

Salmonella, une bactérie ubiquiste responsable de zoonoses alimentaires



Cette synthèse a été rédigée avec le soutien du PNDAR de l'ITAVI (AE3)

Rousset N. 1,

Contact : rousset@itavi.asso.fr

¹ ITAVI – PLOUFRAGAN

Résumé

Salmonella est une bactérie de la famille des *Enterobacteriaceae*, dont la classification est complexe et encore en évolution. Certaines espèces sont responsables de zoonoses alimentaires chez l'Homme (salmonellose), provoquant des gastro entérites aiguës pouvant être sévères voire mortelles chez les personnes âgées, femmes enceintes, nourrissons ou personnes immunodéprimées. Les deux sérotypes Enteritidis et Typhimurium de *Salmonella enterica* sbsp *enterica* sont les plus souvent incriminés. Bien que les salmonelles puissent coloniser des hôtes variés, les produits d'origines avicoles (œufs, viande) sont plus souvent incriminés. Si les prévalences d'infections par des sérotypes de salmonelle réglementés sont inférieures au seuil réglementaire pour les élevages de production de poulet de chair et dinde de chair, celle des élevages de production d'œufs de consommation suscite plus d'inquiétudes. Outre les mesures de biosécurité, le dépistage, le nettoyage et désinfection renforcés et l'élimination des troupeaux et des sous-produits en cas d'infection, le plan de lutte mis en place en France autorise désormais l'usage de vaccins vivants atténués sous certaines conditions. Les capacités des salmonelles à persister dans l'environnement, le portage asymptomatique chez d'autres espèces complexifient la lutte contre cette bactérie. La problématique des contaminations croisées peu étudiée à ce jour va être adressée dans le projet CASDAR Bter réunissant l'ITAVI, l'Anses, l'Idel et l'IFIP, en utilisant une approche territoriale et dynamique de l'épidémiologie de ces pathogènes et ainsi identifier des mesures de contrôles.

1. Fiche d'identité

Salmonella est une bactérie GRAM négatif de la famille des *Enterobacteriaceae*, qui se présente sous la forme de bacille (0,5 µm de diamètre et 3 µm de long). La nomenclature de *Salmonella* est complexe et évolue. Actuellement on distingue deux espèces : *Salmonella enterica*, et *Salmonella bongori*. Huit sous-espèces de *Salmonella enterica* sont répertoriées sur la base de critères phénotypiques : *enterica* (I), *salamae* (II), *arizonae* (III), *diarizonae* (IV), *houtenae* (V) et *indica* (VI), VII et VIII. La caractérisation des antigènes permet de différencier plus de 2500 sérotypes (ou serovars) qui appartiennent quasiment tous à l'espèce *S. enterica* (Anses, 2021, Bonifait, 2022 ; Castagnos, 2003).

Les salmonelles étant des entérobactéries, ce sont des hôtes normaux du tube digestif des animaux et de l'homme. Elles peuvent également se retrouver chez les plantes et dans l'environnement. Elles se

développent à une température optimale comprise entre 35 et 37 °C, un pH optimal compris entre 7 et 7,5, et une activité de l'eau (a_w) optimale de 0,99.

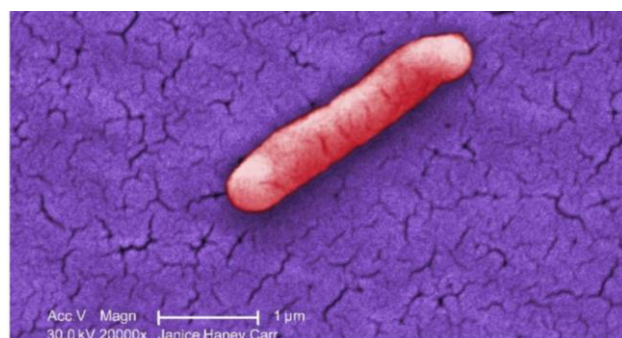


Figure 1. *Salmonella enterica* subsp *enterica* serotype Typhimurium (microscopie électronique à balayage colorée numériquement) © CDC/Janice Haney Carr » (Anses, 2021)

Ces bactéries ont néanmoins une capacité de survie importante puisqu'elles peuvent croître à une température minimum de 5°C et maximum de 50 °C, un pH minimum de 3,8 minimum et maximum de 9,5, ainsi que d'une a_w minimum de 0,94 (notons

à titre d'information que l' a_w du pain est de 0,95) (Anses, 2021, Bonifait, 2022).

2. Une bactérie responsable de zoonoses alimentaires

En termes de pathogénicité pour l'Homme, on distingue les salmonelloses typhiques dont le réservoir primaire est uniquement l'Homme (*S. Typhi* et *Paratyphi*), et qui se manifestent par des fièvres typhoïdes et paratyphoïdes. Ces salmonelloses sont considérées en France comme des maladies d'importation (Castagnos, 2003). Toutes les autres salmonelloses sont dites non typhiques, et se manifestent par des gastro-entérites aiguës après 1 ou 2 jours d'incubation, et dont les symptômes (fièvre, diarrhée, vomissements, douleurs abdominales) disparaissent en 3 à 5 jours chez les personnes sans problèmes particuliers. La gravité des symptômes et des complications dépend de la dose ingérée, de la santé de la personne et de la souche de salmonelle. Les infections sévères voire mortelles se rencontrent surtout chez les personnes âgées, femmes enceintes, nourrissons ou personnes immunodéprimées. Les salmonelles non typhiques sont transmises par voie digestive à l'Homme essentiellement par le biais d'aliments contaminés (peu cuits ou crus en particulier les viandes et charcuterie, œufs, lait cru/fromages au lait cru), et plus rarement par contact avec un animal malade ou porteur sain (Institut Pasteur, 2021 ; Anses, 2021).

