglementation

7.2.1 Normes

NF X 50-110 (mai 2003) Qualité en expertise - Prescriptions générales de compétence pour une expertise. AFNOR (indice de classement X 50-110).

7.2.2 Directives

Directive 2003/99/CE du Parlement européen et du Conseil du 17 novembre 2003 sur la surveillance des zoonoses et des agents zoonotiques, modifiant la décision 90/424/CEE du Conseil et abrogeant la directive 92/117/CE du Conseil. *Journal officiel de l'Union européenne*, L 325, 12 décembre 2003, p. 31-40. [ELI: http://data.europa.eu/eli/dir/2003/99/oj](http://data.europa.eu/eli/dir/2003/99/oj)

Directive 92/117/CEE du Conseil du 17 décembre 1992 concernant les mesures de protection contre certaines zoonoses et certains agents zoonotiques chez les animaux et dans les produits d'origine animale, en vue de prévenir les foyers d'infection et d'intoxication dus à des denrées alimentaires. *Journal officiel*, L 62, 15 mars 1993, p. 38

7.2.3 Règlements

Règlement (CE) n° 1/2005 du Parlement européen et du Conseil du 22 décembre 2004 relatif à la protection des animaux pendant le transport et les opérations annexes. *Journal officiel de l'Union européenne*, L 3, 05 janvier 2005, p. 1-44. ELI: <http://data.europa.eu/eli/reg/2005/1/oj>

Règlement (CE) n° 853/2004 du Parlement Européen et du Conseil du 29 avril 2004 fixant des règles spécifiques d'hygiène applicables aux denrées alimentaires d'origine animale. *Journal officiel de l'Union européenne*, L 139, 30 avril 2004, p. 55-205. ELI: <http://data.europa.eu/eli/reg/2004/853/oj>

Règlement (CE) n° 2160/2003 du Parlement européen et du Conseil du 17 novembre 2003 sur le contrôle des salmonelles et d'autres agents zoonotiques spécifiques présents dans la chaîne alimentaire. *Journal officiel de l'Union européenne*, L 325, 12 décembre 2003, p. 1-15. ELI: <http://data.europa.eu/eli/reg/2003/2160/oj>

Règlement (CE) n°2073/2005 modifié par le Règlement (CE) n°1441/2007 concernant les critères microbiologiques applicables aux denrées alimentaires. *Journal officiel de l'Union européenne*, L 142, 22 décembre 2015, p. 1-26. ELI: <http://data.europa.eu/eli/reg/2005/2073/oj>

8 ANNEXES

8.1 Lettre de saisine

2016 -SA- 0 0 2 9

2016 -SA- 0 0 3 7



DIRECTION GENERALE DE LA CONCURRENCE,
DE LA CONSOMMATION ET DE LA REPRESSION DES FRAUDES
59, BD VINCENT AURIOL TELEDOC
75703 PARIS CEDEX 13

Réf : Dossier n° 02/10130
Affaire suivie par E. Bloch
Bureau 4D : Marchés des produits d'origine animale
Téléphone : 01 44 97 25 64
Télécopie : 01 44 97 30 47
Courriel : bureau-4D@dgccrf.finances.gouv.fr

PARIS, LE - 7 MARS 2016

Monsieur le Directeur Général
Agence Nationale de Sécurité Sanitaire
de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail
14 rue Pierre et Marie Curie
94701 Maisons-Alfort Cedex

COURRIER ARRIVE

10 MARS 2016

DIRECTION GENERALE

Objet : Saisine conjointe DGCCRF/DGAL relative aux mesures de maîtrise des salmonelles dans la filière porcine, dans l'alimentation animale et vis-à-vis de *Salmonella kentucky*

J'ai l'honneur de vous faire parvenir ci-joint, la saisine conjointe DGCCRF/DGAL relative aux mesures de maîtrise des salmonelles dans la filière porcine, dans l'alimentation animale et vis-à-vis de *Salmonella kentucky*.

Cette saisine porte sur deux points :

1. Le danger « salmonelles » en alimentation animale pour l'ensemble des filières incluant *Salmonella kentucky*
2. Le danger « salmonelles » en filière porcine

Cette saisine vise à affiner l'évolution danger « salmonelles » dans l'alimentation animale et la filière porcine. Elle vient en complément de la saisine N° 2015-SA-0191 transmise par DGCCRF/DGAL en novembre 2015 sur la caractérisation du risque microbiologique dans la filière alimentation animale.

Je vous remercie de bien vouloir accuser réception de la présente demande en me précisant le ou les comités d'experts spécialisés qui sont saisis du dossier.

Le sous-directeur des produits alimentaires
et des marchés agricoles et alimentaires

Jean-Louis GERARD

2016 -SA- 0 0 2 9
2016 -SA- 0 0 3 7



**Ministère de l'Agriculture, de
l'Agroalimentaire et de la Forêt**

Direction générale de l'alimentation

Sous-direction de la sécurité sanitaire des
aliments

Sous-direction de la santé et de la protection
animales

Bureau d'appui à la surveillance de la chaîne
alimentaire

Bureau des intrants et de la santé publique en
élevage

Dossier suivi par : Laurent MONTAUT/Aurélié
BYNENS

Tél. : 01 49 55 84 26 + 01 49 55 57 73

Fax. : 01 49 55 56 80

Mél. : basca.sdssa.dgal@agriculture.gouv.fr +
bispe.sdspa.dgal@agriculture.gouv.fr

**Ministère de l'économie, de l'Industrie et du
Numérique**

Direction générale de la concurrence, de la
consommation et de la répression des fraudes

Sous-direction 4 : produits alimentaires et
marchés agricoles et alimentaires

Bureau 4D : Marchés des produits d'origine
animale

Dossier suivi par : Célia AZOYAN / Ekaterina BLOCH

Tél : +33 (0)1 44 97 29 18

Fax : +33 (0)1 44 97 24 86

Mél. : Bureau-4D@dgccrf.finances.gouv.fr

☎ - 0 0 3 0

Monsieur le Directeur Général,

Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de
l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail

14, rue Pierre et Marie Curie
94700 MAISONS ALFORT

A Paris, le 16 FEV. 2016

Objet : Saisine relative aux mesures de maîtrise des salmonelles dans la filière porcine¹, dans l'alimentation animale² et vis-à-vis de *Salmonella* Kentucky.

Conformément à l'article L.1313-1 du code de la santé publique, vous trouverez ci-après une saisine sur l'amélioration de la maîtrise des salmonelles au sein de la chaîne alimentaire. Cette saisine porte sur deux points distincts :

- 1) le danger « salmonelles » en alimentation animale pour l'ensemble des filières (incluant *Salmonella* Kentucky) ;
- 2) la maîtrise du danger « salmonelles » dans la filière porcine.

¹ De la fourche à la fourchette

² Par alimentation animale ou aliments pour animaux, sont désignés aussi bien les aliments composés que les matières premières entrant dans leur composition pour l'ensemble des animaux producteurs de denrées alimentaires. L'attention de l'Agence est attirée sur le fait que les aliments composés peuvent avoir subi ou non un traitement thermique.

8.2 Profil de recherche bibliographique

Ce formulaire permet de tracer l'orientation de la recherche bibliographique, en application de la procédure « Organisation de la réalisation d'une expertise en réponse à une saisine ou une auto-saisine »

Bases de données (ex : Scopus, PubMed, CAB Abstractsp.ex.)	Scopus & Pubmed	Périmètre	France + Monde (langue : Français anglais)
Mots-clés principaux	Pig* (or) swine (or) pork AND Salmonel* AND control* (or) intervention (or) strateg* (or) measure*		
Organismes référents identifiés sur le sujet	Anses – IFIP- INAPORC-INRA-EFSA		
Rapports et publications identifiés en amont de la saisine	Rapport EFSA "Scientific Opinion on a Quantitative Microbiological Risk Assessment of <i>Salmonella</i> in slaughter and breeder pigs" - 2010		
Projets de Recherche (APRs Anses, ANR, FP7 etc.)			
Logiciel bibliographique utilisé (ex : EndNote, Zotero)	EndNote		
Mise en surveillance de sources d'information (veille)	<input checked="" type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON (Avez-vous suivi la formation « Veille avec les flux RSS » ?)		

Thématique	Mots-clés issus de thésaurus	Autres termes
<u>Population</u> * (ou sujets étudiés)	Salmonel* Pig* (or) swine (or) pork	
<u>Intervention</u> * ciblée (peut désigner une technologie, un médicament, un mode d'intervention ou un programme) / <u>Exposition</u>	filière porcine control* (or) intervention (or) strateg* (or) measure*	Mesure de maîtrise réalisable à un maillon de la filière
<u>Comparateur</u> *	“Contrôle” n’ayant pas subi de mesure de maîtrise (situation ou groupe contrôle)	
<u>Outcome</u> * (résultat d'intérêt événement mesuré, critère de jugement Ex : mortalité; effets sur la santé, effets psychosociaux, perceptions, résultats économiques)	Réduction ou élimination de <i>Salmonella</i> dans le produit étudié Ou Réduction des cas de salmonelloses chez les consommateurs	
Temporalité (Périodes de recherche)	01/01/2009 – 15/07/2016 (publications antérieures à 2009 sont évaluées dans le rapport EFSA servant de base aux travaux du GT)	

**renseignements des champs obligatoires*

Pour le détail de la méthode : EFSA (2010). Application of systematic review methodology to food and feed safety assessments to support decision making. *EFSA Journal* 8(6):1637 [doi:10.2903/j.efsa.2010.1637](https://doi.org/10.2903/j.efsa.2010.1637)

Travaux par maillon :

	Mots clefs étape	Mots clefs type d'intervention spécifique à l'étape
0. Alimentation animale	Feed*	
1. Sélectionneur / multiplicateur	breed* (or) saw	biosecurity(or) vaccin*(or) hygien*
2. Élevage (=engraisseur)	farm* (or) husbandr* (or) rear* (or) fatten*	biosecurity(or) vaccin*(or) hygien*
3. Transport	transport**(or) lorry*(or) truck* (or)	desinfect*(or) clean*
4. Attente	lairage* (or) pen*	desinfect*(or) clean*
5. Abattage / découpe	slaughter* (voir si sous étape (test par la coordination) cutt*	hygien*(or) desinfect*(or) clean*(or) decontam*
6. Transformation (post-découpe)	pork product (or) cutt*(or) process(or) smok*(or) steaming(or) dry*(or) packaging(or) fermentation	pH(or) Aw(or) hygien*(or) desinfect*(or) clean*(or) decontam*
7. Distribution	Packaging cutt* retail delivery market preservation storage	hygien* desinfect* clean* decontam* withdraw*
8. Consommateur	Preservation storage consum*	hygien* cook* cross contamination desinfect* clean*

