

Enjeux et stratégies de maîtrise de *Salmonella* dans la filière porcine : une analyse prospective

Isabelle CORRÉGÉ et Brice MINVIELLE

IFIP-Institut du porc, Domaine de la Motte au Vicomte, BP 35104, F-35651 Le Rheu

isabelle.correge@ifip.asso.fr

Enjeux et stratégies de maîtrise de *Salmonella* dans la filière porcine : une analyse prospective

Les infections à *Salmonella* constituent une des principales zoonoses alimentaires en Europe et en France, et les œufs et ovoproduits en restent la principale source. L'émergence de nouveaux sérotypes, les récentes épidémies dues à des produits de salaisons sèches, la multiplicité des réservoirs, le développement des résistances aux antibiotiques ainsi que les enjeux commerciaux incitent la filière porcine et les Pouvoirs Publics à accentuer la vigilance et à mettre en œuvre des mesures de maîtrise.

La réglementation européenne prévoit la mise en place de dispositifs de surveillance aux différents maillons de la chaîne de production, mais les autorités Européennes reportent depuis 2009 la mise en place des programmes de contrôle des salmonelles en filière porcine. Pour tous les spécialistes, la réduction de la prévalence salmonelles sur les produits remis aux consommateurs passe par la mise en place d'actions de maîtrise à tous les stades, de l'alimentation animale jusqu'à la transformation. En revanche, lorsque le rapport coût/bénéfice est pris en compte, les avis divergent quant à l'importance qui doit être accordée à chacun de ces maillons.

Cette synthèse aborde les enjeux de la maîtrise des salmonelles dans la filière porcine, synthétise les connaissances épidémiologiques aux différents stades, et analyse les stratégies de lutte et leurs effets attendus.

Une approche globale et transversale de moyen-long terme, avec une mise en place progressive et programmée de mesures de maîtrise à tous les maillons de la filière, devrait permettre une réduction significative et durable du nombre de salmonelles associées à la consommation de porc.

Issues and strategies to control *Salmonella* in the pork industry: a prospective analysis

In the European Union and France, salmonellosis is one of the most frequently reported foodborne zoonoses in humans, and eggs and egg products remain the major source. However, the emergence of new serotypes, the recent outbreaks associated with the consumption of dried sausage products, the multiplicity of reservoirs, the increase in antibiotic resistance together with the challenges of international trade encourage the French pork industry and public authorities to improve the surveillance of *Salmonella* and promote mitigation strategies.

According to EU regulations *Salmonella* control programmes should have been implemented at the different stages of the pork production chain, but the decision has been delayed since 2009 by EU authorities. For all experts, the reduction of *Salmonella* prevalence on pork meat and meat products relies on the implementation of preventive actions throughout the whole production chain: feed production, farming, transport, slaughtering and further processing of meat. When taking into account the expected costs and benefits of control measures, opinions differ as to the priorities that should be fixed at the different levels of the food chain.

This review deals with the control of *Salmonella* in pigs, in an attempt to summarise the epidemiological knowledge available at each level of the food chain and to analyse the different mitigation strategies and their expected result.

A medium-long term global and horizontal approach, with progressive and planned control measures at each level of the pork production chain, should result in a significant and stable reduction in the number of *Salmonella* infections due to pork consumption.

INTRODUCTION

La surveillance et la maîtrise des zoonoses sont une priorité pour la protection des consommateurs, en particulier les infections à *Salmonella*, qui sont une des principales causes de zoonoses alimentaires dans les pays industrialisés. Même si les œufs et les ovoproduits restent les aliments les plus souvent incriminés, le nombre de cas humains dus à ces aliments diminue nettement avec, pour conséquences d'une part, la baisse du nombre d'infections à *Salmonella enteritidis* et d'autre part, l'augmentation de la part relative de *Salmonella typhimurium* avec pour corollaire la mise en cause plus fréquente des viandes de porc et des produits de charcuterie (Jourdan-Da Silva et Le Hello, 2012).

Dans ce contexte, la réglementation Européenne prévoit la mise en place de dispositifs de surveillance et de lutte aux différents maillons de la chaîne de production, mais les autorités Européennes reportent depuis 2009 la mise en place des programmes de contrôle des salmonelles dans la filière porcine.

De nombreux pays poursuivent ou développent des programmes de maîtrise des salmonelles dans la filière porcine. Ils ont pour objectif de limiter la contamination en salmonelles des carcasses, grâce à l'identification des élevages présentant des risques importants d'excrétion et à la mise en place de mesures de maîtrise.

En France, l'émergence de nouveaux sérotypes de *Salmonella*, le développement de la résistance des *Salmonella* aux antibiotiques, les récentes épidémies dues à des produits de salaison sèche, la multiplicité des réservoirs ainsi que les enjeux commerciaux incitent la filière porcine et les Pouvoirs Publics à accentuer la vigilance et à mettre en œuvre des mesures de maîtrise.

Pour tous les spécialistes, la réduction de la prévalence des salmonelles sur les produits finis passe par la mise en place d'actions de maîtrise aux étapes suivantes : alimentation animale, élevage, transport, abattage, découpe et transformation. En revanche, lorsque le rapport coût/bénéfice est pris en compte, les avis divergent quant à la place que doit prendre chacun de ces maillons dans le dispositif de lutte.

Cette synthèse aborde les enjeux de la maîtrise des salmonelles dans la filière porc, synthétise les connaissances épidémiologiques aux différents maillons de la filière tout en soulevant les questions encore en suspens. Enfin, une analyse prospective des stratégies de lutte mises en place ou envisagées et leurs effets attendus, dans différents pays et en France, est proposée.

1. LES ENJEUX DE LA MAITRISE DE SALMONELLA

1.1. Les enjeux de santé publique

Les infections à *Salmonella* sont une des principales causes d'infections bactériennes d'origine alimentaire (ou zoonose alimentaire) en France et dans l'Union Européenne. En France, le système de surveillance des *Salmonella* humaines repose sur un double dispositif : le Centre National de Référence des *Salmonella* centralise les données des *Salmonella* isolées chez l'homme (exhaustivité de 66% des salmonelloses humaines confirmées en laboratoire) ; l'Institut de Veille Sanitaire qui recense les toxi-infections alimentaires collectives (Tiac), à déclaration obligatoire depuis 1987. Le nombre annuel précis de cas de salmonelloses humaines est difficile à établir : tous

les cas ne sont pas diagnostiqués ou déclarés et, à l'inverse, certains cas peuvent être répertoriés dans les deux systèmes de surveillance. En 2009, 7 451 souches de *Salmonella* ont été collectées au CNR et 143 foyers de Tiac à *Salmonella*, correspondant à 1 254 malades, ont été déclarés ou suspectés à l'INVS, alors que l'agent responsable des Tiac n'a pas pu être recherché ou trouvé dans 42% des cas de Tiac (INVS, 2011; Jourdan-Da Silva et Le Hello, 2012). Malgré la relative imprécision de ces dispositifs, l'évolution des nombres et types de sérotypes isolés est riche d'enseignements (figure 1). Entre 2002 et 2010, le nombre de *Salmonella* recensé au CNR baisse de 20%, avec une diminution importante du nombre de *S. enteritidis* et une diminution nettement moins marquée du sérotype typhimurium. L'émergence d'un variant monophasique de typhimurium (*S. enterica* subsp. *enterica* sérotype 1,4,[5],12,i:-) est également observée. Depuis 2004, sa fréquence d'isolement est en constante augmentation, atteignant 12% des isollements en 2010. Il faut également souligner que le sérotype derby, très présent en filière porcine, représente moins de 2% des cas humains.

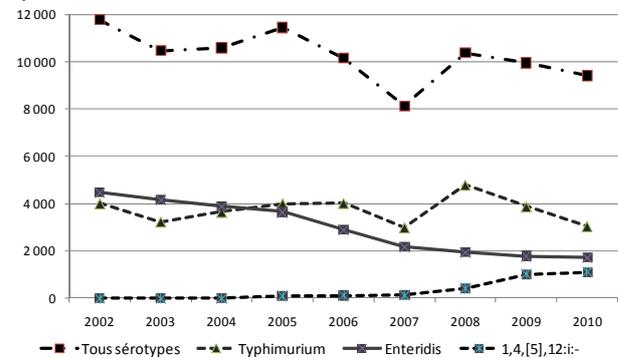


Figure 1 - Évolution des principaux sérotypes de *Salmonella* isolés chez l'Homme en France de 2002 à 2010 (Jourdan-Da Silva et Le Hello, 2012)

Parmi les principaux aliments impliqués dans ces cas humains, les produits à base de porc sont mis en cause dans 5 des 26 épidémies importantes de salmonellose investiguées en France depuis 2002.

Par contre, lorsqu'on s'intéresse non plus aux épidémies mais aux foyers de Tiac à *Salmonella*, les œufs et produits à base d'œufs sont incriminés ou suspectés, ces dernières années, dans environ 40% des cas, les viandes dans un peu moins de 6% des foyers et les produits de charcuterie dans 4 à 10% des foyers (selon les années). Pour les viandes et les produits de charcuterie, les pourcentages de foyers où ils sont incriminés sont relativement stables alors que, pour les œufs et ovoproduits, ils ont nettement diminué : ils représentaient 59% des foyers de Tiac à *Salmonella* entre 1996 et 2005 (Delmas *et al.*, 2006).