Vers la fin des années 80, une forte augmentation des cas d'infection chez l'Homme, liées à *S. Enteritidis*, a été observée, suite à l'ingestion d'œufs ou d'ovoproduits issus d'élevages de poules pondeuses contaminés (Institut Pasteur, 2021). A l'heure actuelle, *Salmonella* est le deuxième agent zoonotique le plus souvent recensé dans les cas de zoonoses d'origine alimentaire en Europe. En 2023, le nombre de cas de salmonelloses s'élevait à 77 483, soit une augmentation de 16,9 % par rapport à 2022. La tendance concernant ce nombre de cas recensés sur la période 2018-2023 semble néanmoins stable. 14 801 cas de salmonelloses ont nécessité une hospitalisation en 2023, soit 41,0 % des cas. Enfin, 88 décès consécutifs à une salmonellose ont été recensés en 2023 (EFSA-ECDC, 2024). Ce recensement réalisé chaque année par EFSA-ECDC

demeure sans doute incomplet et sous-estimé (Van Cauteren, 2018).

S. Enteritidis et *S. Typhimurium* sont les deux serovars les plus fréquemment incriminés dans les infections humaines (respectivement 70,8 % et 8,9 % des cas reportés en 2023) (EFSA-ECDC, 2024). Par ailleurs, parmi toutes les filières animales, la filière avicole est souvent identifiée comme source principale de contamination de l'Homme (16,2 % de prévalence sur les carcasses des poulets de chairs échantillonnés par les autorités compétentes, et 10,5 % pour les dindes de chair) (EFSA-ECDC, 2024). Pour autant, les autres filières de productions animales ne sont pas indemnes de contaminations. Ainsi, la prévalence sur les carcasses de porcs à l'abattoir est de 3,0 % en 2023 selon l'EFSA-ECDC (2024). Même si ce même rapport souligne que les prévalences sur les échantillons de peaux de cou de poulets de chair et dindes de chair sont très supérieures à celles retrouvées pour les carcasses de ruminants, une étude de 2021 a démontré une prévalence de 3 % en France à l'abattoir dans le contenu digestif de bovins (Bonifait et al., 2021). L'implication d'autres filières de production animale dans les cas d'infections humaines est de plus en plus mise en évidence, notamment les porcs et les ruminants (Mughini-Gras et al., 2014).

3. Des hôtes très variés

Bien que certains sérotypes semblent plus adaptés à un hôte en particulier, la plupart colonisent une large variété d'hôtes (mammifères, oiseaux, reptiles, amphibiens, insectes). Ainsi, pratiquement toutes les espèces d'animaux, en particulier les animaux d'élevages (ruminants, volailles, porcs...) peuvent être infectés par les salmonelles (Anses, 2021, Bonifait 2022).

Les volailles infectées par les salmonelles sont généralement sans symptômes. Seules les jeunes volailles sont susceptibles de développer des signes cliniques (diarrhées, mortalité) (Guérin et al., 2011). La contamination des volailles se fait essentiellement par l'ingestion de matériel contaminé, souvent des fèces issues de volailles infectées, (Wang et al. 2023, Guérin et al, 2011), mais aussi d'aliments, eau, ou litière contaminés. L'excrétion fécale des volailles lors d'une infection peut durer plus de 12 semaines et varie en fonction de l'espèce et la souche. Les salmonelles peuvent persister dans l'intestin et en

particulier le caecum très longtemps après inoculation (Velge et al, 2008). L'excrétion des salmonelles dans les fientes peut être intermittente et réactivée lors d'un stress tel que le transport ou la mue.

La contamination des poussins peut se faire dès le couvoir, essentiellement par voie orale (ingestion de membranes ou résidus d'œufs contaminés) ou respiratoire (exposition à des particules aériennes contaminées), même si une transmission verticale n'est pas à exclure. Les quantités importantes de duvets et de poussières générées lors du processus d'éclosion peuvent participer à la diffusion aérienne des salmonelles et à leur dépôt sur les surfaces dans les couvoirs (en particulier dans les éclosiers, les zones de manipulation des poussins, équipement de nettoyage...) mais les prévalences sont largement influencées par les pratiques (Wang et al., 2023).

Pour les filières ruminants et porcs, les infections par *Salmonella* peuvent en revanche représenter un enjeu de santé animale, avec parfois de fortes diarrhées, de la fièvre et un abattement des animaux touchés, ou encore des formes septicémiques pouvant conduire à la mort. Des avortements sont également possibles. Toutefois, le pouvoir pathogène des bactéries dépend des souches incriminées et le portage asymptomatique peut être fréquent notamment chez le porc. Une étude conduite par Fravallo et al. (2003) a ainsi montré l'existence d'un portage asymptomatique (sans altération des performances) lors de l'inoculation d'une dose de 10^4 UFC/porc de *Salmonella* Typhimurium. A cette dose, le portage et l'excrétion sont visibles durant les trois premières semaines d'inoculation, puis semblent devenir intermittents par la suite. Une excrétion dans les matières fécales est également visible dans les deux premiers jours lors de l'inoculation à des doses plus faibles (10^3 UFC/porc) mais sans séroconversion des animaux. En 2007, à partir d'une étude réalisée sur 69 élevages bretons, Fablet et al. (2007), ont mis en évidence via des chiffonnettes d'environnement, l'excrétion de *Salmonella enterica* dans environ 20 % des élevages de porcs en fin d'engraissement, tandis que presque 12 % des matières fécales de ces élevages étaient contaminées.