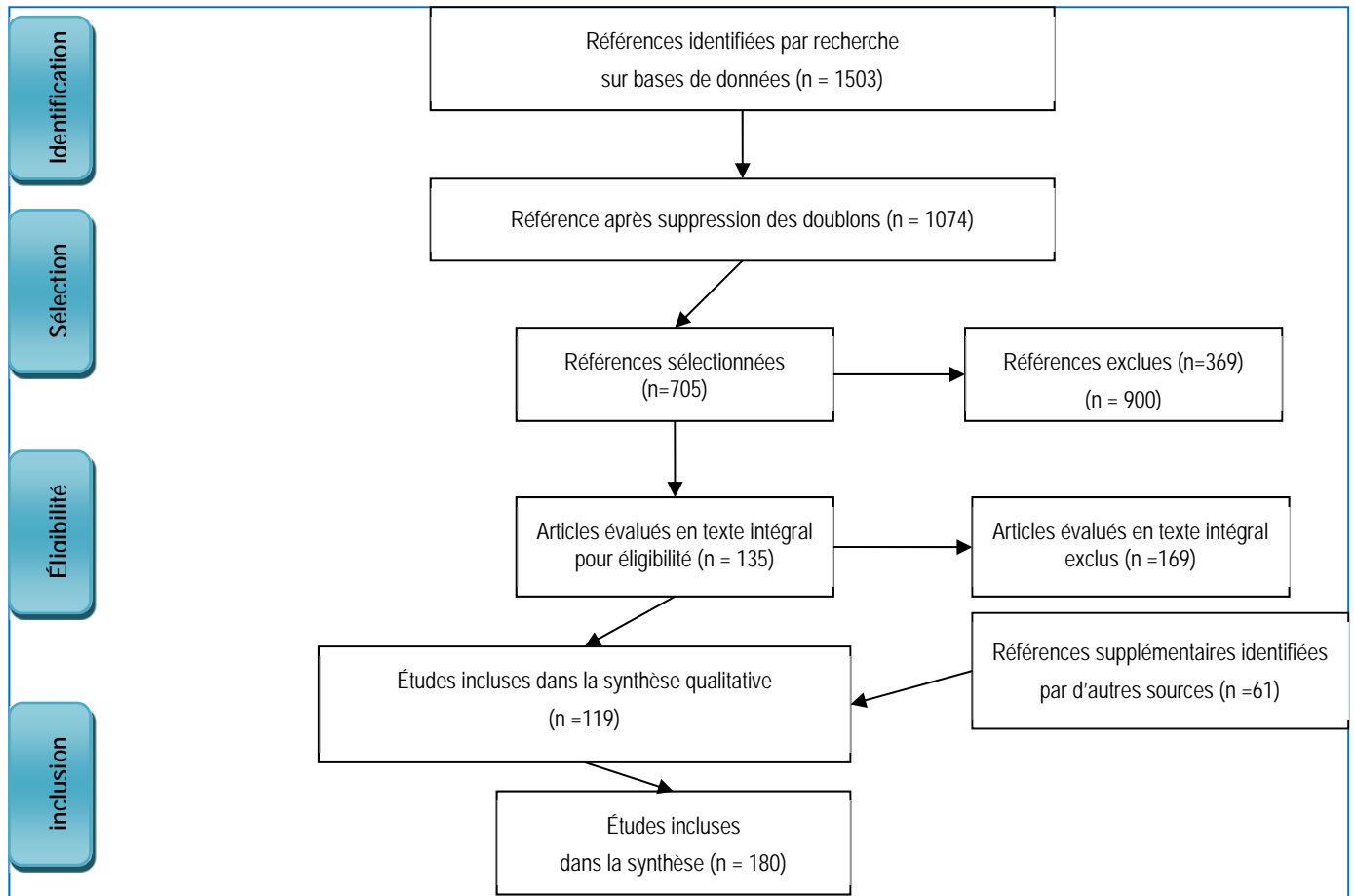
STRATÉGIE DE RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

Nombre de résultats de la première requête : 1503 le 06/10/2016.

Nombre de résultats de la requête après suppression des doublons avec la requête précédente : **1074**.

Les éléments ci-dessous guident les modalités d'explicitation de la stratégie de recherche au niveau du produit d'expertise ou d'appui scientifique et technique.

DIAGRAMME PRISMA



8.3 Détails de la revue bibliographique approfondie

Tableau 25. Détail par article de l'impact relevé lors de la revue bibliographique (Période 2010-2016)

Etape/ module	Mesures de maitrise	Verrous existant?	Augmentation	Pas d'effet	Réduction	Total	Q/NQ	valeur	unité	IC	p-value	
ELEVAGE	INTERVENTION SUR L'ALIMENTATION ANIMALE											
	Changement de type d'alimentation (granulés ou miettes ou liquide)											
	Alimentation en granules (vs en miette ou liquide) + avec antibiotique	X	1			1	Q	3,58	OR	1,92-5,24	<0,001	
	Alimentation en granules (vs en miette ou liquide) + sans antibiotique	X	1			1	Q	3,21	OR	1,4-5	0,001	
	Aliments en granulés	X	1			1	Q	2,23	OR	1,22-4,26	0,009	
	Ingrédients grossièrement moulus (vs finement moulus dans le groupe témoin)	X			1	1	Q	0,39	OR		<0,001	
	Ingrédients grossièrement moulus +1.2% potassium diformate (vs finement moulus dans le groupe témoin)	X			1	1	Q	0,04	OR		<0,001	
	Retrait alimentation animale											
	Variation durée du jeune	X	1			1	NQ					
	Traitement biologique											
	Utilisation de pré ou probiotique (Enterococcus faecium, glucoman modifié, charbon)											
	probiotique <i>E faecium</i> NCIMB 10415				2		2	NQ				
	Probiotiques - aliments fermentés (<i>Lactobacillus zeae</i> (LZ) et <i>L casei</i> (LC))	x				1	1	Q	1,87	log CFU/g		<0,01
	produit = <i>Bacillus subtilis</i> MP9 ou MP10 de soja fermenté; comparaison avec antibiotique	x				1	1	Q	100	% de réduction flore		0,02
	produit = <i>Enterococcus faecium</i> + <i>Bacillus subtilis</i> + <i>Bacillus licheniformis</i> ou mélange d'acides (acides propionique, acétique, benzoïque)				1		1	NQ				
produit = <i>Enterococcus faecium</i> NCIMB 104415	x		1			1	NQ					
ELEVAGE	Traitement chimique											
	Traitement à l'acide/mélange acides (pour modifier le microbiote de l'animal)											
	0.8% d'acide formique ou 0.4% d'acides lactique et formique	x				1	NQ				<0,05	
	acide butyrique	x			1	1	Q	50	%		ns	
Additif: mélange d'acides organiques	x			1		1	NQ					

Etape/ module	Mesures de maîtrise	Verrous existant?	Augmentation	Pas d'effet	Réduction	Total	Q/NQ	valeur	unité	IC	p-value
	Additif: mélange d'acides organiques à chaîne courte (formique 26%, propionique 10%, acides gras 18%; Selacid Green)	x		1		1	NQ				
	Additif: prébiotique (mannanoligosaccharide 12%, Bio-Mos Alltech Biotechnology Ltda)	x		1		1	NQ				
	Combinaison d'acides organiques à chaîne courte (salts of formic, sorbic, acetic, and propionic acid in free acid form and natural extracts)	x	1			1	Q	20	% de multiplication dans CC		<0,001
	Mélange de 2 produits commerciaux contenant des acides gras à chaînes moyennes, d'acide lactique, d'huile d'origan	x			1	1	Q	14	% de réduction fécès		<0,001
	Produit = 0.6% d'acide lactique + 0.6% d'acide formique	x			1	1	NQ				<0,01
	Produit = acide butyrique	x		1		1	NQ				
	Produit = glucomannan modifié agent d'adsorption des mycotoxines	x			1	1	NQ				
	Produit = glucose oxydase durant 35 jours				1	1	Q	0,654	log CFU/g		0,03
	Produit = mélange d'acides = acides formique, propionique, lactique et phosphorique vs acide citrique seul vs ATB	x			1	1	NQ				
	Produit = potassium diformate ou mélange d'acides formique et propionique	x			1	1	NQ				
	Mélange d'acides (Acidvall (c): lactique (56%), formique (23%), propionique (13%) and acétique (5%)) ajoutée à l'eau de boisson (concentration : 0.035%) lors des 40 derniers jours de la période "finisher"	x			1	1	Q	2,34	RR	1,41-6,25	<0,01
	utilisation d'alcaloïde quaternaire										
	addition d'alcaloïdes quaternaires benzo phenanthridine (QBA)	x			1	1	NQ				
	produit = alcaloïde quaternaire phenanthridine benzo c	x			1	1	NQ				
	Utilisation d'antibiotiques										

Etape/ module	Mesures de maîtrise	Verrous existant?	Augmentation	Pas d'effet	Réduction	Total	Q/NQ	valeur	unité	IC	p-value
	béta glucane de Aureobasidium pullans ou beta glucane + Genkwadaphrine (ester diterpène de daphne genkwa sieb) herbe traditionnelle chinoise	x			1	1	NQ				
	Proportion de porcs sous traitement individuel (dans la discussion, il est précisé que la plupart de ces traitements sont antibiotiques)	x			1	1	NQ				<0,009
	Tylosine ajoutée à l'aliment (40microgramme/g d'aliment) pour 6 à 12 semaines	x		1		1	NQ				
utilisation d'oxyde de zinc											
	Produit = oxyde de zinc à différents niveaux				1	1	NQ				
Utilisation plantes/fruits (charbon, artichaut, pulpes de betteraves, co-produit de citron, protéines de pomme de terre, vinaigre de bambou)											
	Additifs alimentaires: combinaison d'acide sorbique, thymol, et carvacrol	x		1	1	2	NQ				
	Produit = coproduit de citron: D limonene ou mélasse de citron	x		1		1	NQ				
	Produit = herbes médicinales chinoises (panax ginseng, dioscoreaceae opposite, atractylodes macrocephala, glycyrrhiza uralensis, ziziphus jujube, platycodon grandiflorum)				1	1	NQ				<0,05
	Produit = resveratrol ou mélange d'huiles essentielles Biomin (organ + anis+ zeste d'orange + chicorée)				1	1	NQ				
	Supplémentation de l'alimentation avec 0,3% de charbon de bambou	x			1	1	Q	3	LOG CFU		<0,05
Vaccination											
	2 vaccins S Typhimurium atténués conçus par les auteurs (BBS866 et BBS202)	x			1	1	NQ				
	Vaccin inactivé (S Typhimurium)	x			1	1	Q	6,97	RR	3,05-15,97	
	Vaccin inactivé préparé avec ST monophasique	x			1	1	NQ				
	Vaccination (Vaccin atténué Salmoporc) des porcelets à 3 et 24 jours d'âge	x			1	1	NQ				
	Vaccination (VC inactivé) de deux truies et infection expérimentale des porcelets (souche homologue)	x			1	1	NQ				

Etape/ module	Mesures de maîtrise	Verrous existant?	Augmentation	Pas d'effet	Réduction	Total	Q/NQ	valeur	unité	IC	p-value
	Vaccination des cochettes et truies dans 3 élevages, suivi longitudinal	x			1	1	NQ				
T. Physiologique/logistique											
Contrôle des nuisibles											
	Contrôle des rongeurs				1	1		0,23	O	0,09-0,59	<0,01
Hygiène - désinfection, para-zootecnie											
	Absence de blattes/cafards				1	1		0,18	OR	0,05-0,68	
	AIAO system				1	1		0,13	OR	0,03-0,52	
	Castration à une semaine				1	1		0,38	OR	0,13-0,96	
	Désinfection (engraissement)				1	1		0,19	OR	0,01-0,26	
	Elevages sans verrats ou avec plus de 90% de verrats élevés a la ferme (vs plus de 90% des verrats sont achetés)				1	1		0,54	OR	0,3-0,97	
	Flux continu (vs all-in-all-out) avec antibioresistante	x	1			1		1,16	OR		NS
	Flux continu (vs all-in-all-out) sans antibioresistante		1			1		1,76	OR	0,47-3,08	0,01
	Insémination: sperme venant de verrats issus d'autres élevages (vs centre d'insémination)		1			1		4,47	OR	1,38-14,43	0,01
	Pas d'introduction d'oiseaux				1	1		0,22	OR	0,04-0,58	S
	Niveau de biosécurité et procédures de nettoyage	x		1		1					
	Origine de l'eau de boisson, nombre de fournisseurs de porcs sevrés, mesures sanitaires a l'entrée de la ferme	x		1		1					
	source de l'alimentation: inclure des aliments qui ne sont pas produits a la ferme		1			1		2,81	OR	1,19-6,61	0,02
Température dans les locaux d'élevage											