En conclusion, en France, environ 12 000 cas de Tiac sont déclarés par an (environ 1 200 foyers), les salmonelles étant à l'origine d'environ 20% des foyers dont les causes ont pu être identifiées ou suspectées, soit le 2^{ème} agent responsable après *Staphylococcus aureus*. Le nombre de cas dus à enteritidis et aux œufs et ovoproduits diminuant nettement, la tendance est à une augmentation de la part relative des cas dus à *Salmonella typhimurium* et aux viandes et produits de charcuterie. Une évolution similaire est constatée au niveau de l'UE (EFSA, 2012) et le rapport européen sur l'analyse quantitative des risques microbiologiques (QMRA ; EFSA 2010) estime que, au niveau européen, 10 à 20% des cas de salmonelloses humaines sont attribuables au porc.

L'autre grande préoccupation en santé publique est l'émergence, depuis deux décennies à l'échelon international, de *Salmonella* multirésistantes aux antibiotiques, en particulier *S. typhimurium* lysotype DT 104 qui a une penta-résistance aux antibiotiques. En France, les études du CNR *Salmonella* confirment l'évolution du nombre de souches résistantes aux antibiotiques, avec notamment depuis 2002 l'augmentation des résistances aux céphalosporines de 3^{ème} génération ou à la ciprofloxacine (Jourdan-Da Silva et Le Hello, 2012).

1.2. Les enjeux économiques et commerciaux

Les pertes directes en élevage provoquées par les salmonelles sont négligeables en Europe, car les épisodes de salmonellose clinique sont rares, circonscrits dans le temps et l'espace (ils affectent en général une seule bande) et répondent très bien au traitement antibiotique curatif mis en place (Beloil, 2007).

A l'inverse, les coûts indirects induits par les cas humains (arrêts de travail, traitements, hospitalisation, séquelles et parfois décès), bien que difficiles à évaluer précisément, sont très importants. Au niveau Européen, une étude diligentée par l'EFSA estime ainsi le coût de la salmonellose humaine à 86,1 millions d'euros par an, soit 600 € par cas humain (FCC Consortium, 2011). D'autres estimations plus anciennes sont nettement supérieures, 600 millions d'euros par an en Europe (UE à 15, en 1999). Aux États-Unis, le coût total des Tiac à *Salmonella* imputables à des produits de la filière porcine serait de 100 à 300 millions de dollars (Beloil, 2007).

Les conséquences commerciales et économiques directes pour la filière, une entreprise ou un produit, des épidémies de *Salmonella* ne sont pas à négliger (retrait et rappel de produits par les entreprises, baisse des ventes). En France, les deux épidémies de 2010 et 2011 mettant en cause des saucisses sèches ont été relayées par les médias auprès du grand public et n'ont pas été sans conséquences, même si ces dernières sont difficilement chiffrables.

A l'échelle du commerce international, de nombreux pays européens ont mis en place des programmes de surveillance et de maîtrise des salmonelles à toutes les étapes de la chaîne de production, de l'alimentation animale à l'alimentation humaine : la Suède, dès 1961, suivie dans les années 1990 par la Norvège, la Finlande et le Danemark. Depuis que l'Allemagne a intégré de manière prioritaire la surveillance des salmonelles dans son système qualité QS, d'autres pays ont entamé des démarches (Pays-Bas, Belgique, Royaume-Uni,...) et la question des salmonelles joue incontestablement un rôle dans les échanges commerciaux.

1.3. Les enjeux réglementaires

Dans les années 60, le dispositif réglementaire visant à garantir la sûreté des denrées alimentaires concernait principalement les industries agroalimentaires. Depuis les années 90, la majorité des agents zoonotiques alimentaires étant présents au stade de la production primaire (élevage et transport), l'arsenal législatif français et européen s'est étendu à ces maillons, avec la mise en place de règles d'hygiène générale au travers de Guides de Bonnes Pratiques d'Hygiène (2004/852/CE). Pour les salmonelles, la réglementation européenne (directive zoonose 2003/99/CE et règlement 2160/2003 du 17 novembre 2003) prévoit en outre la mise en place de dispositifs de surveillance sur porcs reproducteurs et sur porcs charcutiers de tous les sérotypes de *Salmonella* aux différents maillons de la chaîne de production. Cette réglementation était initialement applicable en 2009 ; depuis

cette date, les autorités européennes reportent la mise en place des programmes de maîtrise des salmonelles dans la filière porcine faute, semble-t-il, d'accord des experts scientifiques sur les modalités de surveillance et de maîtrise, ainsi que sur le rapport coût-bénéfice des différents plans de surveillance envisagés (FCC Consortium 2010, 2011). Ce statu quo législatif ne permet pas aujourd'hui d'orienter les plans de surveillance à mettre en œuvre et certains pays, dont la France, attendent un positionnement réglementaire clair avant de proposer des mesures à grande échelle.

Concernant les viandes de porc, la réglementation Européenne est fixée depuis 2005 (Règlement 2073/2005). Sur carcasses, les salmonelles sont considérées comme un indicateur d'hygiène, avec un seuil maximal de 5 positifs sur 50 analyses réalisées, 5 recherches devant être effectuées par semaine, le prélèvement non destructif de 400 cm² étant la référence communautaire. Pour les viandes hachées, les préparations de viandes et les produits à base de viande, il s'agit d'un critère de sécurité applicable lors de la mise sur le marché et pendant toute la durée de conservation et qui requiert l'absence de salmonelles dans 10 g ou 25 g selon le type de produit et leur mode de consommation (cru ou cuit).

1.4. Les enjeux environnementaux

Les salmonelles portées et excrétées par les porcs peuvent contaminer les effluents d'élevage et d'abattoir. Après épandage, une contamination des pâtures, des eaux des rivières, des nappes phréatiques, de l'eau de mer et même des matières premières de l'alimentation animale est possible et a été décrite, avec pour conséquence un risque de contaminations secondaires humaines ou animales (Langvad *et al.*, 2006 ; Beloil, 2007). Le niveau de risque est cependant très difficile à estimer : difficulté pour quantifier la contamination des lisiers, de l'eau ou des pâtures, méconnaissance de la dose infectante nécessaire.

2. ECOLOGIE DES SALMONELLES ET CONSEQUENCES

La complexité de la problématique "salmonelles" dans les filières animales résulte de certaines caractéristiques de ces bactéries.

Toutes les espèces animales, domestiques ou sauvages (mammifères, reptiles, oiseaux, insectes...) sont susceptibles d'héberger des salmonelles. Même si certains sérovars sont spécifiquement adaptés à certaines espèces animales (e.g. *S. choleraesuis* pour les porcins) et si d'autres sérovars sont majoritairement présents chez une espèce animale (e.g. *S. enteritidis* pour les volailles), la majorité des sérovars de *Salmonella* sont ubiquistes. De plus, toutes les salmonelles sont potentiellement pathogènes et ceci pour toutes les espèces animales et pour l'homme. Il existe cependant des différences de pathogénicité entre les sérovars et en général seulement quelques dizaines de sérovars (sur les 2 500 existants) sont associés à une pathologie pour une espèce ou un groupe d'espèces donné. Ces différences de pathogénicité sont dues à la présence et à l'expression ou non de facteurs de virulence (Millemann, 1998). Les *Salmonella* ubiquistes sont donc universellement répandues (géographiquement et chez toutes les espèces animales) et sont les principaux agents responsables de salmonelloses humaines d'origine alimentaire. Le tractus intestinal de l'homme comme celui de l'animal en constitue le réservoir principal, avec un portage intestinal subclinique ou sain.

Une autre caractéristique des salmonelles est leur durée de survie dans l'environnement : plusieurs années dans des excréments desséchés, un an dans le sol et 120 jours dans l'eau douce. Ainsi, après contamination fécale, différents supports environnementaux deviennent des réservoirs secondaires où les salmonelles survivent. Même si les salmonelles sont reconnues comme hôte préférentiel du tube digestif, elles peuvent donc également être considérées comme un germe ubiquiste très présent dans l'environnement (Corrégé, 2000).

La colonisation d'un organisme par les salmonelles se faisant principalement par voie digestive, l'infection humaine par consommation d'aliments contaminés est facilitée, de même que la contamination des porcs par l'aliment ou l'eau de boisson ; elle est également favorisée par les comportements fréquents de léchage des porcs.

3. PREVALENCE DES SALMONELLES DANS LA FILIERE PORCINE

3.1. Difficultés et limites au recueil de données de prévalence

Différents protocoles d'analyse (marqueur et méthode d'analyse retenus, unité prélevée) et plans d'échantillonnage sont utilisés dans les études publiées sur les salmonelles, ce qui impacte les résultats obtenus, en particulier les prévalences.

Deux méthodes sont utilisées pour dépister le portage sain chez le porc. La bactériologie, méthode directe, met en évidence la présence de *Salmonella*, sans possibilité de dénombrement pour les techniques utilisées en routine. Cependant, lors de portage sain, l'excrétion de *Salmonella* est intermittente et faible, le risque d'obtenir des faux négatifs est donc non négligeable. La sérologie, méthode indirecte, détecte les anticorps anti-salmonelle et informe donc sur une éventuelle exposition antérieure à *Salmonella*. Cependant, un animal séropositif (voire un troupeau) n'est plus toujours porteur de *Salmonella* ni, a fortiori, excréteur.

Au vu des avantages et inconvénients respectifs de ces deux méthodes (tableau 1), de nombreuses études épidémiologiques et la majorité des plans de surveillance nationaux utilisent la sérologie.

La méthode d'analyse retenue est également déterminante. En sérologie, les kits commerciaux disponibles diffèrent : ils ne mettent pas tous en évidence les mêmes sérogroupes de *Salmonella* et peuvent avoir des spécificités et sensibilités différentes (Beloeil, 2007). Les résultats obtenus sont également dépendants du seuil de positivité retenu (valeurs de densité optique).

En bactériologie, malgré la standardisation des méthodes d'analyse (EN/ISO 6579), des différences dans les résultats existent selon les milieux d'enrichissements utilisés et leur nombre (sensibilité relative de 0,3 à 0,91), les différents milieux étant plus ou moins sensibles à la matrice, aux autres flores en présence et aux sérovars de *Salmonella* (Beloeil, 2007).