4. Prévalences des infections dans les filières avicoles

En filière avicole, des programmes nationaux de lutte contre les infections à *Salmonella enterica* subsp. *enterica* sont mis en œuvre dans chaque état membre, en application du règlement (CE) n°2160/2003 sur la lutte et la prévention contre les zoonoses alimentaires. Le programme national de lutte en France concerne les espèces *Gallus Gallus* (chair et œufs de consommation) et *Meleagris gallopavo* (dindes) que ce soit à l'étage de reproduction ou de production. Les troupeaux de moins de 250 volailles ne sont pas concernés sauf ceux dont la production d'œufs de consommation est destinée à un centre de conditionnement.

L'arrêté du 3 mai 2022 définit les sérotypes du groupe 1 (*S. Enteritidis*, *S. Typhimurium* et ses variants monophasiques, *S. Kentucky* auxquels il faut ajouter *S. Hadar*, *S. Infantis* et *S. Virchow* pour les filières *Gallus gallus* chair et œufs de consommation à l'étage reproduction) qui font à la fois l'objet d'une surveillance et d'une police sanitaire. Les autres sérotypes font partie du groupe 2 et ne font l'objet que d'une surveillance.

Les modalités de surveillance (fréquence, nombre de prélèvements et matrice, sérotypes recherchés) dépendent de l'espèce de volailles, et de l'étage dans la filière. Elles comprennent à la fois des dépistages dit obligatoires réalisés par les vétérinaires sanitaires des élevages ou leurs délégataires, et des dépistages dit officiels « complémentaires » réalisés par les agents des directions départementales (de la Cohésion Sociale) et de la protection des populations (DD(CS)PP). On peut noter que si les sérotypes du groupe 1 sont recherchés régulièrement au cours de la vie des animaux, ceux du groupe 2 ne sont recherchés que plus ponctuellement avant transfert (cas des futurs reproducteurs), ou avant réforme ou abattage (cas des troupeaux de reproducteurs ou de production).

Les troupeaux reconnus infectés par un sérotype de salmonelle du groupe 1 sont alors considérés comme foyers. Les mesures mises en place dans le cadre de la police sanitaire sont lourdes en termes de conséquences économiques. Il s'agit de l'élimination des troupeaux de reproducteurs, ou futures pondeuses, réforme précoce des lots pondeuses d'œufs de consommation (sur choix de

l'éleveur, à défaut, les œufs sont dirigés vers l'industrie pour traitement thermique). Les troupeaux de poulets et dindes de chair ne sont pas éliminés précocement mais abattus en fin de journée, ce qui a des répercussions sur l'organisation des abattoirs. La destruction des œufs à couver, l'élimination des effluents et de l'aliment est par ailleurs obligatoire pour toutes les productions, ainsi que le nettoyage et désinfection de l'élevage avec une validation de son efficacité par un contrôle officiel. En France, un dispositif dénommé charte sanitaire permet aux éleveurs de la filière œufs de consommation (reproduction et production), ainsi qu'aux couvoirs touchés de recevoir une participation financière de l'Etat pour la mise en œuvre de ces mesures de police sanitaire (élimination des animaux et œufs à couver, frais de décontamination). L'adhésion à cette charte requiert néanmoins le respect de normes d'installation et de fonctionnement notamment l'observance de règles de biosécurité, et est validée par une inspection de la DD(CS)PP.

L'adhésion à la charte sanitaire autorise la participation financière de l'Etat aux coûts d'élimination des animaux et de destruction des œufs à couver lors d'infection confirmée, et aux frais de décontamination des bâtiments d'élevage de rente, dans les conditions précisées par le présent arrêté.

Huneau-Salaün et al. (2024) précisent qu'en 2023, 126 344 reproducteurs ont été éliminés dans le cadre de cette police sanitaire, ainsi que 356 565 futures pondeuses et 1361316 pondeuses d'œufs de consommation. Par ailleurs le nombre d'œufs à couver détruits s'élève à 1378 842. Les dépenses engagées par l'Etat concernant l'indemnisation des éleveurs pour l'élimination de leurs troupeaux, et le nettoyage et désinfection de leur site, ainsi que pour la réalisation des analyses (contrôles officiels, enquêtes épidémiologiques, contrôle de l'efficacité du nettoyage et désinfection), ou l'intervention des vétérinaires sanitaires, s'élevaient à plus de 7 millions d'euros dont un peu plus de 1 million a été financé par l'Union européenne.

En 2022, la situation sanitaire vis-à-vis des salmonelles du groupe 1 en poulets de chair ou dindes de chair, que ce soit à l'étape reproduction et production était jugée satisfaisante (figure 2). En

revanche, elle était plus inquiétante en filière œufs de consommation avec une prévalence d'infection > 2 % en production (Huneau-Salaün et al., 2024). Cette situation sanitaire évolue défavorablement en 2023 selon Huneau-Salaün et al (2024). Ainsi la prévalence d'infection passe au-dessus du seuil de 1 % fixé par la réglementation européenne pour les reproducteurs *Gallus gallus* (1,2 %), du fait de l'augmentation des foyers chez les reproducteurs de la filière poulet de chair. La prévalence d'infection pour l'étape production de la filière dindes atteint quant à elle 1 % en 2023, et 2,9 % pour l'étape production de la filière œufs de consommation.