Etape/ module	Mesures de maîtrise	Verrous existant?	Augmentation	Pas d'effet	Réduction	Total	Q/NQ	valeur	unité	IC	p-value
	Température supérieure dans les locaux d'élevage	x	1			1	Q	1,51(12h avant ech) 1,61 (24h avant ech.) 1,45 (72h avant ech.) 1,42 (Temp. Humid index >72,24h avant ech)	OR	1,02-2,25 (12h avant ech) 1,10-2,36 (24h avant ech) 1-2,06 (72h avant ech) 1-2,01 (Temp. Humid index >72,24h avant ech)	
TRANSPORT	Traitement physiologique/logistique										
	Gestion de type logistique- pas de mélange de lots										
	Abattage "logistique"			1		1	NQ				
	Nettoyage et désinfection du moyen de transport										
	Suivi, pendant 2 années, de 8 lots de porcs plein air, abattus dans le même abattoir					1	1	NQ			
	Suivi de lots d'animaux issus d'élevages faiblement (<10%) ou fortement (>50%) contaminés pendant l'engraissement et à l'abattoir					1	1	NQ			
ATTENTE A L'ABATTOIR	Variation durée d'attente										
	Durée d'attente (< ou > 12h) prélèvement de caecum à l'abattoir (et recherche de salmonelles).			1		1	NQ				
	Variation dans la durée d'attente >12h (comparé à attente <12h)			1		1	Q	2,83	OR	1,33-6,01	
	Environnement d'attente										
	Suivi de lots dans 5 abattoirs. Prélèvements dans les boxes d'attente (1 sur caillebotis et 4 sols pleins)				1		1	NQ			
ABATTOIR	Traitement chimique										
	Lactate de potassium										
	Traitement (0,5 mL sur les deux faces) de pièces de viande de porc, inoculées par salmonelles, avec 0, 2 ou 4% de KL. Conditionnement et conservation à 8°C					1	1	Q	1	log CFU/g	

Etape/ module	Mesures de maîtrise	Verrous existant?	Augmentation	Pas d'effet	Réduction	Total	Q/NQ	valeur	unité	IC	p-value
	Ozone et lactate de potassium										
	Traitement par lactate de potassium sont conditionnées en sac plastique avec 0, 200, 500 ou 1 000 mg.h-1 d'ozone, puis placées à 8°C	x			1	1	Q	1	log CFU/g		
	Rinçage de la carcasse à l'eau chaude										
	Traitement des carcasses en pré-chilling par rinçage à l' eau chaude 80°C (volume ++ (40L/coté de carcasse))				1	1	Q	13,2	% de réduction de carcasses positives		<0,001
	Traitement à l'acide citrique et au chlore										
	Traitement des carcasses en pré-chilling par le système Sanova (ac. citrique + chlore) pendant 15 secondes				1	1	Q	9	% de réduction de carcasses positives		<0,001
	Traitement physiologique / logistique										
	Hygiène - désinfection, para.zootechne										
	Biosécurité/Bonnes pratiques : empêcher/limiter la contamination des porcs avant l'abattoir				1	1	NQ				
	Rinçage couteau - pratiques d'hygiène				1	1	NQ				
	Sélection à la ferme										
	Etablissement du statut sérologique (statut infectieux) des porcs avant l'abattage				1	1	NQ				
	Température dans l'atelier (35°C vs 22°C)										
Impact d'une température des locaux à 35°C sur les biofilms en surface (DO) vs 22°C			1		1	NQ				NS	
ATELIER DE DECOUPE, DEUXIEME ET TROISIEME TRANSFORMATION	Traitement Chimique										
	Ajout d'acide lactique en spray à 2% combiné avec spray à l'eau (dénombrement des <i>Salmonella</i> rifampicine-R sur TSA) foie, intestin, cœur et estomac de porc	x			1	1	Q	0,5	log CFU		
	nitrate/nitrite saucisse sèche fermentée				1	1	Q	2	log CFU		
	nitrate/nitrite viande hachée porc				1	1	Q	0,5	log CFU		
	Association atmosphère modifiée [30% CO2/70%N2] et Allyl Isothiocyanate sous forme de vapeur à 0.6% et 1.2 µg/h. Suivi pendant 21 jours conservation à	x			1	1	NQ				S

Etape/ module	Mesures de maîtrise	Verrous existant?	Augmentation	Pas d'effet	Réduction	Total	Q/NQ	valeur	unité	IC	p-value
	4°C										
	Traitement chimique + physique										
	Acide lactique en spray à 2% combiné à spray d'eau + congélation foie, intestin, cœur et estomac de porc	x			1	1	Q	0,5	log CFU		
	Acide lactique en spray à 2% combiné à spray d'eau + refroidissement foie, intestin, cœur et estomac de porc	x		1		1	NQ				
	Traitement Physique /biologique										
	Procédé de fabrication / fermentation /Séchage sur salami				1	1	Q	4.2- 4.5	log CFU/g		
	Hautes pressions 600MPa 5 min ou 483 MPa 12 min sur salami				1	1	Q	>2.5	log CFU/g		
	Traitement hautes pression 600 MPa 5 min 13°C sur une contamination de surface lors du tranchage sur 2 formulations de jambon				1	1	Q	1	log CFU/g		
	Maturation Saucisson Cacciatore 20j de maturation				1	1	Q	1,1	log CFU/g		
	Maturation Saucisson Felino 40j de maturation				1	1	Q	1,62	log CFU/g		
	Application simultanée d'ultrason et vapeur "haute pression" ; test sur viande et couenne; temps de traitement 0.5 s				1	1	Q	0,6	log UFC/cm ²		
	Application simultanée d'ultrason et vapeur "haute pression" ; test sur viande et couenne ; temps de traitement 2.0 s				1	1	Q	3	log UFC/cm ²		
CONSOMMATION	Traitement thermique / cuisson				1	1	Q				

8.4 Paramètres du modèle SiPFR

Tableau 26. Choix des paramètres pour l'adaptation du modèle SiP EFSA à la filière porcine française

Maillon /Module	Code de la variable dans SIP	Nom de la variable dans SIP	Unité	Valeurs utilisées dans le modèle européen (EFSA, 2010)								Valeur de paramètre France	
				Valeur du paramètre pour l'état membre n° 4	Source MS4	Valeur du paramètre pour l'état membre n°3	Source MS3	Valeur du paramètre pour l'état membre n°2	Source MS2	Valeur du paramètre pour l'état membre n°1	Source MS1	Valeur dans SiPFR	source
Elevage	BF- Inside-AIOA production-Solid flooring-Dry feed	Breeder finisher-Production breeding pig herds only -Production-Flooring -feed	%	0,0650		0,0484		0,151		0,0057		3,82	Baseline survey 2008(EF SA 2009)
Elevage	BF-Inside-AIOA production-Solid flooring-wet feed	Breeder finisher-Production breeding pig herds only -Production-Flooring -feed	%	0,2005		0,2581		0,2181		0,0051		3,23	Baseline survey 2008
Elevage	BF-Inside-AIOA production-Slated flooring-Dry feed	Breeder finisher-Production breeding pig herds only -Production-Flooring -feed	%	0,2400		0,0968		0,0065		0,1872		15,10	Baseline survey 2008
Elevage	BF-Inside-AIOA production-Slated flooring-wet feed	Breeder finisher-Production breeding pig herds only -Production-Flooring -feed	%	0,1658		0,0968		0,053		0,1678		12,75	Baseline survey 2008
Elevage	BF-Inside-Continuous-Solid flooring-Dry feed	Breeder finisher-Production breeding pig herds only -Production-Flooring -feed	%	0,0000		0,0161		0,2722		0,041		7,03	Baseline survey 2008
Elevage	BF-Inside-Continuous-Solid flooring-wet feed	Breeder finisher-Production breeding pig herds only -Production-Flooring -feed	%	0,1518		0,2903		0,1471		0,036		5,94	Baseline survey 2008
Elevage	BF-Inside-Continuous-Slated flooring-Dry feed	Breeder finisher-Production breeding pig herds only -Production-Flooring -feed	%	0,0000		0		0,053		0,0401		27,77	Baseline survey 2008
Elevage	BF-Inside-Continuous-Slated flooring-wet feed	Breeder finisher-Production breeding pig herds only -Production-Flooring -feed	%	0,1518		0,1613		0,0465		0,036		23,46	Baseline survey 2008
Elevage	BF-Outside-AIOA production-Solid flooring-Dry feed	Breeder finisher-Production breeding pig herds only -Production-Flooring -feed	%	0,0000		0		0,0233		0,2561		0,03	Baseline survey 2008
Elevage	BF-Outside-AIOA production-Solid flooring-wet feed	Breeder finisher-Production breeding pig herds only -Production-Flooring -feed	%	0,0100		0,0161		0		0,2188		0,03	Baseline survey 2008

Mailion /Module	Code de la variable dans SIP	Nom de la variable dans SIP	Unité	Valeurs utilisées dans le modèle européen (EFSA, 2010)								Valeur de paramètre France	
				Valeur du paramètre pour l'état membre n° 4	Source MS4	Valeur du paramètre pour l'état membre n°3	Source MS3	Valeur du paramètre pour l'état membre n°2	Source MS2	Valeur du paramètre pour l'état membre n°1	Source MS1	Valeur dans SiPFR	source
Elevage	BF-Outside-AIOA production-Slatted flooring-Dry feed	Breeder finisher-Production breeding pig herds only -Production-Flooring -feed	%	0,0000		0		0,0065		0		0,14	Baseline survey 2008
Elevage	BF-Outside-AIOA production-Slatted flooring-wet feed	Breeder finisher-Production breeding pig herds only -Production-Flooring -feed	%	0,0000		0		0		0		0,12	Baseline survey 2008
Elevage	BF-Outside-Continuous-Solid flooring-Dry feed	Breeder finisher-Production breeding pig herds only -Production-Flooring -feed	%	0,0000		0		0,0129		0,0062		0,06	Baseline survey 2008
Elevage	BF-Outside-Continuous-Solid flooring-wet feed	Breeder finisher-Production breeding pig herds only -Production-Flooring -feed	%	0,0100		0,0161		0		0		0,05	Baseline survey 2008
Elevage	BF-Outside-Continuous-Slatted flooring-Dry feed	Breeder finisher-Production breeding pig herds only -Production-Flooring -feed	%	0,0000		0		0,0099		0		0,25	Baseline survey 2008
Elevage	BF-Outside-Continuous-Slatted flooring-wet feed	Breeder finisher-Production breeding pig herds only -Production-Flooring -feed	%	0,0700		0		0		0		0,21	Baseline survey 2008
Elevage	BW- Inside-AIOA production-Solid flooring-Dry feed	Breeder weaner-Production breeding pig herds only -Production-Flooring -feed	%	0,0700		0,036		0,4832		0,0138		5,42	Baseline survey 2008
Elevage	BW-Inside-AIOA production-Solid flooring-wet feed	Breeder weaner-Production breeding pig herds only -Production-Flooring -feed	%	0,1963		0,1982		0,0832		0,0123		3,91	Baseline survey 2008
Elevage	BW-Inside-AIOA production-Slatted flooring-Dry feed	Breeder weaner-Production breeding pig herds only -Production-Flooring -feed	%	0,1408		0,045		0,0349		0,2431		14,41	Baseline survey 2008
Elevage	BW-Inside-AIOA production-Slatted flooring-wet feed	Breeder weaner-Production breeding pig herds only -Production-Flooring -feed	%	0,1938		0,1171		0,0993		0,2178		10,41	Baseline survey 2008
Elevage	BW-Inside-Continuous-Solid flooring-Dry feed	Breeder weaner-Production breeding pig herds only -Production-Flooring -feed	%	0,0568		0,045		0,1315		0,0138		10,08	Baseline survey 2008
Elevage	BW-Inside-Continuous-Solid flooring-wet feed	Breeder weaner-Production breeding pig herds only -Production-Flooring -feed	%	0,2440		0,4054		0,0214		0,0123		7,28	Baseline survey 2008