La nature ou les caractéristiques de l'échantillon sont également importants : en sérologie, Corrégé *et al.* (2010) ont montré des différences de résultats entre le sérum et le jus de viande. En bactériologie, la taille (poids ou surface) de l'échantillon est déterminante : la sensibilité relative d'un échantillon de fèces de 1 g est de 21% alors que celle d'un échantillon de 25 g est de 78% (Funk *et al.*, 2000). De même, la sensibilité d'un prélèvement poolé augmente avec le nombre d'échantillons du pool (Arnold *et al.*, 2005). Pour les prélèvements sur carcasses ou pièces de découpe, la méthode par excision a une sensibilité relative supérieure aux prélèvements par éponge ou chiffonnette (Augustin *et al.*, 2009).

Enfin, l'estimation de la prévalence dépend de la taille de l'échantillon.

Aussi, les différentes données de prévalence publiées ne peuvent être interprétées qu'en fonction du plan d'analyse mis en place et les comparaisons directes de prévalence peuvent être hasardeuses.

Tableau 1 - Dépistage des salmonelles chez le porc : comparaison bactériologie / sérologie (Dubroca *et al.*, 2005)

Bactériologie	Sérologie
Sérotypage possible	Pas de sérotypage
Pas à l'abattoir pour qualifier un élevage : contaminations croisées transport /attente et effet stress : non excréteurs élevage ≠ non excréteurs abattoir	Jus de viande à l'abattoir Pas utilisable sur truie : manque de spécificité, non discriminante
Plusieurs prélèvements nécessaires : excrétion intermittente et pas de dénombrement (information quantitative avec plusieurs prélèvements)	Interprétation des résultats par lot d'animaux et non pas au niveau d'un individu : % de positifs
Exigences / réalisation des prélèvements : standardisation, risque de contaminations croisées, conservation au froid, analyse dans les 48 heures	Importance du kit sérologique utilisé et du seuil de positivité retenu
Coût élevé de l'analyse : au moins 5 fois celui de la sérologie	
Relation sérologie-bactériologie: corrélation individuelle faible, meilleure au niveau d'un lot	
Détermination du statut d'un élevage - Sérologie sur jus de viande meilleur compromis / fiabilité du résultat /réalisation prélèvements / coût analyse	

Tableau 2—Prévalence de *Salmonella* aux différents maillons de la filière porcine : UE et principaux pays producteurs de porc

% 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⁾				18,8%/16			
.élevage de sélection-multiplication	28,7%/1 430	50,3%/157	28,3%/46	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

3.2. Prévalence des salmonelles dans la filière porcine dans l'Union Européenne

En raison des limites liées à l'interprétation des données, nous avons opté pour présenter uniquement les prévalences obtenues dans le cadre des enquêtes communautaires et/ou centralisées et publiées par l'EFSA (tableau 2). Pour les aliments composés et les viandes fraîches de porc aux stades abattoir, découpe ou distribution, seules les moyennes UE sont présentées dans le tableau, les prévalences entre Etats Membres (EM) n'étant pas comparables en raison de différences dans les stratégies de surveillance. Seuls les résultats sur reproducteurs, porcs à l'abattoir et carcasses obtenus selon des plans d'analyse similaires dans les différents pays sont fiables et utilisables. Les pourcentages relativement élevés obtenus sur reproducteurs doivent être nuancés par le fait qu'il s'agit de pourcentages d'élevages positifs et non d'animaux, à la différence des porcs et des carcasses où il s'agit de pourcentages d'individus positifs. Au vu de ces résultats, la France figure dans le groupe des pays à prévalence élevée.

4. EPIDEMIOLOGIE DES SALMONELLES DANS LA FILIERE PORCINE

4.1. Maillon alimentation animale

Il faut distinguer :

- la présence de *Salmonella* dans l'aliment consommé par les animaux, l'aliment constituant une voie d'entrée directe,
- le rôle de l'alimentation dans la contamination des porcs ; le type et le mode d'alimentation influencent l'écologie du tube digestif et donc facilitent ou, au contraire, réduisent la colonisation intestinale par *Salmonella*.

4.1.1. Contamination de l'aliment par les salmonelles

Les aliments peuvent être contaminés directement par une matière première ou indirectement lors de leur fabrication, leur stockage, leur transport ou leur distribution. En Europe, les tourteaux de graines oléagineuses, les coques de soja et de cacao, les protéines d'origine animale sont les matières premières les plus à risque, suivies par les co-produits de céréales et les graines de soja cuites (EFSA, 2008; Wierup et

Häggbloom, 2010). Les céréales sont peu contaminées alors que les graines de soja importées sont plus souvent contaminées par *Salmonella*. L'amélioration des processus de fabrication et les contrôles sur la matière première mis en place par les fabricants de tourteaux ont permis de nettement diminuer la prévalence salmonelles dans les tourteaux au cours de ces dernières années. Pour les aliments composés, les procédés de fabrication sont pour partie décontaminants (extrusion, granulation, thermisation) et les différentes matières premières sont « diluées » dans l'aliment fini. Par ailleurs, la réglementation européenne (règlement CE 183/2005) impose la mise en place de démarches qualité de type HACCP et un Guide de bonnes pratiques de la fabrication des aliments composés a été élaboré par les fabricants d'aliments. Des plans d'autocontrôles nationaux existent également (OQUALIM en France). D'après les données des plans de surveillance collectées par l'EFSA (EFSA 2008b, 2012), entre 2007 et 2012, la proportion d'aliments composés destinés aux porcs contaminés par *Salmonella* en Europe est stable, de 0,5 à 0,7% (prévalence selon les pays entre 0 et 3,6%).

De plus, les sérovars les plus souvent isolés dans l'aliment du bétail (tableau 3) ne sont pas ceux qui prédominent dans les autres maillons de la filière. Au vu de ces résultats, le rôle des aliments composés pourrait paraître mineur ou négligeable. Toutefois, plusieurs éléments conduisent à nuancer cette appréciation :

- le lien épidémiologique entre la contamination de l'aliment et celle des porcs a été démontré (EFSA, 2008) ;
- les quantités importantes des lots de matières premières ou d'aliments finis rendent leur échantillonnage complexe et l'absence de méthode (de routine) de dénombrement des salmonelles rend leur quantification impossible ;
- certains sérovars ayant un rôle majeur dans la chaîne alimentaire et chez l'homme (typhimurium, enteritidis) sont parfois isolés dans l'aliment (tableau 3) ;
- bien que l'aliment soit très faiblement contaminé, il s'agit du principal intrant d'un élevage de porcs, tant en tonnage (environ 7,5 tonnes d'aliment / truie / an pour un élevage naisseur-engraisseur) qu'en nombre de livraisons ;
- pour les aliments fabriqués à la ferme, les informations sont limitées.

Tableau 3 - Sérovars de *Salmonella* isolés dans la filière porcine en 2007 et 2008 (AFSSA, 2009 ; ANSES, 2011)

Alimentation animale - N=2 242	Elevage porcs - N=408	Abattage-découpe porcs - N= 1 197	Produits de charcuterie - N=1 195
Montevideo - 11,4%	Typhimurium - 37,5%	Derby - 39,7%	Typhimurium - 38,3%
Anatum - 8,4%	Derby - 31,1%	Typhimurium - 35%	Derby - 29,9%
Senftenberg - 7,3%	Infantis - 3,2%	Infantis - 3,1%	Bredeney - 3,4%
Livingstone - 7,2%	Agona - 2,9%	Rissen - 2,5%	Brandenburg - 2,7%
Tennessee - 6,3%	Kedougou - 2,7%	Brandenburg - 1,8%	S.I 4,12:I:- - 2,6%
Mbandaka - 5,7%	S.I 41:R:- - 2,5%	Bredeney - 1,7%	Rissen - 2,5%
Cerro - 4,7%	Enteritidis - 2%	London - 1,7%	Montevideo - 2,2%
Give - 4,3%	Bredeney - 1,7%	Montevideo - 1,4%	Infantis - 1,8%
Agona - 4%	Livingstone - 1,5%	S.I 4,12:I:- - 1,3%	London - 1,8%
Infantis - 2,8%	Brandenburg - 1,5%	Livingstone - 1,2%	Indiana - 1,4%
Typhimurium - 2,7%	Panama - 1,5%	Panama - 0,8%	S.I 4,5,12:I:- - 1,3%
Kedougou - 2,1%	Schwarzengrund - 1,2%	Bovismorbificans - 0,8%	Ohio - 1,2%
Schwarzengrund - 2%	S.I 4,12:I:- - 1%	Anatum - 0,8%	Enteritidis - 1%
Derby - 1,8%	Anatum - 0,7%	Goldcoast - 0,7%	Livingstone - 0,9%
Enteritidis - 1,6%	Senftenberg - 0,7%	Agona - 0,6%	Hadar - 0,8%
140 sérovars différents	39 sérovars différents	57 sérovars différents	61 sérovars différents

Aussi, le rôle de l'aliment ne doit pas être écarté et varie sans doute, comme l'ont souligné les experts de l'EFSA (2010), en fonction du niveau de prévalence initiale en *Salmonella* de l'élevage ou de la zone : dans les régions de faible prévalence,

l'aliment constitue une des principales sources d'introduction. Dans le cas contraire, son importance relative est beaucoup plus faible. Enfin, des re-contaminations de l'aliment sont possibles aux stades du transport (propreté des camions), du

stockage (propreté des silos, contamination par les rongeurs, oiseaux, insectes) et de la distribution (propreté des auges, nourrisseurs, soupières et circuits de soupe).