S. Enteritidis et *S. Typhimurium* sont les deux sérotypes prépondérants dans les foyers de salmonelles du groupe 1, puisqu'ils représentent la totalité de ceux-ci en filière dindes de chair, 98 % des foyers en filière poulets de chair et 99,5 % des foyers en filière œufs de consommation (Huneau-Salaün et al., 2024). Concernant la surveillance des sérotypes du groupe 2, le sérotype n'est pas renseigné pour une part importante des isollements. *S. Montevideo* est le sérotype prépondérant dans ce groupe, et ce depuis 2019. Il est essentiellement présent à l'étape de production chez le poulet de chair. En 2023, Huneau-Salaün et al. (2024) soulignent l'augmentation notable de la détection de *S. Infantis* qui constitue par ailleurs le 4^{ème} sérotype le plus fréquemment responsable de salmonelloses humaines en Europe. Ces données pour la France sont mises à jour annuellement par l'Anses.

A noter que la filière volailles n'est pas la seule concernée par un plan de contrôle. Ainsi, des autocontrôles obligatoires sont également réalisés en abattoirs (atelier d'abattage/ découpe et transformation) en filière porcine, en application du règlement européen 2073/2055 (Bonifait et al, 2022). Depuis 2007, l'IFIP compile les données sur les souches de salmonelles ainsi isolées (remontées de données volontaires et études interprofessionnelles). *S. Derby* est le sérotype le plus fréquemment rencontré sur la période 2021-2023 (35,8 % des souches analysées), puis le variant monophasique de *S. Typhimurium* 4[5], 12:i:- (31,6 %). *S. Typhimurium* arrive en 5^{ème} position avec 4,1 % des souches (Feurer, 2024).

5. Une persistance accrue dans l'environnement des élevages

Du fait de la capacité de survie importante des salmonelles, l'environnement extérieur des bâtiments d'élevage peut constituer une source importante, suite à des contaminations fécales d'animaux malades ou porteurs sains. Ainsi, les salmonelles peuvent survivre dans les sols ou la boue, plusieurs mois voire quelques années selon les conditions, et en particulier en présence de matière organique, d'une faible exposition aux rayonnements ultraviolets, de faibles fluctuations de température et d'une humidité suffisante. Les étangs, mares, flaques d'eau à proximité des bâtiments d'élevage constituent ainsi des sources de contaminations importantes (Wang et al., 2023, Guérin et al., 2023).

De nombreux vecteurs ont par ailleurs été identifiés au sein du poulailler lui-même. C'est le cas par exemple des ténébrions (*Alphitobius diaperinus*), insectes originaires d'Afrique subsaharienne, très présents dans les élevages de poulets de chair et dindes, qui y trouvent les conditions optimales pour leur développement (Rousset et al., 2019). Les larves se nourrissant en partie des cadavres de volailles, peuvent être infectées par les salmonelles, et contaminer à leur tour des poussins susceptibles de les consommer. Les infestations de ténébrions étant difficiles à maîtriser et à éradiquer, ces parasites représentent un facteur de risque de contamination important (Wang et al., 2023 ; Crippen et al., 2009). Une étude expérimentale, a par ailleurs démontré le rôle possible de vecteur joué par le poux rouge (*Dermanyssus gallinae*), ectoparasite fréquent en élevage de poules pondeuses (Valiente Moro et al., 2007). Les rongeurs, en particulier les souris, sont également considérés comme des vecteurs importants de salmonelles. Les fèces de rongeurs infectés peuvent alors se retrouver sur la litière et être ingérés par des poussins. Enfin les mouches sont également considérées

comme des vecteurs possibles (Wang et al., 2023).

Les salmonelles sont susceptibles de coloniser les canalisations d'eau, les pipettes, les abreuvoirs et former des biofilms en particulier si la température de l'eau avoisine les 25 °C, en présence d'un faible débit et de matière organique. La désinfection des canalisations devient alors moins efficace en présence de ces biofilms. La qualité des litières (porosité, acidité, taux d'humidité...) joue un rôle sur les capacités de survie de *Salmonella*. Les surfaces des poulaillers peuvent également se contaminer via le dépôt de poussières ou de fèces. Bien que les salmonelles ne puissent pas se multiplier sur ces surfaces, leur présence est plus à considérer comme un indicateur de contamination potentielle du troupeau, (Wang et al., 2023).

6. Des contaminations croisées, un facteur de risque à ne pas négliger

Du fait de l'excrétion d'animaux asymptomatiques et de la persistance des salmonelles dans l'environnement les contaminations croisées entre exploitations ou sites sur un territoire proche, y compris entre filières animales, est un facteur de risque à ne pas négliger.

La présence de pâtures ou de champs cultivés, susceptibles de recevoir des effluents contaminés, dans le voisinage des bâtiments d'élevage de volailles, sont souvent cités comme un facteur de risque de contamination (Wang et al., 2023, Guérin et al., 2023). Fablet et al. (2007) ont par exemple montré que 12 % des élevages de porcs asymptomatiques suivis dans leur étude, présentaient des lisiers contaminés, même si les niveaux de contamination étaient relativement faibles (110 *Salmonella*/mL de lisier au maximum). Par ailleurs en étudiant le cas d'une ferme porcine danoise présentant des infections récurrentes par *Salmonella* Typhimurium, Baloda et al., (2001) ont mis en évidence des souches au profil génétique identique en provenance de lisiers de porcs sur des sites voisins. Dans cette étude *Salmonella* Typhimurium a été isolée jusqu'à 14 jours après épandage sur des sols de lisiers contaminés.