Mailion /Module	Code de la variable dans SIP	Nom de la variable dans SIP	Unité	Valeurs utilisées dans le modèle européen (EFSA, 2010)								Valeur de paramètre France	
				Valeur du paramètre pour l'état membre n° 4	Source MS4	Valeur du paramètre pour l'état membre n°3	Source MS3	Valeur du paramètre pour l'état membre n°2	Source MS2	Valeur du paramètre pour l'état membre n°1	Source MS1	Valeur dans SiPFR	source
Elevage	BW-Inside-Continuous-Slated flooring-Dry feed	Breeder weaner- Production breeding pig herds only -Production-Flooring -feed	%	0,0190		0,018		0,0134		0,1834		26,83	Baseline survey 2008
Elevage	BW-Inside-Continuous-Slated flooring-wet feed	Breeder weaner- Production breeding pig herds only -Production-Flooring -feed	%	0,0691		0,1081		0,1328		0,1644		19,38	Baseline survey 2008
Elevage	BW-Outside-AIOA production-Solid flooring-Dry feed	Breeder weaner- Production breeding pig herds only -Production-Flooring -feed	%	0,0000		0		0		0		0,13	Baseline survey 2008
Elevage	BW-Outside-AIOA production-Solid flooring-wet feed	Breeder weaner- Production breeding pig herds only -Production-Flooring -feed	%	0,0650		0,09		0		0,0218		0,09	Baseline survey 2008
Elevage	BW-Outside-AIOA production-Slated flooring-Dry feed	Breeder weaner- Production breeding pig herds only -Production-Flooring -feed	%	0,0000		0		0		0		0,33	Baseline survey 2008
Elevage	BW-Outside-AIOA production-Slated flooring-wet feed	Breeder weaner- Production breeding pig herds only -Production-Flooring -feed	%	0,0000		0		0		0,0219		0,24	Baseline survey 2008
Elevage	BW-Outside-Continuous-Solid flooring-Dry feed	Breeder weaner- Production breeding pig herds only -Production-Flooring -feed	%	0,0000		0		0		0,0245		0,23	Baseline survey 2008
Elevage	BW-Outside-Continuous-Solid flooring-wet feed	Breeder weaner- Production breeding pig herds only -Production-Flooring -feed	%	0,0038		0,018		0		0,0219		0,17	Baseline survey 2008
Elevage	BW-Outside-Continuous-Slated flooring-Dry feed	Breeder weaner- Production breeding pig herds only -Production-Flooring -feed	%	0,0000		0		0		0,0245		0,62	Baseline survey 2008
Elevage	BW-Outside-Continuous-Slated flooring-wet feed	Breeder weaner- Production breeding pig herds only -Production-Flooring -feed	%	0,0056		0		0,003		0,0245		0,45	Baseline survey 2008
Elevage	FO- Inside-AIOA production-Solid flooring-Dry feed	Finisher Only- Production breeding pig herds only - Production-Flooring -feed	%	0,7040		0,0484		0,5225		0,0138		1,02	IFIP 2007
Elevage	FO-Inside-AIOA production-Solid flooring-wet feed	Finisher Only- Production breeding pig herds only - Production-Flooring -feed	%	0,2028		0,2581		0,1156		0,0341		1,98	IFIP 2007

Maillon /Module	Code de la variable dans SIP	Nom de la variable dans SIP	Unité	Valeurs utilisées dans le modèle européen (EFSA, 2010)								Valeur de paramètre France	
				Valeur du paramètre pour l'état membre n° 4	Source MS4	Valeur du paramètre pour l'état membre n°3	Source MS3	Valeur du paramètre pour l'état membre n°2	Source MS2	Valeur du paramètre pour l'état membre n°1	Source MS1	Valeur dans SiPFR	source
Elevage	FO-Inside-AIOA production-Slated flooring-Dry feed	Finisher Only- Production breeding pig herds only - Production-Flooring -feed	%	0,1408		0,0968		0,1859		0,2431		11,59	IFIP 2007
Elevage	FO-Inside-AIOA production-Slated flooring-wet feed	Finisher Only- Production breeding pig herds only - Production-Flooring -feed	%	0,1938		0,0968		0,0428		0,2397		22,50	IFIP 2007
Elevage	FO-Inside-Continuous-Solid flooring-Dry feed	Finisher Only- Production breeding pig herds only - Production-Flooring -feed	%	0,0560		0,0161		0,0791		0,0383		0,66	IFIP 2007
Elevage	FO-Inside-Continuous-Solid flooring-wet feed	Finisher Only- Production breeding pig herds only - Production-Flooring -feed	%	0,1478		0,2903		0,0182		0,0342		1,28	IFIP 2007
Elevage	FO-Inside-Continuous-Slated flooring-Dry feed	Finisher Only- Production breeding pig herds only - Production-Flooring -feed	%	0,0129		0		0,0293		0,2079		21,32	IFIP 2007
Elevage	FO-Inside-Continuous-Slated flooring-wet feed	Finisher Only- Production breeding pig herds only - Production-Flooring -feed	%	0,0747		0,1613		0,0067		0,1889		41,39	IFIP 2007
Elevage	FO-Outside-AIOA production-Solid flooring-Dry feed	Finisher Only- Production breeding pig herds only - Production-Flooring -feed	%	0,0000		0		0		0		0,00	IFIP 2007
Elevage	FO-Outside-AIOA production-Solid flooring-wet feed	Finisher Only- Production breeding pig herds only - Production-Flooring -feed	%	0,0000		0,0161		0		0		0,00	IFIP 2007
Elevage	FO-Outside-AIOA production-Slated flooring-Dry feed	Finisher Only- Production breeding pig herds only - Production-Flooring -feed	%	0,0000		0		0		0		0,02	IFIP 2007
Elevage	FO-Outside-AIOA production-Slated flooring-wet feed	Finisher Only- Production breeding pig herds only - Production-Flooring -feed	%	0,0000		0		0		0		0,05	IFIP 2007
Elevage	FO-Outside-Continuous-Solid flooring-Dry feed	Finisher Only- Production breeding pig herds only - Production-Flooring -feed	%	0,0000		0		0		0		0,00	IFIP 2007
Elevage	FO-Outside-Continuous-Solid flooring-wet feed	Finisher Only- Production breeding pig herds only - Production-Flooring -feed	%	0,0000		0,0161		0		0		0,00	IFIP 2007
Elevage	FO-Outside-Continuous-Slated flooring-Dry feed	Finisher Only- Production breeding pig herds only - Production-Flooring -feed	%	0,0000		0		0		0		0,04	IFIP 2007
Elevage	FO-Outside-Continuous-Slated flooring-wet feed	Finisher Only- Production breeding pig herds only - Production-Flooring -feed	%	0,0000		0		0		0		0,08	IFIP 2007

Maillon /Module	Code de la variable dans SIP	Nom de la variable dans SIP	Unité	Valeurs utilisées dans le modèle européen (EFSA, 2010)								Valeur de paramètre France	
				Valeur du paramètre pour l'état membre n° 4	Source MS4	Valeur du paramètre pour l'état membre n°3	Source MS3	Valeur du paramètre pour l'état membre n°2	Source MS2	Valeur du paramètre pour l'état membre n°1	Source MS1	Valeur dans SiPFR	source
Elevage	bfp	National herd prevalence of Salmonella in breeding herd (EFSA/Defra 2009)	%	0,1368	EFSA Breeding survey data Defra 32009	0,0839	EFSA Breeding survey data	0,44	EFSA Breeding survey data	0,0595	EFSA Breeding survey data	0,5	Plan de surveillance EFSA Breeding survey data for France: 0,387
Elevage	sowp	Within-herd prevalence of <i>Salmonella</i> excretion in sows	%	0,2100	EFSA Breeding survey data	0,21	EFSA Breeding survey data	0,21	EFSA Breeding survey data	0,21	EFSA Breeding survey data	0,21	
Elevage	pfeed	Prevalence of feed contamination	%	0,1000	Assumed from EFSA 2008b; VLA2008	0,1	Assumed from EFSA 2008b; VLA2008	0,1	Assumed from EFSA 2008b; VLA2008	0,1	Assumed from EFSA 2008b; VLA2008	0,01	Avis experts
Elevage	farperiod	Farrowing period length (days)	jour	28		28		28		28		28	Avis experts
Elevage	weanperiod	Weaning period length (days)	jour	28		28		28		28		28	Avis experts
Elevage	growperiod	Growing period length (days)	jour	42	Brent 1986, Sainsbury 1976)	42	Brent 1986, Sainsbury 1976)	42	Brent 1986, Sainsbury 1976)	42	Brent 1986, Sainsbury 1976)	42	Valeur EFSA 2010
Elevage	finperiod	Finishing period length (days)	jour	84	Pig year book 2008	84	Pig year book 2008	84	Pig year book 2008	84	Pig year book 2008	84	Valeur EFSA 2010
Elevage	piglets	Number of piglets produced by a sow per farrow		10	assumed	10	assumed	10	assumed	10	assumed	11	Valeur EFSA 2010
Elevage	farpen	Number of pens in farrowing building/Number of sows in farrowing group		10	assumed	16	assumed	16	assumed	16	assumed	16	Valeur EFSA 2010
Elevage	farbldg	Number of farrowing buildings on farm		5,0000	assumed	5	assumed	5	assumed	5	assumed	5	Avis experts
Elevage	nwean	Number of weaners within a single pen		40,0000	assumed	40	assumed	40	assumed	40	assumed	20	Avis experts
Elevage	weapen	Number of weaner pens in room		4,0000	assumed	4	assumed	4	assumed	4	assumed	4	Avis experts
Elevage	wearoom	Number of weaner rooms in building/farm		4,0000	assumed	4	assumed	4	assumed	4	assumed	4	Avis experts
Elevage	ngrow	Number of growers within a single pen		40,0000	assumed	40	assumed	40	assumed	40	assumed	40	Avis experts

Mailion /Module	Code de la variable dans SIP	Nom de la variable dans SIP	Unité	Valeurs utilisées dans le modèle européen (EFSA, 2010)								Valeur de paramètre France			
				Valeur du parametre pour l'état membre n° 4	Source MS4	Valeur du parametre pour l'état membre n°3	Source MS3	Valeur du parametre pour l'état membre n°2	Source MS2	Valeur du parametre pour l'état membre n°1	Source MS1	Valeur dans SiPFR	source		
Elevage	growpen	Number of growers pens in building		4,0000	assumed	4	assumed	4	assumed	4	assumed	4	assumed	4	Avis experts
Elevage	growroom	Number of growers buildings on farm		6,0000	assumed	6	assumed	6	assumed	6	assumed	6	assumed	6	Avis experts
Elevage	nfin	Number of finishers within a single pen		40,0000	assumed	40	assumed	40	assumed	40	assumed	40	assumed	40	Avis experts
Elevage	finpen	Number of finishing pens in room		4,0000	assumed	4	assumed	4	assumed	4	assumed	4	assumed	4	Avis experts
Elevage	finroom	Number of finishing rooms in building		6,0000	assumed	6	assumed	6	assumed	6	assumed	6	assumed	6	Avis experts
Elevage	finbldg	Number of finishing buildings on farm		2,0000	assumed	2	assumed	2	assumed	2	assumed	2	assumed	2	Avis experts
transport	pen capacity Number of pigs in pen in transport	capacité d'enclos dans le camion	pigs/pen	14(14%); 15(14%);16(14%);17(14%);18(14%);19(14%);20(14%)	Guise et al. (1996)	Pearson Distribution :BP(10,12, 5,5)	Much (2009) Guise et al. (1996) Mizgier (2009)	14(14%); 15(14%);16(14%);17(14%);18(14%);19(14%);20(14%)	Guise et al. (1996)	Pearson Distribution :BP(10,12, 5,5)	Much (2009) Guise et al. (1996) Mizgier (2009)	15 porcs par case (camion de 12 cases avec 180 porcs au total)		Avis experts	
transport	truck capacity Number of pens in truck	capacité des camions	batch size/truck	Loi uniforme Min= 50; Max = 500	Assumed by author	Loi uniforme Min= 50; Max = 500	Assumed by author	Loi uniforme Min= 50; Max = 500	Assumed by author	Loi uniforme Min= 50; Max = 500	Assumed by author	12 cases par camion donc 192		Avis experts	
transport	duration	durée transport	h	Moyenne= 60,71min; P5=6min P95=204 min	AMLS 2005 (figure 8,20 du rapport) = estimation UK	beta pert distribution Min=0,7h Most likeky= 3,1 Max=10 h $\alpha=2,46$ $\beta=4,67$	Mizgier 2009	Moyenne= 60,71min; P5=6min P95=204 min	AMLS 2005 (figure 8,20 du rapport)	beta pert distribution Min=0,5h Most likeky= 1h Max=8 h $\alpha=1,05$ $\beta=3,94$	Much2009	de 30 min à 16 heures (moyenne de 2h28)		Avis experts	
transport	stocking density of pigs	densité de stockage dans le camion (pig / m ²)	(pigs/m ²)	uniformDistribution(0.42 , 0.83)	Defra 2004	uniformDistribution(0.42 , 0.83)	Defra 2004	uniformDistribution(0.42 , 0.83)	Defra 2004	uniformDistribution(0.42 , 0.83)	Defra 2004	2 porcs par m ² pour porc de 110 à 120 kg. 1,4 porcs/m ² si porc lourd > à 120 kg.	www.animaltrainsportgui.es.eu (publié en 2017)		
transport	prob. Of reversion to shedding while transport (modèle) prob. Of pig becoming stressed during transport (rapport)	probabilité de retour à l'excrétion (=définition dans le modèle) Probabilité de passer dans un état de stress	%	0,2	Assumed by author based on Davies (2008),	0,2	Assumed by author based on Davies (2008),	0,2	Assumed by author based on Davies (2008),	0,2	Assumed by author based on Davies (2008),	0,2		Avis experts	