4.1.2. Rôle de l'alimentation dans la contamination des porcs

De nombreuses publications ont montré l'influence des caractéristiques de l'aliment distribué : composition (matières premières et additifs nutritionnels), présentation (granulation et mouture) et distribution (sèche, humide, liquide).

Ces différentes caractéristiques interviennent en modifiant l'écosystème du tube digestif, au niveau de l'estomac, de l'intestin grêle, du colon ou du cæcum. Les principaux facteurs sont : un changement de la fluidité et du mélange du contenu stomacal qui influent sur le gradient de pH et sur la vitesse de la vidange gastrique, des propriétés microbiennes et physicochimiques du contenu stomacal pouvant diminuer la survie des salmonelles lors de leur passage dans l'estomac, un abaissement du pH, une augmentation des teneurs en acides gras volatils et en acides organiques dont l'acide lactique, une augmentation de la flore lactique et une diminution de celle des coliformes et des entérobactéries, un développement plus important du nombre de bactéries anaérobies, des concentrations en ATP plus élevées, des zones de production de mucines plus étendues (Beloeil, 2007).

Les principales caractéristiques alimentaires, telles que décrites par différentes études épidémiologiques ou essais comparatifs, réduisant la contamination des porcs par *Salmonella* sont synthétisées au tableau 4.

Tableau 4 - Principales caractéristiques de l'alimentation réduisant le portage digestif de *Salmonella*

Composition	.Ratio orge - blé .Pulpe de betterave .Lactosérum .Acides organiques / Probiotiques / Prébiotiques
Présentation	.Farine vs granulé .Mouture grossière vs mouture fine .Pas d'effet du traitement thermique de l'aliment
Distribution	.Soupe vs à sec .Soupe fermentée .Distribution de l'aliment humide à l'auge

4.2. Maillon élevage

4.2.1. Présentation synthétique de l'épidémiologie des salmonelles

De par leur caractère ubiquiste, les salmonelles sont susceptibles de contaminer un élevage par de nombreuses voies, représentées à la figure 2 (Corrégé, 2000). Les différentes études menées jusqu'à présent n'ont pas permis de privilégier réellement l'une ou l'autre de ces voies et, a priori, aucune ne peut être exclue comme point de départ d'une contamination. Des études épidémiologiques, basées sur des sérotypes des salmonelles isolées, permettent d'ailleurs de penser que plusieurs voies de contamination coexistent dans un même élevage : plusieurs sérotypes peuvent être isolés sur un même animal (troupe ou porc), une même bande, selon le stade physiologique ou dans le temps (Corrégé et al., 2002 ; Davies et al., 1998).

Une fois cette (ou ces) salmonelle(s) introduite(s) dans un élevage, de nombreuses voies de propagation existent, en premier lieu les porcs qui peuvent se contaminer par voie orale, par contact direct ou même par voie aérienne. Ils deviennent alors porteurs et excréteurs, de façon continue pendant quelques jours puis de façon intermittente pendant plusieurs mois (Beloeil, 2007). De ce fait, la contamination se

transmet entre porcs, bandes et stades physiologiques. Les salmonelles peuvent également se propager par d'autres vecteurs animés (homme, rongeurs, insectes...) ou de manière indirecte par le matériel et l'environnement.

Puis les salmonelles sont susceptibles de persister dans un élevage en colonisant des réservoirs, soit animés (troupeau de truies, rongeurs, homme...) soit inanimés (matériel, lisier, bâtiments, poussières,...). Ces réservoirs peuvent être responsables du maintien ou de la relance de la contamination pendant de longues périodes et être variés, comme le suggèrent l'étude des sérovars de Corrégé et al. (2002) et celle de Letellier et al. (1999) qui a mis en évidence la présence de salmonelles sur de multiples supports (bottes, systèmes de ventilation, portes, terre extérieure,...).

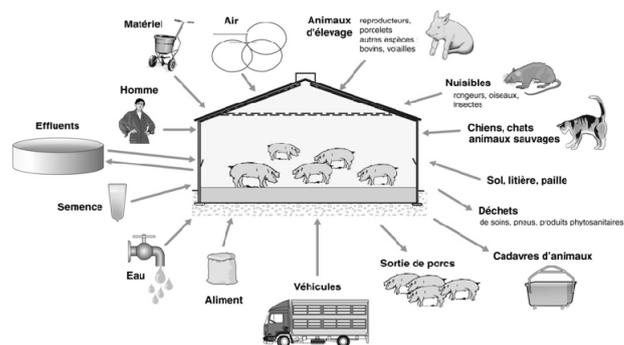


Figure 2 - Voies d'entrée des salmonelles en élevage

Enfin, un certain nombre de facteurs d'élevage (dits facteurs de risque) vont agir sur le niveau de prévalence et les variations de prévalence dans un élevage. De nombreuses études épidémiologiques analytiques ont été réalisées en France, en Europe et dans le monde. Ces conditions d'élevages associées à la prévalence *Salmonella* en élevage de porc sont résumées à la figure 3, en particulier celles provenant d'études menées en France (Fablet et al., 2003; Rossel et al., 2006 ; Corrégé et al., 2008 et 2009).

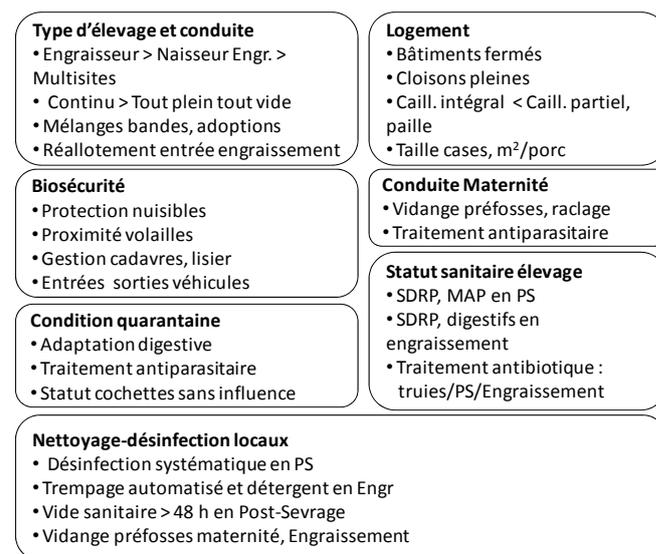


Figure 3—Principales conditions d'élevage associées à la prévalence en *Salmonella*

4.2.2. Questions en suspens

L'épidémiologie de *Salmonella* dans les élevages de sélection et de multiplication semble différente de celle concernant l'étape de production. En effet, alors que les élevages de sélection et de multiplication ont des niveaux sanitaires, de biosécurité et de respect des bonnes pratiques d'hygiène

supérieurs aux élevages de production, les prévalences observées sur truies ne sont pas inférieures à celles observées en production : l'enquête conduite par l'EFSA (2009) montre que la prévalence y est égale ou supérieure à celle observée au niveau de la production dans les principaux pays européens producteurs de porc, à l'exception de la Belgique. Des facteurs épidémiologiques non connus aujourd'hui interviennent sans doute au niveau de ce maillon et ne permettent pas à ce jour de proposer des leviers opérationnels pertinents.

Bien que les principales conditions d'élevages associées au niveau de prévalence en *Salmonella* aient été mises en évidence, le nombre et l'absence de hiérarchisation des facteurs de risque, leur caractère peu spécifique et peu précis rendent difficile le choix d'une stratégie ou de mesures prioritaires à mettre en œuvre en élevage. De plus, toutes ces mesures ne sont pas applicables dans tous les élevages et ne sont pas non plus généralisables : certaines mesures efficaces dans une majorité d'élevages peuvent ne pas l'être dans d'autres élevages. Il est donc difficile de proposer concrètement des mesures aux éleveurs, hormis celles du Guide de Bonnes Pratiques d'Hygiène (GBPH) ou de son manuel d'application (Ifip, 2009).

Des études ont montré que le statut salmonelles, bactériologique ou sérologique, d'un élevage présentait des variations significatives de prévalence entre lots successifs dans environ 25% des cas (Dubroca *et al.*, 2005), dus pour partie à l'imprécision de l'estimation de la prévalence pour des petits échantillons mais également à un réel effet « bande » au sein d'un même élevage. Ces imprécisions peuvent être en partie évitées en attribuant un statut à chaque élevage à partir des résultats cumulés sur plusieurs lots successifs. Mais, le suivi pendant deux ans du statut salmonelles des porcs en fin d'engraissement de huit élevages à forte ou faible prévalence a montré que seulement la moitié des élevages a conservé un statut inchangé. Les élevages à faible prévalence au départ de l'étude et ceux à forte prévalence sont tout autant concernés par ces variations (Corrégé *et al.*, 2006). Plus problématique, il n'a pas été possible, dans les quatre élevages concernés, de mettre en évidence des changements de pratiques qui auraient pu expliquer les changements de statut constatés. D'autres suivis longitudinaux réalisés par l'Ifip (données non publiées) ont confirmé ces variations de statuts sur les porcs charcutiers et également sur les truies. Il ressort de ces observations que le statut salmonelles d'un élevage est difficile à établir, peu stable sur des périodes courtes mais aussi plus longues et qu'il est difficile de formuler des hypothèses quant à ces variations de statut.

4.3. Maillon transport et attente

Dès la sortie de leur case d'engraissement et jusqu'à leur abattage, les porcs porteurs sains sont susceptibles d'excréter des salmonelles et de contaminer leur environnement et leurs congénères (Beloil, 2007). De nombreuses études, portant généralement sur des contaminations internes (nœuds lymphatiques, caecum), montrent l'augmentation du nombre d'animaux positifs et de sérotypes de *Salmonella* retrouvés, que ce soit pendant l'attente à l'élevage avant le chargement, le transport ou l'attente à l'abattoir, en lien avec la durée de contact entre animaux et/ou l'environnement contaminé (Fravalo *et al.*, 1999). Les quais de stockage à l'élevage, les camions et les porcheries d'attente sont fréquemment contaminés par des salmonelles (Fravalo *et al.*, 2003), et cette contamination peut persister après nettoyage et désinfection

en fonction de l'efficacité des protocoles et des moyens mis à disposition (Rossel *et al.*, 2002).