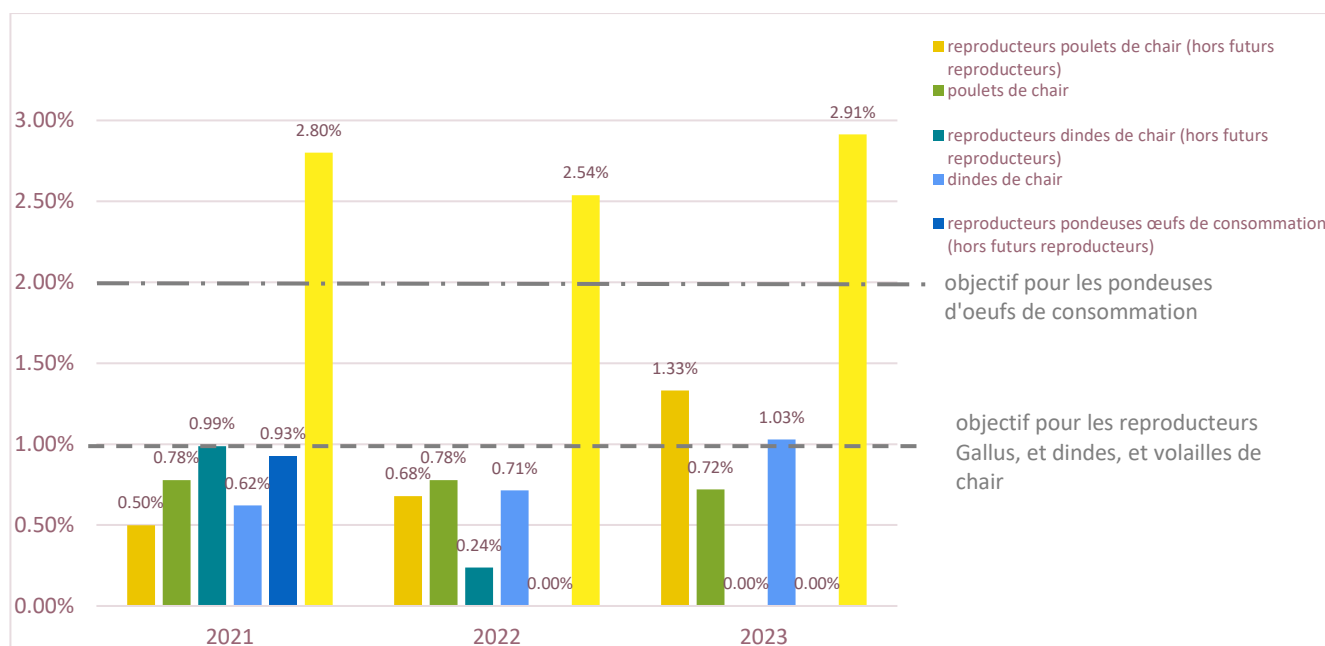


Figure 2. Évolution des proportions de troupeaux infectés par une salmonelle du groupe 1 par filière en France entre 2022 et 2023 et comparaison aux objectifs européens (d'après Anses, 2024)

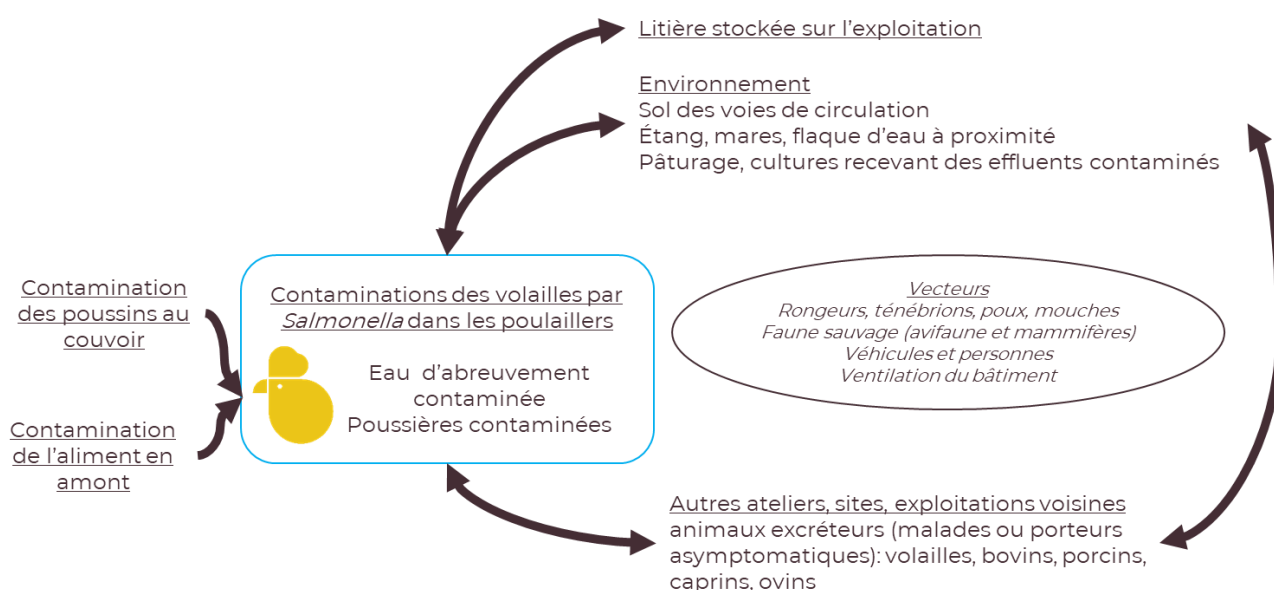


Figure 3. Sources et vecteurs de contamination possibles des volailles par *Salmonella* (inspiré de Wang et al., 2023)