Maillon /Module	Code de la variable dans SIP	Nom de la variable dans SIP	Unité	Valeurs utilisées dans le modèle européen (EFSA, 2010)								Valeur de paramètre France	
				Valeur du paramètre pour l'état membre n° 4	Source MS4	Valeur du paramètre pour l'état membre n°3	Source MS3	Valeur du paramètre pour l'état membre n°2	Source MS2	Valeur du paramètre pour l'état membre n°1	Source MS1	Valeur dans SiPFR	source
		pour un cochon =définition rapport du consortium)			Cook (2008), expert opinion on reversion to excretion at farm		Cook (2008), expert opinion on reversion to excretion at farm		Cook (2008), expert opinion on reversion to excretion at farm		Cook (2008), expert opinion on reversion to excretion at farm		
transport	mean number of defecation per day	nombre moyen de défécations par jour	defecations / hour	3.1/12	Aarnik et al. (2005)	3.1/12	Aarnik et al. (2005)	3.1/12	Aarnik et al. (2005)	3.1/12	Aarnik et al. (2005)	3.1/12	(Aarnik et al. 2006)
transport	Amount of feces per defecation	masse de fécès par défécation (en g)	g	gammaDistribution(2580^2,5 0^2)	Assumed	gammaDistribution(2580^2,5 0^2)	Assumed	gammaDistribution(2580^2,5 0^2)	Assumed	gammaDistribution(2580^2,5 0^2)	Assumed	gammaDistribution(2580^2,50^2)	Avis experts
transport	environmental carry over	portage environnement (oui/non)		binomialDistribution(1, 5/18); % senvtrans(=5)/nenvtrans(=18)	OZO323 & mannion et al 2008	binomialDistribution(1, 5/18); % senvtrans(=5)/nenvtrans(=18)	OZO323 & mannion et al 2008	binomialDistribution(1, 5/18); % senvtrans(=5)/nenvtrans(=18)	OZO323 & mannion et al 2008	binomialDistribution(1, 5/18); % senvtrans(=5)/nenvtrans(=18)	OZO323 & mannion et al 2008	binomialDistribution(1, 5/18); % senvtrans(=5)/nenvtrans(=18)	(Mannion et al. 2008)
transport	environmental carry over amount	portage salmo pendant le transport (cfu/cm²)	(cfu/cm²)	uniformDistribution(0, 110/1000)	mannion et al 2008	uniformDistribution(0, 110/1000)	mannion et al 2008	uniformDistribution(0, 110/1000)	mannion et al 2008	uniformDistribution(0, 110/1000)	mannion et al 2008	uniformDistribution(0, 110/1000)	(Leblanc-Maridor et al. 2017)
transport	fecal carry over	portage fécal		binomialDistribution(1, 1/9); % sfaetrans(1)/nfaetrans(9) (1camio/9 montre infection)	mannion et al 2008	binomialDistribution(1, 1/9); % sfaetrans(1)/nfaetrans(9) (1camio/9 montre infection)	mannion et al 2008	binomialDistribution(1, 1/9); % sfaetrans(1)/nfaetrans(9) (1camio/9 montre infection)	mannion et al 2008	binomialDistribution(1, 1/9); % sfaetrans(1)/nfaetrans(9) (1camio/9 montre infection)	mannion et al 2008	binomialDistribution(1, 1/9); % sfaetrans(1)/nfaetrans(9) (1camio/9 montre infection) (A noter que Cevallos-Almeida montre (étude expérimentale) une quantité moyenne de 138UFC/g de fécès chez des porcs positifs)	(Almeida et al. 2017) (Mannion et al. 2008)
transport	fecal carry over amount	quantité maximale de portage fécal par transport (g/truck)	(g/truck)	uniformDistribution(0, 990)	Serrano-garcia 2008	uniformDistribution(0, 990)	Serrano-garcia 2008	uniformDistribution(0, 990)	Serrano-garcia 2008	uniformDistribution(0, 990)	Serrano-garcia 2008	uniformDistribution(0, 990)	(Serrano-García et al. 2008)
transport	feces eaten	quantité de fécès ingérés par porc (en g/heure)	g/H	uniformDistribution(0, 100/12)	Cook (2009) expert	uniformDistribution(0, 100/12)	Cook (2009) expert	uniformDistribution(0, 100/12)	100/12	uniformDistribution(0, 100/12)	100/12	uniformDistribution(0, 100/12)	(Arnold et Cook 2009)

Maillon /Module	Code de la variable dans SIP	Nom de la variable dans SIP	Unité	Valeurs utilisées dans le modèle européen (EFSA, 2010)								Valeur de paramètre France	
				Valeur du paramètre pour l'état membre n° 4	Source MS4	Valeur du paramètre pour l'état membre n°3	Source MS3	Valeur du paramètre pour l'état membre n°2	Source MS2	Valeur du paramètre pour l'état membre n°1	Source MS1	Valeur dans SiPFR	source
					opinion		opinion						
dose réponse chez l'animal	alpha of dose -response relation			0,1766	Loynachan & Harris 2005; Tenhagen et al. 2009	0,1766	Loynachan & Harris 2005; Tenhagen et al. 2009	0,1766	Loynachan & Harris 2005; Tenhagen et al. 2009	0,1766	Loynachan & Harris 2005; Tenhagen et al. 2009	0,1766	(Loynachan et Harris 2005, Tenhagen et al. 2009)
dose réponse chez l'animal	beta of dose response relation			20235	Loynachan & Harris 2005; Tenhagen et al. 2009	20235	Loynachan & Harris 2005; Tenhagen et al. 2009	20235	Loynachan & Harris 2005; Tenhagen et al. 2009	20235	Loynachan & Harris 2005; Tenhagen et al. 2009	20235	(Loynachan et Harris 2005, Tenhagen et al. 2009)
attente à l'abattoir	Mixing of batches during lairage	mélange de lot pendant la stabulation (distrib binomiale pour oui/non)	binomial	0		0		0		0		0	
attente à l'abattoir	pen capacity	nombre maximum de porc	pig	50	Boughton et al. (2007)	50	Boughton et al. (2007)	50	Boughton et al. (2007) DEFRA 2004	50	Boughton et al. (2007)	20 en my France	Avis experts
attente à l'abattoir	duration of stay in lairage during night	durée de stabulation (nuit en stab.)	h	gammaDistribution(58.52, 1/3.83)	FSA 2006	pearsonDistribution(14.349617 35, sqrt(10.19 569429), 0.4605, 2.6825)	Mizgier 2009	gammaDistribution(58.52, 1/3.83)	FSA 2006	gammaDistribution(58.52, 1/3.83)	FSA 2006	8 heures durée my	Avis experts
attente à l'abattoir	duration of stay in lairage during day	durée de stabulation en journée	h	gammaDistribution(7.84, 1/2.8)	FSA 2006	pearsonDistribution(7.2584444 44, sqrt(11.08 002178), 0.6116, 2.8604)	Mizgier 2009	gammaDistribution(7.84, 1/2.8)	FSA 2006	gammaDistribution(7.84, 1/2.8)	FSA 2006	4 heures durée my	Avis experts
attente à l'abattoir	environmental carry over	portage environnement (oui/non)		51/150	Davies et al. (1999); Boughton et al., (2007) &	51/150	Davies et al. (1999); Boughton et al., (2007) &	51/150	Davies et al. (1999); Boughton et al., (2007) &	51/150	Davies et al. (1999); Boughton et al., (2007) & VLA, (2009a)	33 + / 80 prélevés en fin de journée d'abattage (41,2%)	(Rossel, Le Roux, et Minvielle 2002)

Mailion /Module	Code de la variable dans SIP	Nom de la variable dans SIP	Unité	Valeurs utilisées dans le modèle européen (EFSA, 2010)								Valeur de paramètre France	
				Valeur du parametre pour l'état membre n° 4	Source MS4	Valeur du parametre pour l'état membre n°3	Source MS3	Valeur du parametre pour l'état membre n°2	Source MS2	Valeur du parametre pour l'état membre n°1	Source MS1	Valeur dans SiPFR	source
					VLA, (2009a)		VLA, (2009a)		VLA, (2009a)				
attente à l'abattoir	environmental carry over amount	portage salmo pendant la stabulation (cfu/cm ²)	cfu/cm ²	uniformDistribution(0,990)	Serrano-garcia 2008	uniformDistribution(0,990)	Serrano-garcia 2008	uniformDistribution(0,990)	Serrano-garcia 2008	uniformDistribution(0,990)	Serrano-garcia 2008	1 UFC/cm ² en moyenne	(Leblanc-Maridor et al. 2017)
attente à l'abattoir	fecal carry over	proba de portage fécal		0,80	?	0,80	?	0,80	?	0,80		0,80	?
attente à l'abattoir	fecal carry over amount	quantité maximale de portage fécal par transport (g par porc par heure)	g/pig/h	uniformDistribution(0,550/100)	Boughton et al. (2007)	uniformDistribution(0,550/100)	Boughton et al. (2007)	uniformDistribution(0,550/100)	Boughton et al. (2007)	uniformDistribution(0,550/100)	Boughton et al. (2007)	uniformDistribution(0,550/100)	(Boughton et al. 2007)
attente à l'abattoir	defecations per hour	nombre moyen de défécations par heure	defecations / hour	3.1/12	assume same as transport	3.1/12	assume same as transport	3.1/12	assume same as transport	3.1/12	assume same as transport	1 fois toutes les 2 heures	Avis experts
attente à l'abattoir	feces eaten	quantité de fécès ingérés en gramme par heure	g/h	100/12	ASSUMED	100/12	ASSUMED	100/12	ASSUMED	100/12	ASSUMED	100/12	ASSUMED
attente à l'abattoir	pen cleaned between days	nettoyage enclos stab. Chaque nuit	proba	0,25	FSA (2006)	0,25	FSA (2006)	0,25	FSA (2006)	0,25	FSA (2006)	0,25	(FSA 2006)
attente à l'abattoir	log reduction by pressure washing	reduction après nettoyage sous pression		normalDistribution(2.5, 0.7)	small et al,2007	normalDistribution(2.5, 0.7)	small et al,2007	normalDistribution(2.5, 0.7)	small et al,2007	normalDistribution(2.5, 0.7)	small et al,2007	normalDistribution(2.5, 0.7)	(Small et al. 2007)
attente à l'abattoir	log reduction by steam washing	reduction après nettoyage à la vapeur		normalDistribution(0.9, 0.7)	small et al,2007	normalDistribution(0.9, 0.7)	small et al,2007	normalDistribution(0.9, 0.7)	small et al,2007	normalDistribution(0.9, 0.7)	small et al,2007	normalDistribution(0.9, 0.7)	(Small et al. 2007)
attente à l'abattoir	log reduction by steam washing	reduction après nettoyage désinfection		normalDistribution(4.5, 0.9)	small et al,2007	normalDistribution(4.5, 0.9)	small et al,2007	normalDistribution(4.5, 0.9)	small et al,2007	normalDistribution(4.5, 0.9)	small et al,2007	normalDistribution(4.5, 0.9)	(Small et al. 2007)
attente à l'abattoir	Amount of feces per defecation during lairage	masse de fécès par défécation (en g) pendant l'attente	g	gammaDistribution(2580^2,5 0^2)	Assumed	gammaDistribution(2580^2,5 0^2)	Assumed	gammaDistribution(2580^2,5 0^2)	Assumed	gammaDistribution(2580^2,5 0^2)	Assumed	100 à 200 gr par défécation	Avis experts
attente à l'abattoir	average number of cfu shed per gram of faeces in lairage	quantité moyenne de cfu excrétés par g de fécès pendant la stab.	cfu/g	100		100		100		100		100	
attente à l'abattoir	concentration of salmonella on hide	proba concentration salmo	log10 cfu/cm ²	0.3; 0.5; 0.2	Assumed	0.3; 0.5; 0.2	Assumed	0.3; 0.5; 0.2	Assumed	0.3; 0.5; 0.2	Assumed	0.3; 0.5; 0.2	Assumed
attente à l'abattoir	proportion increase/decrease between caecal infection and skin conta			14 36 41 52 79 80 94 102 voir la figure 8,3 du rapport	Davies 1999	14 36 41 52 79 80 94 102 voir la figure 8,3 du rapport	Davies 1999	14 36 41 52 79 80 94 102 voir la figure 8,3 du rapport	Davies 1999	14 36 41 52 79 80 94 102 voir la figure 8,3 du rapport	Davies 1999	14 36 41 52 79 80 94 102 voir la figure 8,3 du rapport	(Davies, McLaren, et Bedford 1999)