La probabilité d'avoir un prélèvement positif en *Salmonella* à l'abattoir (caecum, nœud lymphatique, ou surface) est liée à l'augmentation du temps d'attente à l'abattoir et augmente également lorsque des lots ont déjà été stockés dans la travée (Beloil *et al.*, 2004 ; Rossel *et al.*, 2009). Du fait de l'importance de la durée de jeun et des contraintes logistiques associées (attente à l'élevage, durée du transport, attente à l'abattoir), les pratiques françaises contribuent très certainement à la prévalence élevée observée sur nœuds lymphatiques à l'abattoir, relevée dans l'enquête communautaire (EFSA, 2008a).

Bien que l'influence de la durée de jeun sur la contamination en *Salmonella* ait été peu étudiée, son allongement réduit le volume du tractus gastro-intestinal, le risque de perforation lors des opérations d'éviscération, et donc de contamination des carcasses par les matières fécales pouvant contenir des salmonelles (Hurd *et al.*, 2001); la relation de cause à effet est cependant difficile à démontrer du fait de la prépondérance de la maîtrise du procédé d'abattage (Morrow *et al.*, 2002). Certains auteurs pensent que, lorsqu'elle est longue, elle pourrait favoriser l'excrétion sous l'effet du stress de la privation de nourriture, rendre les animaux plus sensibles à l'infection (Rostagno *et al.*, 2009), voire même augmenter le nombre de *Salmonella* par gramme de matière fécale (Nattress et Murray, 2000).

Un autre facteur, la propreté des animaux avant transport et abattage, qui est également indirectement en lien avec la durée de jeun des animaux, peut intervenir sur la contamination en salmonelles. Plusieurs études ont ainsi montré que les animaux plus sales présentaient des charges bactériennes plus importantes (Minvielle et Le Roux, 2009) et qu'ils étaient plus à risque en termes de salmonelles (Letellier *et al.*, 2009 ; Rossel *et al.*, 2009).

4.4. Maillon abattage-découpe-transformation

A toutes les étapes de la préparation externe des carcasses (de l'anesthésie jusqu'au polissage) peuvent se produire des contaminations de surface, par contact direct des matières fécales ou de la peau des animaux, ou indirectement via des surfaces contaminées.

Certaines étapes peuvent également diminuer la contamination bactérienne de surface des carcasses, et donc des salmonelles, comme l'échaudage et le flambage (Berends *et al.*, 1997). Il a néanmoins été établi que la présence de salmonelles dans l'eau d'échaudage constitue un facteur de risque (Letellier *et al.*, 2009), la température de l'eau et la durée d'échaudage sont donc primordiaux (Bolton *et al.*, 2003) ; l'échaudage par la vapeur est un facteur protecteur (Delhalle *et al.*, 2008). En ce qui concerne le flambage, il a été montré que la température à la surface des carcasses n'est pas toujours homogène et suffisante (Richards *et al.*, 2009) ; l'installation d'un deuxième four avant le hall d'habillage, après la dernière flagelleuse réduit la contamination de surface (Delhalle *et al.*, 2008).

L'épilage est l'une des deux étapes de la préparation externe considérées comme très contaminantes, du fait notamment de l'expulsion de matières fécales dans l'épileuse, et donc dans l'eau et sur le matériel. De la même manière, le polissage réalisé juste après l'épilage augmente significativement la contamination de surface, par contaminations croisées

(Berends *et al.*, 1997). Ces deux types de matériel sont par ailleurs difficiles à nettoyer et désinfecter, et peuvent constituer une source de contaminations entre deux journées d'activité (Rivas *et al.*, 2000).

Lors de l'habillage des carcasses (du détournage de la rosette jusqu'à la réfrigération des carcasses) toute opération touchant à l'intégrité du tractus gastro-intestinal est susceptible de générer une contamination directe de la carcasse, essentiellement via les matières fécales, alors que des contaminations croisées, via le matériel et les opérateurs, peuvent se produire à toutes les étapes.

Le détournage de la rosette est la première étape susceptible de porter atteinte à l'intégrité du tube digestif, et des matières fécales peuvent également s'écouler du rectum et contaminer la carcasse. La technique de l'ensachage du rectum est recommandée et pratiquée depuis plusieurs années pour limiter ces contaminations croisées (Borch *et al.*, 1996).

La maîtrise de l'étape d'éviscération est considérée comme essentielle depuis de nombreuses années (Borch *et al.*, 1996), même si sa contribution à la contamination des carcasses reste discutée : certains auteurs constatent une augmentation de la contamination après éviscération, même s'il n'y a pas d'incident (Berends *et al.*, 1997), et d'autres pas (Bolton *et al.*, 2002). En revanche, il est confirmé que la présence de salmonelles après éviscération est fortement influencée par le portage de l'animal, Gonzales-Barron *et al.* (2009) établissant ainsi que 77% de la variation de la contamination à l'éviscération sont expliqués par le portage initial, ce que confirment les observations précédentes (Berends *et al.*, 1997) et les modélisations réalisées (Alban et Stark, 2005).

Le retrait des abats rouges et la fente de la carcasse sont considérés comme des étapes à risque pour l'introduction des salmonelles, de même que les opérations d'inspection vétérinaire peuvent être sources de contaminations croisées (Berends *et al.*, 1997).

Le rôle du rinçage des carcasses avant la réfrigération, qui n'est pas une pratique systématique en France, n'est pas clairement établi. La plupart des auteurs considèrent qu'il redistribue la contamination sur la carcasse, même si les carcasses rincées ne sont pas significativement plus contaminées (Rivas *et al.*, 2000), alors qu'il pourrait avoir un impact favorable sur la prévalence en salmonelles (Gonzales-Barron *et al.*, 2009). Alors qu'en Europe seule l'eau potable peut être utilisée, le rinçage peut être accompagné, en Amérique du Nord notamment, d'un traitement décontaminant (eau additionnée d'acide organique ou d'autres agents chimiques) qui peut réduire significativement la contamination des carcasses avant réfrigération.

En ce qui concerne l'impact de la réfrigération, la majorité des études conclut à une diminution du nombre de bactéries pathogènes après réfrigération (Gonzales-Barron *et al.*, 2009). Le type de froid, en particulier le froid négatif et surtout très négatif, est généralement considéré comme diminuant significativement les niveaux de contamination (Chang *et al.*, 2003).

Aux stades ultérieurs de la transformation, la contamination n'évolue pas et tend plutôt à diminuer du fait des procédés utilisés et de leur maîtrise. En découpe notamment, du fait du retrait des parties extérieures de la carcasse, en particulier de la couenne, la prévalence tend à diminuer d'un facteur deux au minimum, comme le montrent les résultats observés et cumulés en France depuis plus de 15 ans dans le plan de

contrôle des carcasses et pièces de découpe (Ifip, données non publiées). Le principal facteur de risque reste la contamination initiale des carcasses, même si les contaminations croisées existent et doivent être maîtrisées (Berends *et al.*, 1998; Giovanacci *et al.*, 2001).

Aux stades ultérieurs de la transformation, pour les produits cuits et les produits de salaison sèche, la maîtrise des paramètres des procédés est essentielle. Néanmoins, pour les produits de type saucisson sec en particulier, le niveau initial de contamination de la matière première est particulièrement important, l'efficacité limitée des procédés ayant été démontrée depuis plusieurs décennies (Smith *et al.*, 1975). Pour les produits destinés à la cuisson au stade de la consommation, une cuisson insuffisante et/ou des contaminations croisées lors de la préparation des viandes peuvent significativement impacter le nombre de salmonelloses (Delhalle *et al.*, 2009).

5. QUELLES STRATEGIES DE LUTTE ET LES EFFETS ATTENDUS

5.1. Analyse critique des moyens de maîtrise aux différents maillons

5.1.1. Alimentation animale

Au maillon de l'alimentation animale, l'application des principes HACCP, du Guide de bonnes pratiques (GBP) de fabrication des aliments pour animaux ainsi que les démarches volontaires de certification et de mutualisation des plans de contrôle des matières premières et des aliments finis dans le cadre d'OQUALIM contribuent à un niveau élevé de sécurité.

5.1.2. Elevage

L'éradication des salmonelles d'un élevage de porcs ou le maintien sur le long terme d'un statut négatif est reconnue par tous comme irréalisable (EFSA, 2010) et les tentatives menées par les Danois pour éradiquer *Salmonella* DT 104 dans les années 2000 ont montré la difficulté de l'entreprise, son coût élevé et les recontaminations fréquentes des élevages (Danish Zoonosis Centre, 2002).

Les mesures de lutte en élevage ont donc pour objectif la réduction du niveau de prévalence ou de l'excrétion des salmonelles par les reproducteurs et les porcs charcutiers. A l'exception des plans mis en place par la Suède et la Norvège, peu représentatifs en raison d'une organisation de production très différente de celle des principaux pays producteurs de porc, le principal type de plan mis en place est celui appliqué par les Danois depuis 1995. Son principe est une classification des élevages selon 3 niveaux de prévalence par screening sérologique et la mise en place de mesures préventives dans les élevages à prévalence élevée à très élevée (environ 3% des élevages).