Bonifait et al. (2022) font également écho de retours terrains suggérant des risques accrus de contamination sur des exploitations possédant plusieurs ateliers, avec des zones de circulation communes ou des zones avec des exploitations proches avec des activités d'élevages variées (bovins, volailles, porcs...). Si peu de données existent

actuellement sur les circulations inter-espèces, on peut néanmoins citer Baugé et al. (2019) qui ont montré l'existence de profils génétiques communs entre des salmonelles prélevées dans des ateliers bovins et avicoles, renforçant l'hypothèse de liens épidémiologiques entre différentes filières de productions animales. En outre, en élevage de porcs,

une enquête épidémiologique a montré que le contact de l'éleveur avec des volailles était un des facteurs de risque associés à une séroprévalence augmentée des porcs en fin d'engraissement (Rossel, 2006). Des travaux sont actuellement en cours de valorisation (étude SACACIR conduite par l'Anses laboratoire de Ploufragan-Plouzané-Niort) ou en cours de réalisation (projet CASDAR Bter piloté par l'ITAVI en partenariat avec l'Anses, l'IFIP et l'Idel) pour consolider les connaissances sur ces contaminations croisées.

7. Réduire les risques de contaminations

Dans une saisine de 2018, l'Anses estimait que la contamination des matières premières végétales et des aliments composés destinés à l'alimentation des volailles est rare. Les lots de matières premières ou d'aliments composés contrôlés positifs sont détruits ou thermisés. Par ailleurs, les aliments composés destinés aux troupeaux de reproducteurs *Gallus gallus* ou dindes de plus de 250 animaux, doivent subir un traitement thermique assurant un niveau de contamination minimale. Ces précautions n'excluent toutefois pas totalement que les animaux ou leur environnement puissent être contaminés par ce biais, mais cette voie de contamination n'est pas considérée aujourd'hui comme majeure (Anses, 2018).

La biosécurité demeure le principal moyen pour prévenir la contamination des troupeaux de volailles par *Salmonella* (EFSA, 2019). En élevages de porcs comme de ruminants, les mesures de maîtrise des salmonelles sont également très liées aux mesures de biosécurité tant externe qu'interne (Corrége et Minvielle, 2013). Suite aux épidémies d'influenza aviaire et la menace de la peste porcine africaine, la réglementation a rendu obligatoire l'application de mesures de biosécurité pour les filières avicole et porcine (1^{er} arrêté ministériel en février 2016 pour les filières avicoles, et arrêté ministériel du 10 octobre 2018 pour la filière porcine). Des points d'amélioration de l'observance de ces mesures subsistent néanmoins (Payot, 2019; Corrége et Hémonic, 2018). En élevages de ruminants, le concept de biosécurité est encore très récent et nécessite encore une phase d'appropriation de la part des acteurs. Une dynamique se met toutefois en place et la biosécurité est apparue comme un axe

prioritaire du plan de la lutte 2017-2022 contre la tuberculose bovine.

Comme nous l'avons vu, la gestion des effluents contaminés constituent un levier de maîtrise non négligeable en particulier vis-à-vis du risque de contaminations croisées entre ateliers, sites ou exploitations voisins. Le traitement thermique des effluents (> 55°C pendant au moins 3 jours) est une approche efficace pour leur hygiénisation, la température étant considérée comme le facteur principal permettant l'élimination des salmonelles (Adidov et al., 2021).

Si, le stockage en tas du fumier avant épandage peut permettre une montée en température consécutive à la mise en andain, elle est souvent de courte durée et l'hygiénisation peut être partielle. Le compostage lorsqu'il est correctement conduit (décomposition aérobie) est un procédé de traitement qui permet de maximiser l'efficacité de cette hygiénisation par une durée plus longue de la phase exothermique (Adidov et al., 2021). Toutefois, Adidov et al. (2021) soulignent qu'il est souvent difficile d'obtenir des montées en température homogènes sur la totalité des andains compostés. Des poches anaérobies subsistent conduisant à des conditions mésophiles (< 45 °C). Or, leur étude réalisée en conditions contrôlées, a pu montrer l'existence de nombreux co-facteurs (pH, taux d'humidité, dessiccation et ré-humification, condition aérobie vs anaérobie) influençant la persistance ou l'élimination de *Salmonella* dans ces conditions mésophiles. Il semble que les effets combinés de ces cofacteurs sont difficiles à prédire. Ils peuvent modifier directement les conditions physico-chimiques du milieu de manière favorable ou non à la persistance et multiplication de *Salmonella* ou indirectement en stimulant ou inhibant la croissance de microorganismes antagonistes.

Si un faible taux d'humidité semble moins favorable à la persistance des salmonelles, en conditions mésophiles, la ré-humidification du compost après une phase de dessiccation, peut conduire à une multiplication des salmonelles encore présentes, et à une augmentation de leur thermotolérance.

Des conditions anaérobies seraient cependant défavorables à la persistance de *Salmonella* en conditions mésophiles. Erickson et al. (2014)

suggèrent que les acides gras volatils dont la production est favorisée dans des conditions anaérobies, seraient défavorables à la persistance des salmonelles. Robinault et al (2006) vont dans le même sens, soulignant dans leur plan d'expérience la décroissance des salmonelles dans les lisiers de porcs stockés au cours du temps, à des températures inférieures à 30°C. Ce phénomène pourrait être lié au développement de la flore naturelle du lisier productrice d'acide gras volatiles.