Maillon /Module	Code de la variable dans SIP	Nom de la variable dans SIP	Unité	Valeurs utilisées dans le modèle européen (EFSA, 2010)								Valeur de paramètre France	
				Valeur du paramètre pour l'état membre n° 4	Source MS4	Valeur du paramètre pour l'état membre n°3	Source MS3	Valeur du paramètre pour l'état membre n°2	Source MS2	Valeur du paramètre pour l'état membre n°1	Source MS1	Valeur dans SiPFR	source
attente à l'abattoir	pens open overnight prob of pens kept overnight [0pens, 1pen, 2pens, etc....	proba de nombre d'enclos gardés toute la nuit pour abattage le lendemain	probalité	discreteGeneral([0,1,2],[0.2,0.7,0.1])	FSA 2006	pearsonDistribution(0.51727778, sqrt(0.01300867), 0.5184, 2.7445)	Mizgier 2009	discreteGeneral([0,1,2],[0.2,0.7,0.1])	FSA 2006	discreteGeneral([0,1,2],[0.2,0.7,0.1])	FSA 2006	discreteGeneral([0,1,2],[0.2,0.7,0.1])	(FSA 2006)
attente à l'abattoir	probability of log cfu/g shed	proba de concentration /excretion	proba	0.3 0.6 0.05 0.05	Davies 1999	0.3 0.6 0.05 0.05	Davies 1999	0.3 0.6 0.05 0.05	Davies 1999	0.3 0.6 0.05 0.05	Davies 1999	0.3 0.6 0.05 0.05	(Davies, McLaren, et Bedford 1999)
Scalding	temperature of scalding water	temperature eau échaudage	°C	U(58;60) (Lire équiprobable entre 58°C et 60°C)	European Guideline	U(58;60) (Lire équiprobable entre 58°C et 60°C)	European Guideline	BP (58,60,64) (min, mode, max)	Wilkin et al 2007	U(58;60) (Lire équiprobable entre 58°C et 60°C)	European Guideline	U(58;60) (Lire équiprobable entre 58°C et 60°C)	European Guideline
Scalding	time spent in scalding water	temps échaudage	min	5,9	moyenne données tableau A9,36 (données du DK, UK, NL, Norway et Belgique)	5,9	moyenne données tableau A9,36 (données du DK, UK, NL, Norway et Belgique)	U (2,7;7;,7,5)	Wilkin et al 2007	5,9	moyenne données tableau A9,36 (données du DK, UK, NL, Norway et Belgique)	6 à 7 semblent représentatives de la France	Avis experts
Scalding	Transfer from pig to water	Fraction de bactérie transférée du porc à l'eau d'échaudage	fraction de bactérie	0,02	Namvar et Warrimer 2005	0,02	Namvar et Warrimer 2005	0,02	Namvar et Warrimer 2005	0,02	Namvar et Warrimer 2005	0,02	(Namvar et Warrimer 2005)
Dehairing	feces extruded during dehairing		g	10	Assumed by EFSA (obtained from a dutch slaughterhouse)	10	Assumed by EFSA (obtained from a dutch slaughterhouse)	10	Assumed by EFSA (obtained from a dutch slaughterhouse)	10	Assumed by EFSA (obtained from a dutch slaughterhouse)	10	Assumed by EFSA (obtained from a dutch slaughterhouse)
Dehairing	time spent in dehairing		min	U(0.48,2.13)	Wilkin et al 2007	U(0.48,2.13)	Wilkin et al 2007	U(0.48,2.13)	Wilkin et al 2007	U(0.48,2.13)	Wilkin et al 2007	U(0.48,2.13)	Techniporc
Dehairing	transfer from pig to machine	Fraction de bactéries transférée du porc à la machine	fraction de bactérie	0,18	Namvar et Warrimer 2005	0,18	Namvar et Warrimer 2005	0,18	Namvar et Warrimer 2005	0,18	Namvar et Warrimer 2005	Ok avec cette valeur	

Maillon /Module	Code de la variable dans SIP	Nom de la variable dans SIP	Unité	Valeurs utilisées dans le modèle européen (EFSA, 2010)								Valeur de paramètre France	
				Valeur du paramètre pour l'état membre n° 4	Source MS4	Valeur du paramètre pour l'état membre n°3	Source MS3	Valeur du paramètre pour l'état membre n°2	Source MS2	Valeur du paramètre pour l'état membre n°1	Source MS1	Valeur dans SiPFR	source
Singeing	time spent trimming/ singeing	temps flambage	min	U(0.07,0.27)	Delhalle 2008	U(0.07,0.27)	Delhalle 2008	U(0.07,0.27)	Delhalle 2008	U(0.07,0.27)	Delhalle 2008	0,16 à 0,28	Techniporc
Singeing	temps de double flambage	temps double flambage	min									0,28 à 0,38 (Four 1 + Four 2)	techniporc
Singeing	inactivation rate during singeing	Facteur d'inactivation	cfu/min	23,7	Table 9,12 rapport	23,7	Table 9,12 rapport	23,7	Table 9,12 rapport	23,7	Table 9,12 rapport	23,7	Table 9,12 rapport
Polishing	number of feces extruded by pig during polishing		g	1								1	
Polishing	time spent in polishing		min	U(0.47,1.58)	Delhalle 2008	U(0.47,1.58)	Delhalle 2008	U(0.47,1.58)	Delhalle 2008	U(0.47,1.58)	Delhalle 2008	0,75 à 1	techniporc
Polishing	transfer pig to polishing machine	Fraction de bactéries transférée du porc à la machine	fraction de bactérie	0,02	Assumed by EFSA	0,02	Assumed by EFSA	0,02	Assumed by EFSA	0,02	Assumed by EFSA	0,02	Assumed by EFSA
Polishing	transfer polishing machine to pig		fraction de bactérie	U(-0.5,0)	Assumed by EFSA	U(-0.5,0)	Assumed by EFSA	U(-0.5,0)	Assumed by EFSA	U(-0.5,0)	Assumed by EFSA	U(-0.5,0)	Assumed by EFSA
Belly opening	fecal spillage to knife, evisceration	Fraction de bacterie transféré eau couteau pendant l'eviscération	fraction de bactérie	0,02	Titus 2007	0,02	Titus 2007	0,02	Titus 2007	0,02	Titus 2007	0,02	Titus 2007
Belly opening	probability of puncturing, evisceration	statut de l'abdomen (rompu/non rompu)	probabilité de rupture de l'abdomen	U(0.012,0.02)	Assumed by EFSA (dutch exert)	U(0.012,0.02)	Assumed by EFSA (dutch exert)	U(0.012,0.02)	Assumed by EFSA (dutch exert)	U(0.012,0.02)	Assumed by EFSA (dutch exert)	1% maximum??	
Belly opening	width of incision	largeur de l'incision	cm	0,1	Assumed by EFSA	0,1	Assumed by EFSA	0,1	Assumed by EFSA	0,1	Assumed by EFSA	0,1	Assumed by EFSA
Belly opening	amount of feces spilled from the gut		g	U(6.6,20.3)	Titus 2007	U(6.6,20.3)	Titus 2007	U(6.6,20.3)	Titus 2007	U(6.6,20.3)	Titus 2007	U(6.6,20.3)	(Titus 2007)
Belly opening	mass of carcass	poids carcasse	kg	N(79,2.9)	EFSA Baseline study	N(89,14)	EFSA Baseline study		EFSA Baseline study		EFSA Baseline study	N(79,2.9)	
Belly opening	length of incision	longueur de l'incision	cm	U(129,146)	Titus 2007	U(129,146)	Titus 2007	U(129,146)	Titus 2007	U(129,146)	Titus 2007	U(129,146)	(Titus 2007)
Fente en demi	transfer fraction from pig to the saw	fraction de bactérie transférée du porc à la scie/couteau	fraction de bactérie	PERT (0.13, 0.21, 0.29)	Kusumaningrum et al 2003	PERT (0.13, 0.21, 0.29)	Kusumaningrum et al 2003	PERT (0.13, 0.21, 0.29)	Kusumaningrum et al 2003	PERT (0.13, 0.21, 0.29)	Kusumaningrum et al 2003	PERT (0.13, 0.21, 0.29)	(Kusumaningrum et al. 2003)
Fente en demi	length of incision during splitting	longueur de l'incision (p214 pour info)		PERT (137.7,	Calculs à partir de	PERT (137.7,	Calculs à partir de	PERT (137.7,	Calculs à partir de	PERT (137.7,	Calculs à partir de	PERT (137.7, 152, 164.3)	(Titus 2007)