Son efficacité vis-à-vis de la prévalence sur porcs charcutiers et sur reproducteurs, malgré sa mise en œuvre sur l'ensemble de la production depuis plus de 15 ans, n'est pas forcément celle attendue : dans les enquêtes communautaires, leurs prévalences sur reproducteurs sont supérieures aux moyennes UE. Sur nœuds lymphatiques, la prévalence danoise se situe certes en dessous de la moyenne UE mais est équivalente à celle d'autres pays n'ayant pas mis en place un tel programme, comme les Pays-Bas (tableau 2). Les communications danoises de ces 2-3 dernières années le confirment, en concluant que les mesures mises en place en élevage se sont avérées coûteuses pour une efficacité limitée, alors que les mesures à

l'abattoir présentent un rapport coût-efficacité bien meilleur, la décontamination des carcasses étant la mesure prioritaire (Alban *et al.*, 2010). Ce relatif échec des plans de ce type au maillon élevage s'explique par le faible nombre d'élevages sur lequel doivent porter les efforts (environ 3%), et par le fait que les mesures de prévention en élevage sont d'ordre général, pas toujours applicables, basées sur le volontariat de l'éleveur et dont l'efficacité n'a pas pu être clairement établie.

La position française, qui se base en élevage sur le GBPH présente l'avantage de se calquer sur un des outils permettant de répondre à la réglementation « Paquet hygiène » et apparaît moins coûteuse qu'un monitoring systématique. Cependant, comme le souligne le rapport européen sur l'analyse quantitative des risques microbiologiques (QMRA ; EFSA 2010), il faut en attendre des effets à long terme (échelle de 5 à 10 ans), en fonction de la rapidité de sa mise en application dans les élevages, du nombre de mesures de maîtrise que peuvent mettre en place ces mêmes élevages et de sa généralisation. Son efficacité relative sera sans doute limitée puisqu'il s'agit de mesures d'hygiène générale, non exclusivement ciblées « salmonelles ».

En ce qui concerne les élevages de sélection-multiplication, le rapport européen QMRA préconise d'introduire des cochettes négatives dans les élevages à forte prévalence, tout en reconnaissant que c'est sans doute illusoire. A l'inverse, d'autres publications relativisent l'importance des reproducteurs. Dahl (2011) a montré que la relation quantitative entre la séroprévalence dans les troupeaux de truies positives et l'introduction d'un grand nombre de cochettes séropositives est relativement faible. De même Corrége *et al.* (2002) concluaient que des cochettes séropositives à la livraison permettaient de limiter le risque

excréteur à l'entrée en bâtiment de gestation et que le statut salmonelles (bactériologique et/ou sérologique) d'un élevage n'était probablement pas lié à celui de ses cochettes. Le plan danois n'a d'ailleurs pas, à notre connaissance, donné de résultats probants en termes de baisse de prévalence à ce maillon. En conséquence, il ne nous semble pas forcément pertinent de mettre en place des mesures spécifiques à l'étape sélection-multiplication.

5.1.3. Transport, attente, abattage, découpe et transformation

Lors des étapes précédant l'abattage, la contamination des animaux par leur environnement ou leurs congénères doit être évitée ou réduite au maximum, en prenant en compte les autres contraintes, en particulier la durée de jeun. Cela passe par le respect des recommandations sur la limitation du mélange des animaux (élevage, transport, attente) et des procédures de nettoyage-désinfection efficaces pour éviter les contaminations croisées (dispositif d'embarquement, camion, porcheries d'attente).

Des marges de progrès sont possibles : moins de 50 % des éleveurs lavent et désinfectent le local d'embarquement après chaque départ (Corrége *et al.*, 2012) ; pour le nettoyage et la désinfection des camions, les conditions, le matériel et le temps disponibles ne sont pas toujours optimaux (Rossel *et al.*, 2002) ; les porcheries d'attente ne sont en général nettoyées et désinfectées qu'en fin de journée ou de semaine (Le Roux *et al.*, 2008).

Salmonella fait partie des dangers identifiés et pris en compte dans les Guides de Bonnes Pratiques d'Hygiène et d'application des principes HACCP de l'abattage-découpe et des industries charcutières, appliqués sur ces secteurs depuis plus de 15 ans et qui ont permis de renforcer la maîtrise des produits mis sur le marché.

Tableau 5 - Synthèse des différentes mesures proposées dans le plan de maîtrise des salmonelles en France

Maillon	Mesures proposées	Faisabilité/Contraintes	Coût estimé	Rapidité d'action	Efficacité attendue sur le produit fini=viande	Surveillance existante
Alimentation	HACCP GBP fabrication	Réglementaire - En place - Peu d'entreprises Choix et coût matières 1 ^{ères}	- à ++	Court terme	+ à ++ sur aliment + sur produit fini	Auto-contrôles OQUALIM
Elevage	GBPH	+ de 15 000 élevages Etat parc bâtiments Accompagnement éleveurs	- à ++ selon accompagnement et modifications en élevage	Long terme	+ à ++ sur porc + sur produit fini	Aucune
Transport attente	Nettoyage- désinfection optimisé	Réglementaire - En place Peu d'entreprises Temps de nettoyage limitant	- à ++ si investissement (pistes+matériel)	Court/ Moyen terme	+ sur porc + sur produit fini	Auto-contrôles
Abattage	GBPH/HACCP Optimisation du procédé	Réglementaire - En place Peu d'entreprises Modification procédé	- à ++ selon la situation et les éventuels investissements	Court/ Moyen terme	+ à +++ sur produit fini	Auto-contrôles Plan IFIP
Découpe	GBPH/HACCP	Réglementaire - En place Peu d'entreprises	- à + en fonction de la situation	Court terme	+ sur produit fini	Auto-contrôles Plan IFIP
Transformation	GBPH/HACCP Choix matières 1 ^{ères} / fournisseurs	Réglementaire - En place Peu d'entreprises Choix et coût matières 1 ^{ères} Modification procédé	- à ++ en fonction de la situation	Court terme	+ à +++ sur produit fini	Auto-contrôles

La contamination d'une carcasse en fin de chaîne est la résultante de l'introduction d'animaux porteurs, des contaminations directes et indirectes qui peuvent se produire sur la chaîne, et de l'efficacité des procédés d'abattage. L'abattoir est le stade où les salmonelles, apportées par les animaux, sont potentiellement introduites sur les carcasses et les produits qui en sont issus. Il constitue de fait un des principaux lieux d'action pour la réduction des contaminations par les salmonelles, comme souligné par les études quantitatives de risque (Delhalle *et al.*, 2009 ; EFSA, 2010). Des marges de progrès restent possibles et peuvent être

importantes en fonction du procédé d'abattage et de son degré de maîtrise, puisque des différences significatives de fréquence de contamination existent entre les abattoirs (Ifip, données non publiées). Néanmoins, en fonction de la situation, cette amélioration devra passer par des modifications du procédé et/ou des pratiques, et leurs coûts associés.

Cependant, bien que les contaminations croisées puissent représenter la très grande majorité de l'origine d'une présence de salmonelle en fin de chaîne, la modélisation indique que la contribution principale en terme de salmonellose reste

l'introduction de matières fécales par des animaux porteurs lors des opérations d'abattage (Swart *et al.*, 2011).

Pour la découpe, que les produits soient remis aux consommateurs ou à des professionnels, les bonnes pratiques d'hygiène et la chaîne du froid doivent continuer d'être maîtrisées. Leur contribution relative est limitée, mais un défaut de maîtrise peut avoir un impact important.

Au stade de la transformation, en fonction des types de produits élaborés, le niveau de contamination de la matière première peut être primordial, en particulier pour les produits de type saucisson sec. La réduction de la fréquence et du nombre de salmonelles sur le produit fini passe donc par une maîtrise des matières premières entrant en fabrication, mais également du procédé de fabrication ; des optimisations sont possibles à ce niveau, avec leurs éventuels coûts associés.

5.2. Actions et investigations à mener

5.2.1. Quantification des salmonelles

A l'heure actuelle, les méthodes de quantification sont peu nombreuses, coûteuses et généralement limitées à des actions de recherche. En dehors de quelques études, l'information quantitative fait ainsi cruellement défaut pour mieux comprendre et caractériser la dynamique de transmission des *Salmonella* tout au long de la chaîne alimentaire. Elle manque pour évaluer l'efficacité des mesures de maîtrise mises en place ou qui pourraient être proposées aux différents maillons, mais également pour qualifier les procédés utilisés par les industriels.

La norme EN ISO 6579, actuellement en cours de révision, prévoit un volet sur le dénombrement de *Salmonella* par la méthode du nombre le plus probable (NPP) miniaturisé. Nous devrions donc disposer à court terme d'une méthode de référence, et à moyen terme de méthodes alternatives permettant d'avancer dans la connaissance et la maîtrise de *Salmonella*.

5.2.2. Alimentation animale et élevage

Les experts Européens (EFSA, 2008b; EFSA, 2010) placent l'aliment comme une source probable de *Salmonella*, en particulier dans les élevages à faible prévalence et les efforts pour diminuer encore la prévalence salmonelles dans l'aliment doivent être poursuivis. Les travaux sur la mise au point de traitements efficaces vis-à-vis de la contamination des matières premières et de l'aliment composé (thermique et/ ou chimique) doivent être poursuivis ; avec si possible un effet protecteur résiduel qui contribuerait à diminuer les recontaminations et aiderait à réduire la contamination des chaînes de production et de l'environnement général.

Le rôle du statut des reproducteurs dans l'épidémiologie des salmonelles est également à préciser car les enjeux économiques et commerciaux à ce niveau sont importants et l'exemple de la filière volaille n'est pas forcément transposable ou réaliste en filière porcine.

Plus généralement, au niveau de l'élevage, l'efficacité et le coût de mesures préventives telles que la vaccination ou d'autres types d'interventions (e.g. des additifs alimentaires) pour prévenir l'infection et l'excrétion méritent d'être investigués.