8. Réduire la colonisation et l'excrétion

Lors de la mise en place du règlement européen (CE) n°2160/2000, l'utilisation de la vaccination des volailles contre *Salmonella* pour réduire la colonisation du tube digestif et l'excrétion fécale avait été jugée pertinente surtout pour les pays à forte prévalence (exemple de l'Espagne au début des années 2000) selon un avis de l'EFSA (2004). Le même avis indiquait que la vaccination intégrée à une stratégie complète de lutte (biosécurité, dépistage...) pouvait s'avérer utile aux pays ayant une prévalence faible. Aucun vaccin ne protège contre tous les sérotypes de *Salmonella*. Si les vaccins disponibles protègent les volailles contre *Salmonella* Enteritidis, seuls certains protègent contre *S. Typhimurium*. Parmi ces vaccins, les vaccins vivants atténués sont particulièrement intéressants car permettent d'induire une protection précoce (Velge et al. 2008). Interdits en France jusqu'en 2023 (sauf sur dérogation pour les troupeaux de poulettes et pondeuses), ils sont à présents autorisés par l'arrêté du 2 février 2023, pour les élevages futurs reproducteurs, de futures pondeuses d'œufs de consommation, reproducteurs et pondeuses d'œufs de consommation disposant de la charte sanitaire.

Des flores de barrière peuvent également être utilisées dans l'objectif de limiter l'implantation d'agents pathogènes. Elles peuvent être administrées aux volailles par voie orale (production de composés inhibiteurs tels les acides organiques

ou des bactériocines dans le tubes digestif), ou appliquer par aspersion sur les parois du poulailler (colonisation d'une surface créant une compétition avec les pathogènes). Ces flores de barrière ont démontré leur efficacité sur la réduction de la présence de *Salmonella* Enteritidis dans les fèces ou d'autres organes lors d'une administration par voie orale (Knap et al., 2011, Hayashi et al., 2018), ou sur la limitation de l'implantation de *Salmonella* Typhimurium sur des surface (Soumet et al., 2022).

9. Conclusion

La lutte contre *Salmonella* pour les filières de production animales et en particulier les filières avicoles est un enjeu de santé publique lié à la prévention des toxi-infections alimentaires. Les plans de lutte mis en place dans les différents états membre de l'UE, suite à la réglementation européenne de 2003, ont permis de réduire considérablement les prévalences en élevage, grâce à l'amélioration de l'hygiène, la détection et l'élimination des troupeaux infectés. Ces plans de lutte ont néanmoins un coût non négligeable, et des inquiétudes demeurent en France concernant les prévalences des infections en filière œufs de consommation. Les capacités des salmonelles à persister dans l'environnement, le portage asymptomatique chez d'autres espèces complexifient la lutte contre cette bactérie. La problématique des contaminations croisées reste peu étudiée à ce jour, et peu prise en compte dans les mesures de gestion des foyers. Face à ce constat, l'ITAVI, l'Anses, l'IFIP et l'Idel ont lancé le projet CASDAR Bter qui vise à étudier la transmission de *Salmonella* et *Campylobacter* au sein d'exploitations comportant des ateliers mixtes. Une approche territoriale et dynamique de l'épidémiologie de ces pathogènes permettrait d'améliorer la compréhension des sources et vecteurs de contamination croisée et d'identifier des mesures de contrôles.