Maillon /Module	Code de la variable dans SIP	Nom de la variable dans SIP	Unité	Valeurs utilisées dans le modèle européen (EFSA, 2010)								Valeur de paramètre France	
				Valeur du paramètre pour l'état membre n° 4	Source MS4	Valeur du paramètre pour l'état membre n° 3	Source MS3	Valeur du paramètre pour l'état membre n° 2	Source MS2	Valeur du paramètre pour l'état membre n° 1	Source MS1	Valeur dans SiPFR	source
				152, 164.3)	Titus 2007	152, 164.3)	Titus 2007	152, 164.3)	Titus 2007	152, 164.3)	Titus 2007		
Fente en demi	width of incision	largeur de l'incision	cm	0,1	Titus 2007	0,1	Titus 2007	0,1	Titus 2007	0,1	Titus 2007	0,1	(Titus 2007)
Transformation	Pork Chop portion	portion moyenne côte de porc	200	data Luxembourg	200	data Luxembourg	146	Data from Irlande	146	Data from Irlande	180-200g		
Transformation	Minced meat portion	portion moyenne de viande hachée de porc	76,7	Food consumption data for acute exposure assessment, Prague 2004	76,7	Food consumption data for acute exposure assessment, Prague 2004	125	Data from Sweden 2009	125	Data from Sweden 2009		100	
Transformation	Fermented sausage portion	portion moyenne de saucisse fermentée	110	Food consumption data for acute exposure assessment, Prague 2004	110	Food consumption data for acute exposure assessment, Prague 2004	150	Data from Sweden 2009	150	Data from Sweden 2009		160	
Vente et preparation chez le consommateur Minced MEAT	Time in transport cutting plant to store	Temps de transport de l'atelier de découpe jusqu'au point de distribution	h	110	Derens et al. 2006	110	Derens et al. 2006	110	Derens et al. 2006	110	Derens et al. 2006	110	(Derens, Palagos, et Guilpart 2006)
Vente et preparation chez le consommateur Minced MEAT	temperarure in transport cutting plant to store	Température pendant le transport	°C	General ([-2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8], [0.9, 2.5, 7.7, 12.6, 21.4, 25.3, 18.5, 7.4, 2.8, 0.9]/100)	Peck et al. 2006	General Distribution ([-2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8], [0.9, 2.5, 7.7, 12.6, 21.4, 25.3, 18.5, 7.4, 2.8, 0.9]/100)	Peck et al. 2006	General ([-2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8], [0.9, 2.5, 7.7, 12.6, 21.4, 25.3, 18.5, 7.4, 2.8, 0.9]/100)	Peck et al. 2006	General ([-2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8], [0.9, 2.5, 7.7, 12.6, 21.4, 25.3, 18.5, 7.4, 2.8, 0.9]/100)	Peck et al. 2006	N (2.85 , 0.75) [7]	(Derens, Palagos, et Guilpart 2006)
Vente et preparation chez le consommateur Minced	time in transport store to home	temps de transport entre point de distribution et foyer consommateur	h	PERT (10,45,300) (lire temps minimum,	Données finlande (même CLUSTER)	general Distribution ([0, 0.5, 1, 2], [0.96, 0.02, 0.02]	considéré comme égal à MS2	general Distribution ([0, 0.5, 1, 2], [0.96, 0.02, 0.02]	Data from UK	general Distribution ([0, 0.5, 1, 2], [0.96, 0.02, 0.02]	considéré comme égal à MS2	1h00	(Derens, Palagos, et Guilpart 2006)

Maillon /Module	Code de la variable dans SIP	Nom de la variable dans SIP	Unité	Valeurs utilisées dans le modèle européen (EFSA, 2010)								Valeur de paramètre France	
				Valeur du paramètre pour l'état membre n° 4	Source MS4	Valeur du paramètre pour l'état membre n°3	Source MS3	Valeur du paramètre pour l'état membre n°2	Source MS2	Valeur du paramètre pour l'état membre n°1	Source MS1	Valeur dans SiPFR	source
MEAT				temps le plus vraisemblable, temps maximum)))					
Vente et preparation chez le consommateur Mincéd MEAT	temperature in transport store to home	Température pendant le transport entre le point de vente et le foyer consommateur	°C	PERT (6,10,20) (lire temp. minimum, temp. La plus vraisemblable, temp. maximum)	Données finlande (même CLUSTER)	generalDistribution([-2,0,2,4,6,8,10],[0.003,0.023,0.135,0.242,0.253,0.344])	Derens et al. 2006	generalDistribution([-2,0,2,4,6,8,10],[0.003,0.023,0.135,0.242,0.253,0.344])	Derens et al. 2006	generalDistribution([-2,0,2,4,6,8,10],[0.003,0.023,0.135,0.242,0.253,0.344])	Derens et al. 2006	on garde	(Derens, Palagos, et Guilpart 2006)
Vente et preparation chez le consommateur Mincéd MEAT	time in refrigerator	Temps de conservation dans réfrigérateur du consommateur	h	generalDistribution([1/4,1/2,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,12,14],[16,72,104,29,13,3,0,11,0,0,0,0,3,0])	considéré comme égal à MS2	generalDistribution([1/4,1/2,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,12,14],[16,72,104,29,13,3,0,11,0,0,0,0,3,0])	considéré comme égal à MS2	generalDistribution([1/4,1/2,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,12,14],[16,72,104,29,13,3,0,11,0,0,0,0,3,0])	Data from UK	generalDistribution([1/4,1/2,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,12,14],[16,72,104,29,13,3,0,11,0,0,0,0,3,0])	considéré comme égal à MS2	96 max 23jours	(Derens, Palagos, et Guilpart 2006)
Vente et preparation chez le consommateur Mincéd MEAT	temperature in refrigerator	température du réfrigérateur	°C	generalDistribution(0:12,[0.01,0.02,0.05,0.09,0.11,0.17,0.22,0.15,0.12,0.04,0.01,0.01])	considérée comme égale à MS2	generalDistribution(0:12,[0.01,0.02,0.05,0.09,0.11,0.17,0.22,0.15,0.12,0.04,0.01,0.01])	considérée comme égale à MS2	generalDistribution(0:12,[0.01,0.02,0.05,0.09,0.11,0.17,0.22,0.15,0.12,0.04,0.01,0.01])	Data from UK	generalDistribution(0:12,[0.01,0.02,0.05,0.09,0.11,0.17,0.22,0.15,0.12,0.04,0.01,0.01])	considérée comme égale à MS2	N (5.9 , 2.9) [13.8]	
Vente et preparation chez le consommateur Mincéd MEAT	cooking time	temps de cuisson viande hachée	min	normalDistribution(11.5, (15-8)/(2*1.96))	Plusieurs sources (voir p274)	normalDistribution(11.5, (15-8)/(2*1.96))	Plusieurs sources (voir p274)	normalDistribution(11.5, (15-8)/(2*1.96))	Plusieurs sources (voir p274)	normalDistribution(11.5, (15-8)/(2*1.96))	Plusieurs sources (voir p274)		
Vente et preparation chez le consommateur Pork CHOP	Time in transport cutting plant to store	Temps de transport de l'atelier de découpe jusqu'au point de distribution	h	110	Derens et al. 2006	110	Derens et al. 2006	110	Derens et al. 2006	110	Derens et al. 2006	110	

Maillon /Module	Code de la variable dans SIP	Nom de la variable dans SIP	Unité	Valeurs utilisées dans le modèle européen (EFSA, 2010)								Valeur de paramètre France	
				Valeur du parametre pour l'état membre n° 4	Source MS4	Valeur du parametre pour l'état membre n°3	Source MS3	Valeur du parametre pour l'état membre n°2	Source MS2	Valeur du parametre pour l'état membre n°1	Source MS1	Valeur dans SiPFR	source
Vente et preparation chez le consommateur Pork CHOP	temperature in transport cutting plant to store	Température pendant le transport	°C	General ([-2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8], [0.9, 2.5, 7.7, 12.6, 21.4, 25.3, 18.5, 7.4, 2.8, 0.9]/100)	Peck et al. 2006	General Distribution ([-2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8], [0.9, 2.5, 7.7, 12.6, 21.4, 25.3, 18.5, 7.4, 2.8, 0.9]/100)	Peck et al. 2006	General ([-2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8], [0.9, 2.5, 7.7, 12.6, 21.4, 25.3, 18.5, 7.4, 2.8, 0.9]/100)	Peck et al. 2006	General ([-2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8], [0.9, 2.5, 7.7, 12.6, 21.4, 25.3, 18.5, 7.4, 2.8, 0.9]/100)	Peck et al. 2006	N (2.85 , 0.75) [7]	
Vente et preparation chez le consommateur Pork CHOP	time in transport store to home	temps de transport entre point de distribution et foyer consommateur	h	PERT (10,45,300) (lire temps minimum, temps le plus vraisemblable, temps maximum)	Données finlande (même CLUSTER)	general Distribution([0, 0.5, 1, 2], [0.96, 0.02, 0.02])	considéré comme égal à MS2	general Distribution([0, 0.5, 1, 2], [0.96, 0.02, 0.02])	Data from UK	general Distribution([0, 0.5, 1, 2], [0.96, 0.02, 0.02])	considérée comme égal à MS2	1h00	(Derens, Palagos, et Guilpart 2006)
Vente et preparation chez le consommateur Pork CHOP	temperature in transport store to home	Température pendant le transport entre le point de vente et le foyer consommateur	°C	PERT (6,10,20) (lire temp. minimum, temp. La plus vraisemblable, temp. maximum)	Données finlande (même CLUSTER)	general Distribution([- 2,0,2,4,6,8 ,10],[0.003 ,0.023,0.1 35, 0.242,0.25 3,0.344])	Derens et al. 2006	general Distribution([- 2,0,2,4,6,8 ,10],[0.003 ,0.023,0.1 35, 0.242,0.25 3,0.344])	Derens et al. 2006	general Distribution([- 2,0,2,4,6,8 ,10],[0.003 ,0.023,0.1 35, 0.242,0.25 3,0.344])	Derens et al. 2006	on garde	(Derens, Palagos, et Guilpart 2006)
Vente et preparation chez le consommateur Pork CHOP	time in refrigerator	Temps de conservation dans réfrigérateur du consommateur	h	general Distribution([1/4,1/2,1, 2,3,4,5,6,7 ,8,9,10,12, 14], [16,72,104 ,29,13,3,0, 11,0,0,0,0, 3,0])	considéré comme égal à MS2	general Distribution([1/4,1/2,1, 2,3,4,5,6,7 ,8,9,10,12, 14], [16,72,104 ,29,13,3,0, 11,0,0,0,0, 3,0])	considéré comme égal à MS2	general Distribution([1/4,1/2,1, 2,3,4,5,6,7 ,8,9,10,12, 14], [16,72,104 ,29,13,3,0, 11,0,0,0,0, 3,0])	Data from UK	general Distribution([1/4,1/2,1, 2,3,4,5,6,7 ,8,9,10,12, 14], [16,72,104 ,29,13,3,0, 11,0,0,0,0, 3,0])	considérée comme égal à MS2	96 max 23jours	
Vente et preparation chez le consommateur Pork CHOP	temperature in refrigerator	température du réfrigérateur	°C	general Distribution(0:12, [0.01, 0.02, 0.05, 0.09, 0.11, 0.17,0.22,	considérée comme égale à MS2	general Distribution(0:12, [0.01, 0.02, 0.05, 0.09, 0.11, 0.17,0.22,	considérée comme égale à MS2	general Distribution(0:12, [0.01, 0.02, 0.05, 0.09, 0.11, 0.17,0.22,	Data from UK	general Distribution(0:12, [0.01, 0.02, 0.05, 0.09, 0.11, 0.17,0.22,	considérée comme égale à MS2	N (5.9 , 2.9) [13.8]	(Derens, Palagos, et Guilpart 2006)

Maillon /Module	Code de la variable dans SIP	Nom de la variable dans SIP	Unité	Valeurs utilisées dans le modèle européen (EFSA, 2010)								Valeur de paramètre France	
				Valeur du parametre pour l'état membre n° 4	Source MS4	Valeur du parametre pour l'état membre n° 3	Source MS3	Valeur du parametre pour l'état membre n° 2	Source MS2	Valeur du parametre pour l'état membre n° 1	Source MS1	Valeur dans SiPFR	source
				0.15, 0.12, 0.04, 0.01, 0.01]		0.15, 0.12, 0.04, 0.01, 0.01]		0.15, 0.12, 0.04, 0.01, 0.01]		0.15, 0.12, 0.04, 0.01, 0.01]			
Vente et preparation chez le consommateur Pork CHOP	cooking time												
Vente et preparation chez le consommateur Fermented sausage ou dry cured sausage	Time in transport cutting plant to store	Temps de transport de l'atelier de découpe jusqu'au point de distribution	h	110	Derens et al. 2006	110	Derens et al. 2006	110	Derens et al. 2006	110	Derens et al. 2006	110	
Vente et preparation chez le consommateur Fermented sausage ou dry cured sausage	temperarure in transport cutting plant to store	Température pendant le transport	°C	General ([-2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8], [0.9, 2.5, 7.7, 12.6, 21.4, 25.3, 18.5, 7.4, 2.8, 0.9]/100)	Peck et al. 2006	General Distribution ([-2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8], [0.9, 2.5, 7.7, 12.6, 21.4, 25.3, 18.5, 7.4, 2.8, 0.9]/100)	Peck et al. 2006	General ([-2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8], [0.9, 2.5, 7.7, 12.6, 21.4, 25.3, 18.5, 7.4, 2.8, 0.9]/100)	Peck et al. 2006	General ([-2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8], [0.9, 2.5, 7.7, 12.6, 21.4, 25.3, 18.5, 7.4, 2.8, 0.9]/100)	Peck et al. 2006		
Vente et preparation chez le consommateur Fermented sausage ou dry cured sausage	time in transport store to home	temps de transport entre point de distribution et foyer consommateur	h	PERT (10,45,300) (lire temps minimum, temps le plus vraisemblable, temps maximum)	Données finlande (même CLUSTER)	generalDistribution([0, 0.5, 1, 2], [0.96, 0.02, 0.02])	considéré comme égal à MS2	generalDistribution([0, 0.5, 1, 2], [0.96, 0.02, 0.02])	Data from UK	generalDistribution([0, 0.5, 1, 2], [0.96, 0.02, 0.02])	considéré comme égal à MS2	1h00	
Vente et preparation chez le consommateur Fermented sausage ou dry cured	temperature in transport store to home	Température pendant le transport entre le point de vente et le foyer consommateur	°C	PERT (6,10,20) (lire temp. minimum, temp. La plus vraisemblable, temp.	Données finlande (même CLUSTER)	generalDistribution([- 2,0,2,4,6,8 ,10],[0.003 ,0.023,0.1 35, 0.242,0.25	Derens et al. 2006	generalDistribution([- 2,0,2,4,6,8 ,10],[0.003 ,0.023,0.1 35, 0.242,0.25	Derens et al. 2006	generalDistribution([- 2,0,2,4,6,8 ,10],[0.003 ,0.023,0.1 35, 0.242,0.25	Derens et al. 2006		(Derens, Palagos, et Guilpart 2006)