5.2.3. Décontamination des carcasses

La décontamination des carcasses, dans le respect de l'esprit du Paquet Hygiène, est une des pistes majeures d'action pour renforcer la maîtrise des salmonelles. Elle est considérée

comme prioritaire par les Danois (Alban *et al.*, 2010), et ressort effectivement comme une des mesures d'intervention efficaces pour réduire le nombre de salmonelloses dans l'analyse quantitative de risque menée au niveau communautaire (EFSA, 2010).

5.2.4. Surveillance

Aux maillons alimentation animale, abattage-découpe et transformation, des dispositifs de surveillance de la contamination en salmonelles sont déjà en place depuis de nombreuses années, dans le cadre de contrôles officiels ou d'autocontrôles. Ces plans de contrôles portent sur des critères microbiologiques, réglementés ou volontaires, issus de l'application des principes HACCP. Ces critères microbiologiques constituent des éléments de vérification de la maîtrise des procédés, et éventuellement de la conformité des produits mis sur le marché. Les recherches de salmonelles réalisées portent essentiellement sur les produits finis, et également sur des produits en cours d'élaboration et/ou sur les matières premières. Les résultats peuvent être centralisés, comme en alimentation animale par OQUALIM depuis 2008 ou en abattage-découpe par l'IFIP depuis 1997, afin d'avoir une vision globale du degré de maîtrise des aliments produits ainsi que de son évolution. A l'heure actuelle, pour le maillon élevage et dans le cas de la FAF, aucun plan de contrôle n'est défini et mis en œuvre.

La surveillance des salmonelles dans la filière est indispensable pour mesurer l'évolution du danger, y compris en terme de diversité des sérotypes, mais surtout pour évaluer l'efficacité des mesures de maîtrise mises en place. Elle ne doit pas nécessairement s'exercer à tous les maillons, mais être dimensionnée en rapport avec le niveau de maîtrise souhaité.

5.2.5. Coût-efficacité et fixation des objectifs

La principale difficulté pour renforcer la maîtrise des salmonelles dans la filière porcine est la priorisation des mesures de maîtrise et/ou d'intervention qui devront être mises en place aux différents maillons. Cette priorisation dépend des objectifs qui seront fixés, tant par la valeur du critère utilisé (réduction de 10 ou 20% par exemple) que par sa nature (nombre de cas humains, fréquence de contamination des produits remis au consommateur, fréquence de contamination des nœuds lymphatiques à l'abattoir, taux d'animaux positifs en sérologie...).

L'efficacité des mesures utilisables, pour l'instant très souvent mal caractérisée, est variable : des bonnes pratiques d'hygiène (BPH, e.g. le respect des règles de biosécurité en élevage) n'auront par nature qu'un effet limité par rapport à des mesures d'intervention (e.g. décontamination des carcasses). Par ailleurs, les différentes mesures ne produisent pas l'effet attendu sur le même pas de temps, les BPH ayant une action à plus long terme qu'une intervention. Il existe aussi des écarts entre les mesures d'intervention : par exemple les effets produits par l'utilisation d'additifs alimentaires efficaces en élevage seront visibles à plus long terme que ceux de la décontamination des carcasses. Enfin, ces mesures ont un coût unitaire, plus faible pour les BPH que pour les interventions, qui peut être démultiplié ou amorti en fonction du stade et du nombre d'opérateurs auxquels elles s'appliquent.

Dans l'évaluation des coûts, il faudrait également tenir compte en plus des bénéfices liés à la réduction des salmonelles de ceux liés à la réduction des autres agents zoonotiques et des flores d'altération, en lien avec la durée de conservation des produits.

La définition d'une stratégie filière doit donc prendre en compte ces composantes et leurs incertitudes associées. A ce stade de nos connaissances, seule une vision globale de moyen-long terme avec une mise en place prédéfinie et programmée de mesures à tous les maillons et une approche transversale du coût permettra d'obtenir une réduction significative et durable du nombre de salmonelles associées à la consommation de porc.

CONCLUSION

Les salmonelles illustrent bien la nécessité d'aborder les moyens de maîtrise de manière transversale ; chaque maillon

de la filière est co-responsable du nombre de salmonelles présentes et doit apporter sa pierre à l'édifice.

En l'absence d'objectifs définis au niveau communautaire ou national, la France a adopté depuis plusieurs années une position simple et pragmatique, se basant sur les outils existants, essentiellement les Bonnes Pratiques d'Hygiène, l'application des principes HACCP et la mise en place d'autocontrôles. L'évolution des cas humains de salmonellose, les éventuelles exigences commerciales internationales, les décisions réglementaires européennes et/ou françaises ainsi que les propositions professionnelles devraient permettre dans un avenir proche de formaliser un plan salmonelles national.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AFSSA, 2009. Inventaire Réseau *Salmonella* 2007 - Sérotypage des *Salmonella* d'origine non humaine. Octobre 2009, 103 p.
- Alban L., Stark K. D. C., 2005. Where should the effort be put to reduce the *Salmonella* prevalence in the slaughtered swine carcass effectively? *Prev. Vet. Med.* 68:63-79.
- Alban L., Baptista F.P., Dahl J., 2010. *Salmonella* surveillance for finisher pigs – lessons learnt. Proc. International Symposium *Salmonella* and *Salmonellosis*, Saint-Malo, France, 417-420.
- ANSES, 2011. Inventaire des *Salmonella* d'origine non humaine - Réseau *Salmonella* 2008. Juin 2011, 106 p.
- Arnold M.E., Cook A., Davies R., 2005. A modelling approach to estimate the sensitivity of pooled faecal samples for isolation of *Salmonella* in pigs. *J. Royal Society Interface*, 22, 365-372.
- Augustin J.C., Le Roux A., Zuliani V., Minvielle B., Garry P., 2009. Efficiency of sampling methods to monitor the bacterial contamination of pork carcasses before and after chilling. Proc. 8th International Symposium on the epidemiology and control of foodborne pathogens in pork, Québec, Canada, 318-322.
- Beloeil P.A., Fravallo P., Fablet C., Jolly J.P., Eveno E., Hascoet Y., Chauvin C., Salvat G., Madec F., 2004. Risk factors for *Salmonella enterica* subsp. *enterica* shedding by market-age pigs in French farrow-to-finish herds. *Prev. Vet. Med.* 63:103-120.
- Beloeil P.A., 2007. Épidémiologie analytique de *Salmonella enterica* et *Listeria monocytogenes* en production primaire porcine. Thèse de doctorat. Université de Bordeaux 2, 364 p.
- Berends B.R., Van Knapen F., Snijders J.M., Mossel D.A., 1997. Identification and quantification of risk factors regarding *Salmonella* spp. on pork carcasses. *Int. J. Food Microbiol.*, 36, 199-206.
- Berends B.R., Van Knapen F., Mossel D.A., Burt S.A., Snijders J.M., 1998. *Salmonella* spp. on pork at cutting plants and at the retail level and the influence of particular risk factors. *Int. J. Food Microbiol.*, 44, 207-217.
- Bolton D.J., Pearce R.A., Sheridan J. J., Blair I.S., McDowell D.A., Harrington D., 2002. Washing and chilling as critical control points in pork slaughter hazard analysis and critical control point (HACCP) systems. *J. Appl. Microbiol.*, 92, 893-902.
- Bolton D.J., Pearce R., Sheridan J.J., McDowell D.A., Blair I.S., 2003. Decontamination of pork carcasses during scalding and the prevention of *Salmonella* cross-contamination. *J. Appl. Microbiol.*, 94, 1036-1042.
- Borch E., Nesbakken T., Christensen H., 1996. Hazard identification in swine slaughter with respect to foodborne bacteria. *Int. J. Food Microbiol.*, 30, 9-25.
- Chang V.P., Mills E.W., Cutter C.N., 2003. Reduction of bacteria on pork carcasses associated with chilling method. *J. Food Prot.*, 66, 1019-1024.
- Corrége I., 2000. La problématique salmonelles en filière porcine. Proc. AFMVP, Maisons-Alfort, France, 119-128.
- Corrége I., Proux K., Fravallo P., Cornou C., Flého J.Y., 2002. Les salmonelles en élevage porcin : caractérisation et rôle épidémiologique du statut des cochettes. *Journées Rech. Porcine*, 34, 309-315.
- Corrége I., Dubroca S., Guyomard F., 2006. Evolution sur deux ans du statut sérologique d'élevages porcins à forte ou à faible prévalence en salmonelles. *JournéesRech. Porcine*, 38, 381-388
- Corrége I., Barbot F., Hémonic A., Pinsard J.L., 2008. Facteurs de risque associés aux niveaux de séroprévalence en salmonelles d'élevages de porcs naisseurs-engraisseurs et engraisseurs. *Journées Rech. Porcine*, 40, 1-6.
- Corrége I., Hémonic A., Gouvars B., 2009. Conditions d'élevage associées à la séroprévalence salmonelles des porcs en fin d'engraissement. *Journées Rech. Porcine*, 41, 35-42.
- Corrége I., Pinsard J.L., Hémonic A., Barbot F., 2010. Dépistage sérologique des salmonelles : comparaison des résultats obtenus sur sérum ou sur jus de viande et influence de la durée de conservation du jus de viande. *Journées Rech. Porcine*, 42, 209-214.
- Corrége I., Fourchon P., Le Brun T., Berthelot N., 2012. Biosécurité et hygiène en élevage de porcs : état des lieux et impact sur les performances technico-économiques. *Journées Rech. Porcine*, 44, 101-102.
- Dahl J., 2011. Association between serological *Salmonella* monitoring in breeding herds and meat-juice prevalence in sow herds with production of finishers. Proc. 9th, International Conference on the Epidemiology and Control of biological, chemical and physical hazards in pigs and pork, Maastricht, The Netherlands, 174-177.
- Danish Zoonosis Centre, 2002. Assessment of the effect of proposed changes to the management of multi-resistant *Salmonella* Typhimurium DT104 in primary food animal production in Denmark. 92 p.
- Davies P.R., Bovee F.G., Funk J.A., Morrow W.E., Jones F.T., Deen J., 1998. Isolation of *Salmonella* serotypes from feces of pigs raised in multiple site production system. *J. Am. Vet. Med. Association*, 212, 1925-1929.
- Delhalle L., De Sadeleer L., Bollaerts K., Farnir F., Saegerman C., Korsak N., Dewulf J., De Zutter L., Daube G., 2008. Risk factors for *Salmonella* and hygiene indicators in the 10 largest Belgian pig slaughterhouses. *J. Food Prot.*, 71, 1320-1329.
- Delhalle L., Saegerman C., Messens W., Farnir F., Korsak N., Van der Stede Y., Daube G., 2009. Assessing interventions by quantitative risk assessment tools to reduce the risk of human salmonellosis from fresh minced pork meat in Belgium. *J. Food Prot.*, 72, 2252-2263.
- Delmas G., Gallay A., Espié E., Haeghebaert S., Pihier N., Weill F.X., De Valk H., Vaillant V., 2006. Les toxi-infections alimentaires collectives en France entre 1996 et 2005. *Bull. Epidémiol Hebd.*, 51-52, 418-422.
- Dubroca S., Corrége I., Goueset M., Guyomard F., Loiseau D., Salaün Y., Minvielle B., le Roux A., 2005. Caractérisation du statut « Salmonelles » d'un élevage de porcs : analyse comparée de la sérologie et de la bactériologie. *Journées Rech. Porcine*, 37, 347-352.