Maillon /Module	Code de la variable dans SIP	Nom de la variable dans SIP	Unité	Valeurs utilisées dans le modèle européen (EFSA, 2010)								Valeur de paramètre France	
				Valeur du paramètre pour l'état membre n° 4	Source MS4	Valeur du paramètre pour l'état membre n°3	Source MS3	Valeur du paramètre pour l'état membre n°2	Source MS2	Valeur du paramètre pour l'état membre n°1	Source MS1	Valeur dans SiPFR	source
sausage				maximum)		3,0.344])		3,0.344])		3,0.344])			
Vente et préparation chez le consommateur Fermented sausage ou dry cured sausage	time in refrigerator	Temps de conservation dans réfrigérateur du consommateur	h	generalDistribution([1/4,1/2,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,12,14],[16,72,104,29,13,3,0,11,0,0,0,0,3,0])	considéré comme égal à MS2	generalDistribution([1/4,1/2,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,12,14],[16,72,104,29,13,3,0,11,0,0,0,0,3,0])	considéré comme égal à MS2	generalDistribution([1/4,1/2,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,12,14],[16,72,104,29,13,3,0,11,0,0,0,0,3,0])	Data from UK	generalDistribution([1/4,1/2,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,12,14],[16,72,104,29,13,3,0,11,0,0,0,0,3,0])	considérée comme égal à MS2	5	Avis experts
Vente et préparation chez le consommateur Fermented sausage ou dry cured sausage	temperature in refrigerator	température du réfrigérateur	°C	generalDistribution(0:12,[0.01,0.02,0.05,0.09,0.11,0.17,0.22,0.15,0.12,0.04,0.01,0.01])	considérée comme égale à MS2	generalDistribution(0:12,[0.01,0.02,0.05,0.09,0.11,0.17,0.22,0.15,0.12,0.04,0.01,0.01])	considérée comme égale à MS2	generalDistribution(0:12,[0.01,0.02,0.05,0.09,0.11,0.17,0.22,0.15,0.12,0.04,0.01,0.01])	Data from UK	generalDistribution(0:12,[0.01,0.02,0.05,0.09,0.11,0.17,0.22,0.15,0.12,0.04,0.01,0.01])	considérée comme égale à MS2	N (5.9 , 2.9) [13.8] ou température ambiante	(Derens, Palagos, et Guilpart 2006)

8.5 Composition des CES SABA ET ALAN

8.5.1 CES « Santé et bien-être des animaux » (SABA)

Président

M. Etienne THIRY – Professeur, Faculté de médecine vétérinaire de Liège (infectiologie, immunologie, vaccinologie, virologie)

Membres

Mme Suzanne BASTIAN – Maître de conférences, Oniris - Ecole vétérinaire de Nantes (épidémiologie, bactériologie, parasitologie)

Mme Catherine BELLOC – Maître de conférences, Oniris – Ecole vétérinaire de Nantes (médecine des animaux d'élevage - monogastriques)

M. Alain BOISSY – Directeur de recherche, INRA Centre Auvergne-Rhône-Alpes (éthologie, bien-être animal, ruminants, physiologie, zootechnie)

M. Jordi CASAL – Professeur, Université de Barcelone (zoonoses, épidémiologie quantitative, maladies animales exotiques, AQR)

M. Christophe CHARTIER – Professeur, Oniris – Ecole vétérinaire de Nantes (parasitologie, techniques d'élevage, petits ruminants, épidémiologie)

M. Eric COLLIN – Vétérinaire praticien (pathologie des ruminants)

M. Frédéric DELBAC – Professeur, Université Clermont Auvergne, Laboratoire Microorganismes Génome et Environnement UMR 6023 (abeilles, épidémiologie, parasitologie, microbiologie, interactions hôteparasite)

Mme Barbara DUFOUR – Professeur, Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort (maladies contagieuses, épidémiologie générale, évaluation de risques)

M. Guillaume FOURNIÉ – Enseignant chercheur, Royal Veterinary College (évaluation des risques quantitative et qualitative, modélisation, épidémiologie)

M. Jean-Pierre GANIÈRE – Professeur émérite, Oniris – Ecole vétérinaire de Nantes (maladies contagieuses, réglementation, zoonoses)

M. Dominique GAUTHIER – Directeur, Laboratoire départemental d'Analyses des Hautes-Alpes (laboratoire, faune sauvage, méthodes diagnostiques)

M. Etienne GIRAUD – Chargé de recherches, INRA Centre Occitanie-Toulouse (microbiologie, antibiorésistance, environnement, élevages piscicoles)

M. Jacques GODFROID – Professeur, Université Arctique de Norvège (évaluation des risques, zoonoses, épidémiologie, bactériologie, faune sauvage marine)

M. Jean-Luc GUERIN – Professeur, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse (volailles et lagomorphes, immunologie, virologie, zoonoses et santé publique)

M. Jean GUILLOTIN – Directeur, Laboratoire départemental d'Analyses du Nord (diagnostic de laboratoire, infectiologie)

Mme Nadia HADDAD – Professeur, Directrice adjointe de l'UMR BIPAR, Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort (microbiologie, épidémiologie, maladies contagieuses)

M. Jean HARS – Inspecteur Général de Santé Publique Vétérinaire, retraité de l'Office national de la chasse et de la faune sauvage (pathologie de la faune sauvage libre, épidémiologie)

Mme Véronique JESTIN – Ex-directrice de recherche et ex-responsable d'unité et du Laboratoire National de Référence Influenza aviaire, Laboratoire de Ploufragan-Plouzané, Anses (virologie, infectiologie, pathologie aviaire, vaccinologie, méthodes de diagnostic, analyse de risque)

Mme Elsa JOURDAIN – Chargée de Recherche, INRA Auvergne-Rhône-Alpes (zoonoses, épidémiologie quantitative, faune sauvage)

Mme Claire LAUGIER – Directrice, Laboratoire de pathologie équine, Anses Dozulé (pathologie équine, diagnostic de laboratoire)

Mme Monique L'HOSTIS – Professeur, Oniris - Ecole vétérinaire de Nantes (parasitologie, pathologie des abeilles, faune sauvage)

Mme Coralie LUPO – Chercheur épidémiologiste, IFREMER (épidémiologie, pathologie aviaire, pathologie des mollusques)

M. Gilles MEYER – Professeur, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse (pathologie des ruminants, virologie)

M. Pierre MORMEDE – Directeur de recherche émérite, INRA – Centre Toulouse-Midi-Pyrénées (génétique du stress, endocrinologie, bien-être animal)

Mme Carine PARAUD – Responsable secteur parasitologie, Anses Niort (statistiques, pathologie des petits ruminants, parasitologie)

Mme Claire PONSART – Chef d'Unité, Unité zoonoses bactériennes, Laboratoire de santé animale, Anses Maisons-Alfort (épidémiologie, bactériologie, statistiques, virologie, pathologie de la reproduction)

Mme Nathalie RUVOEN – Professeur, Oniris – Ecole vétérinaire de Nantes (maladies contagieuses, zoonoses, réglementation)

M. Claude SAEGERMAN – Professeur, Faculté de médecine vétérinaire de Liège (épidémiologie quantitative, maladies contagieuses, maladies émergentes)

M. Stéphan ZIENTARA – Directeur UMR Virologie, Anses Laboratoire de santé animale de Maisons-Alfort (virologie).

8.5.2 CES « Alimentation animale » (ALAN)

Président

M. Francis ENJALBERT – Professeur, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse (alimentation animale, additifs, zootechnie, élevage des ruminants)

Membres

Mme Corine BAYOURTHE – Professeur, ENSA Toulouse (zootechnie, physiologie et nutrition des ruminants)

M. Jean DEMARQUOY – Professeur, Université de Bourgogne (physiologie métabolique et moléculaire)

Mme Marianne DIEZ – Chargée de Cours, Faculté de Médecine Vétérinaire de Liège (nutrition des animaux de compagnie)

Mme Anne FERLAY – Directrice de recherche, INRA Centre Auvergne-Rhône-Alpes (alimentation des ruminants)

Mme Evelyne FORANO – Directrice de recherche, INRA Centre Auvergne-Rhône-Alpes (microbiologie du rumen, additifs en nutrition animale)

M. Didier GAUDRÉ – Ingénieur d'études, IFIP - Institut du Porc (nutrition porcine)

M. Thierry GIDENNE – Directeur de recherche, INRA Centre Occitanie-Toulouse (alimentation/nutrition, écosystème digestif du lapin, santé et efficacité digestive)

M. Jean-Philippe JAEG – Maître de conférences, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse (pharmacologie, toxicologie)

M. Hervé JUIN – Ingénieur de recherches, INRA Centre Poitou-Charentes (physiologie et nutrition des volailles, additifs en alimentation animale)

M. Stephan JURJANZ – Maître de conférences, Université de Lorraine (physiologie et alimentation animales, transfert de micropolluants et résidus)

Mme Maryline KOUBA – Professeur, Agrocampus Ouest (zootechnie, physiologie et nutrition des monogastriques)

M. Jean LEGARTO – Ingénieur de recherches, Institut de l'Élevage (alimentation, nutrition et conduite d'élevage des ruminants laitiers)

M. Michel LESSIRE – Ingénieur de recherches, INRA Centre Val-de-Loire (physiologie et nutrition des volailles)

Mme Françoise MEDALE – Chef du département Physiologie animale et systèmes d'élevage, INRA (nutrition animale et systèmes d'élevages) ;

Mme Isabelle OSWALD – Directrice de recherche, INRA Centre Occitanie-Toulouse (pharmacologie, toxicologie, mycotoxines)

M. Alain PARIS – Professeur, Muséum National d'Histoire Naturelle (toxicologie, métabolomique)

M. Hervé POULIQUEN – Professeur, Oniris – Ecole vétérinaire de Nantes (pharmacologie, toxicologie, antibiorésistance)

Mme Nathalie PRIYMENKO – Maître de conférences, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse (botanique, alimentation et nutrition des animaux de compagnie)

M. Philippe SCHMIDELY – Professeur Sciences animales, AgroParisTech (alimentation animale, additifs, zootechnie, élevage des ruminants)

M. Yves SOYEUX – Professeur honoraire, AgroParisTech (alimentation et droit alimentaire)



Agence nationale de sécurité sanitaire
de l'alimentation, de l'environnement et du travail
14 rue Pierre et Marie Curie
94701 Maisons-Alfort Cedex
www.anses.fr / [@Anses_fr](https://twitter.com/Anses_fr)