- EFSA, 2008a. 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. EFSA Journal, 135, 111 p.
- EFSA, 2008b. Microbiological risk assessment in feedingstuffs for food-producing animals, Scientific opinion of the panel on biological hazards. EFSA Journal, 720, 84 p.
- EFSA, 2009. Analysis of the baseline survey on the prevalence of *Salmonella* in holdings with breeding pigs, in the EU, 2008. EFSA Journal, 7(11), 157, 99 p.
- EFSA, 2010. Scientific Opinion on a Quantitative Microbiological Risk Assessment of *Salmonella* in slaughter and breeder pigs. EFSA Journal, 8(4), 1547, 90 p.
- EFSA, 2012. The European Union Summary Report on Trends and Sources of Zoonoses, Zoonotic Agents and Food-borne Outbreaks in 2010. EFSA Journal, 10(3), 2597, 442 p.
- Fablet C., Beloeil P.A., Fravallo P., Jolly J.P., Eveno E., Hascoet Y., Salvat G., Madec F., 2003. Etude des circonstances associées à l'excrétion de *Salmonella enterica* par les porcs en croissance. Journées Rech. Porcine, 35, 401-408.
- FCC Consortium, European Commission, 2010. Analysis of the costs and benefits of setting a target for the reduction of *Salmonella* in slaughter pigs. SANCO/2008/E2/036, 198 p.
- FCC Consortium, European Commission, 2011. Analysis of the costs and benefits of setting a target for the reduction of *Salmonella* in breeding pigs. SANCO/2008/E2/056, 91 p.
- Fravallo P., Rose V., Eveno E., Salvat G., Madec F., 1999. Définition bactériologique du statut de porcs charcutiers vis-à-vis d'une contamination par *Salmonella*. Evolution de ce statut entre l'élevage et l'abattoir. Journées Rech. Porcine, 31, 383-389.
- Fravallo P., Cariolet R., Queguiner M., Salvat G., 2003. Individual effect of the steps preceding slaughtering on *Salmonella* contamination of pigs. Proc. 5th International Symposium on the epidemiology and control of foodborne pathogens in pork, Heraklion, Greece, 61-64.
- Funk J.A., Davies P.R., Nichols M.A., 2000. The effect of fecal sample weight on detection of *Salmonella enterica* swine feces. J. Vet. Diagnostic Investigation, 12, 412-418.
- Giovannacci I., Queguiner S., Ragimbeau C., Vendevure J.L., Ermel G., Salvat G., Carlier V., 2001. Tracing of *Salmonella* spp. in two pork slaughter and cutting plants using serotyping and macrorestriction genotyping. J. Appl. Microbiol., 90, 131-147.
- Gonzales-Barron U., Soumpasis I., Butler F., Prendergast D., Duggan S., Duffy G., 2009. Estimation of prevalence of *Salmonella* spp. on pig carcasses and pork joints using a quantitative risk assessment model aided by meta-analysis. J. Food Prot., 72, 274-285.
- Hurd H. S., McKean J. D., Wesley I. V., Karriker L. A., 2001. The effect of lairage on *Salmonella* isolation from market swine. J. Food Prot., 64, 939-944.
- IFIP, 2009. Guide de Bonnes Pratiques d'Hygiène en élevage de porcs. IFIP éd. Paris, 58 p.
- IFIP, 2009. Manuel d'application du Guide de Bonnes Pratiques d'Hygiène en élevage de porcs. IFIP éd. Paris, 106 p.
- INVS, 2011. Surveillance des toxi-infections alimentaires collectives. Données de la déclaration obligatoire, 2009, 5 p.
- Jourdan-Da Silva N., Le Hello S., 2012. Salmonelloses en France, 2002-2010 : tendances en épidémiologie humaine, émergence de la souche monophasique, principaux aliments impliqués dans les dernières épidémies. Bull. Epidémiol. Hebd., Hors-série mai 2012, 25-29.
- Langvad B., Skov M.N., Rattenborg E., Olsen J.E., Baggens D.L., 2006. Transmission routes of *Salmonella* Typhimurium DT104 between 14 cattle and pig herds in Denmark demonstrated by molecular fingerprinting. J. Applied Microbiol., 101, 883-890.
- Le Roux A., Minvielle B., Gault E., 2008. Nettoyage-désinfection des porcheries d'attente : optimisation des procédures à court terme et solutions à moyen terme. TechniPorc, 31, 31-36.
- Letellier A., Messier S., Paré J., Ménard J., Quessy S., 1999. Distribution of *Salmonella* in swine herds in Québec. Vet. Microbiology, 67, 299-306.
- Letellier A., Beauchamp G., Guévremont E., D'Allaire S., Hurnik D., Quessy S., 2009. Risk factors at slaughter associated with presence of *Salmonella* on hog carcasses in Canada. J. Food Prot., 72, 2326-2331.
- Millemann Y., 1998. Le pouvoir pathogène des salmonelles : facteurs de virulence et modèles d'étude. Veterinary Research, 29, 385-407.
- Minvielle B., Le Roux A., 2009. Influence of floor type during fattening on pig cleanliness and microbiological contamination of pigs and carcasses. Proc. 8th International Symposium on the epidemiology and control of foodborne pathogens in pork, Quebec, Canada, 30-34.
- Morrow W.E., See M.T., Eisemann J.H., Davies P.R., Zering K., 2002. The effect of withdrawing feed from swine on meat quality and the prevalence of *Salmonella* at slaughter. J. Am. Vet. Med. Assoc., 220, 497-502.
- Nattress F.M., Murray A.C., 2000. Effect of ante mortem feeding regimes on bacterial numbers in the stomach and ceca of pigs. J. Food Prot., 63, 1253-1257.
- Richards P.J., Tinker D.B., Wei S., Nova R.J., Howell M., Dodd C.E.R., 2009. How can current slaughter and dressing procedures in UK pig slaughterhouses be improved to reduce contamination of pig meat with pathogenic bacteria? Proc. 8th International Symposium on the epidemiology and control of foodborne pathogens in pork, Quebec, Canada, 228-230.
- Rivas T., Vizcaino J.A., Herrera F.J., 2000. Microbial contamination of carcasses and equipment from an Iberian pig slaughterhouse. J. Food Prot., 63, 1670-1675.
- Rossel R., Le Roux A., Minvielle B., 2002. Contamination en salmonelles des camions de transport de porcs charcutiers et des porcheries d'attente à l'abattoir. TechniPorc, 25, 27-31.
- Rossel R., Rouillier J., Beloeil P.A., Chauvin C., Basta F., 2006. *Salmonella* en élevages de porcs du Sud-Ouest de la France : seroprévalence en fin d'engraissement. Journées Rech. Porcine, 38, 373-380.
- Rossel R., Jouffe L., Beloeil P.A., 2009. Analysis of factors associated with *Salmonella* isolation on pork carcass using bayesian networks. Journées Rech. Porcine, 41, 43-48.
- Rostagno M.H., Eicher S.D., Lay J.D.C., 2009. Effect of feed with drawl and transportation on *Salmonella enterica* infection in market-weight pigs. Proc. 8th International Symposium on the epidemiology and control of foodborne pathogens in pork, Quebec, Canada, 92.
- Smith J.L., Huhtanen C.N., Kissinger J.C., Palumbo S.A., 1975. Survival of salmonellae during pepperoni manufacture. Appl. Microbiol., 30, 759-763.
- Swart A.N., Evers E., Simons R.R.L., Hil A.A., Hald T., Snary E.L., 2011. Modelling of *Salmonella* dynamics in the pig slaughterhouse. Proc. 9th, International Conference on the Epidemiology and Control of biological, chemical and physical hazards in pigs and pork, Maastricht, The Netherlands, 160.
- Wierup M., Häggblom P., 2010. An assessment of soybeans and other vegetable proteins as source of *Salmonella* contamination in pig production. Acta Vet. Scand., 52, 15.