Références bibliographiques

- Anses, 2021. Fiche de description de danger biologique transmissible par les aliments : Salmonella spp. Saisine n°2016-SA-0080 Mise à jour : Juin 2021
- Avidov R., Varma V.S., Saadi I., Hanan A., Lublin A., Saldinger S.S., Chen Y., Laor, Y., 2021. Factors Influencing the Persistence of Salmonella Infantis in Broiler Litter During Composting and Stabilization Processes and Following Soil Incorporation. *Front. in Sust. F. Syst.* 5(645721). <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.645721>
- Baloda, S.B., Christensen, L., Trajcevska, S., 2001. Persistence of a Salmonella enterica Seroovar Typhimurium DT12 Clone in a Piggery and in Agricultural Soil Amended with Salmonella-Contaminated Slurry. *App. and Env. Mic.* 67, 2859–2862. <https://doi.org/10.1128/AEM.67.6.2859-2862.2001>
- Baugé, L., Rose, V., Chemaly, M., 2019. Circulation d'isolats persistants et communs de salmonella enteritidis à travers les filières avicoles et bovines. 13^{ème} J. Rech. Av.et PFG, Tours, 20 et 21 mars 2019, 454-458.
- Bonifait L. Thépault A., Baugé L., Rouxel S., Le Gall F. Chemaly M. 2021. Occurrence of Salmonella in the cattle production in France. *Microorganism* 9(4), 872 <https://doi.org/10.3390/microorganisms9040872>
- Bonifait L., Collot F., Huneau-Salaün A., Tabouret M., Guyard Nicodème M. et Chemaly M., 2022. Salmonella à travers les filières animales. *Salmonella multi-filières*. 14^{ème} J Av.et PFG, Tours, 9 et 10 mars 2022, 5pp.
- Bover-Cid S., Chemaly M., De Cesare A., Herman L., Hilbert F., Lindqvist R., Nauta M., Peixe L., Ru G., Simmons M., Skandamis P., Suffredini E., Dewulf J., Hald T., Michel V., Niskanen T., Ricci A., Snary E., Boelaert F., Messens W., Davies R., 2019. Salmonella control in poultry flocks and its public health impact. *EFSA Journal* 17, e05596. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2019.5596>
- Castagnos, S., 2003. Contribution à l'étude de l'efficacité d'une flore de barrière indéfinie (Aviguard) contre les salmonelles sur des poulets labels du Sud-Ouest. Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse – ENVT, 2003, 80 pp.
- Corrége I., Hémonic A., 2018. La biosécurité en élevage de porcs : enjeux, observance, freins et perspectives de progrès. 50^{ème} J. Rech. Porc., 177-188.
- Corrége I., Minvielle B., 2013. Enjeux et stratégies de maîtrise de Salmonella dans la filière porcine : une analyse prospective. 45^{ème} J. Rech. Porc., 233-244.
- Crippen, Tawni L., Cynthia L. Sheffield, Sharon V. Esquivel, Robert E. Droleskey, et Jesus F. Esquivel. 2009. The Acquisition and Internalization of Salmonella by the Lesser Mealworm, *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Vector-Borne and Zoonotic Dis.* 9(1):65-72. <https://doi.org/10.1089/vbz.2008.0103>.
- EFSA, 2004. Opinion of the Scientific Panel on biological hazards (BIOHAZ) related to the use of vaccines for the control of Salmonella in poultry. *The EFSA Journal* 114, 1-74. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2004.114>
- Erickson M.C., Liao J., Ma L., Jiang X., Doyle M.P., 2014. Thermal and Nonthermal Factors Affecting Survival of Salmonella and Listeria monocytogenes. *Animal Manure–Based Compost Mixtures. Journal of Food*
- EFSA Panel on Biological Hazards (BIOHAZ), Koutsoumanis K., Allende A., Alvarez-Ordóñez A., Bolton D., *Protection* 77, 1512–1518. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-14-111>
- European Food Safety Authority (EFSA), European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC), 2023. The European Union One Health 2022 Zoonoses Report. *EFS2* 21. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2023.8442>
- Fablet C., Robinault C., Jolly J.-P., Dorenlor V., Eono F., Labbe A., Fravallo P., Madec F., 2007. Etude de la contamination du lisier de porcs par Salmonella enterica dans 69 élevages bretons. 39^{ème} J. Rech. Porc., 431-432.
- Feurer C. 2024. Salmonella dans la filière porcine : Base de Données professionnelle de typage. Bilan d'activité 2023, éditions IFIP, mai 2024, p. 43
- Fravallo, P., Cariolet, R., Proux K., Salvat G., 2003. Le portage asymptomatique de Salmonella enterica par les porcs : résultats issus de la constitution d'un modèle en conditions expérimentales. 35^{ème} J. Rech. Porc., 393-400.
- Guérin J-L., Balloy D., Villate D. *Maladies des volailles*. Ed. France Agricole (3^{ème} édition).
- Hayashi, R.M., Lourenço, M.C., Kraieski, A.L., Araujo, R.B., Gonzalez-Esquerria, R., Leonardez, E., da Cunha, A.F., Carazzolle, M.F., Monzani, P.S., Santin, E., 2018. Effect of Feeding *Bacillus subtilis* Spores to Broilers Challenged with Salmonella enterica serovar Heidelberg Brazilian Strain UFPR1 on Performance, Immune Response, and Gut Health. *Front. in Vet. Sci.* (13) : 2-12. <https://doi.org/10.3389/fvets.2018.00013>

- Huneau-Salaün A., Tribehou G., Jachacz J., Bonifait L., Carles S., Tapie I., Le Bouquin S., 2023. Bilan du programme de lutte contre Salmonella dans les troupeaux des espèces Gallus gallus et Melagris gallopavo en 2022 en France. Bull. ép. Sant. An. Alim., 100 (8) : 1-8
- Huneau-Salaün A., Tribehou G., Jachacz J., Bonifait L., Carles S., Tapie I., Le Bouquin S., 2024. Bilan du programme de lutte contre Salmonella dans les troupeaux des espèces Gallus gallus et Melagris gallopavo en 2023 en France. Bull. ép. Sant. An. Alim., 103 (4) : 1-9
- Institut pasteur, 2021 (<https://www.pasteur.fr/fr/centre-medical/fiches-maladies/salmonellose>), consulté en octobre 2024
- Knap, I., Kehlet, A.B., Bennedsen, M., Mathis, G.F., Hofacre, C.L., Lumpkins, B.S., Jensen, M.M., Raun, M., Lay, A., 2011. *Bacillus subtilis* (DSM17299) significantly reduces Salmonella in broilers. Poultr. Sci. 90, 1690–1694. <https://doi.org/10.3382/ps.2010-01056>
- Mughini-Gras, L., Enserink, R., Friesema, I., Heck, M., Duynhoven, Y. van, Pelt, W. van, 2014. Risk Factors for Human Salmonellosis Originating from Pigs, Cattle, Broiler Chickens and Egg Laying Hens: A Combined Case-Control and Source Attribution Analysis. PLOS ONE 9, e87933. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0087933>
- Payot A., 2019. Pratiques de biosécurité en élevage avicole : analyse des bilans d'inspection à l'échelle nationale (2016-2018) Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse – ENVT, 2019, 113 p.
- Robinault C., Chemaly M., Fablet C., Labbé A., Jolly J.-P., Madec F., Fravallo P., 2006. Influence et interaction de différents paramètres sur la survie de Salmonella Enterica dans du lisier de porc. 38^{ème} J. Rech. Porc., 387-392
- Rossel R., Rouillier J., Beloeil P.A., Chauvin C., Basta F., 2006. Salmonella en élevages de porcs du Sud-Ouest de la France : séroprévalence en fin d'engraissement. 38^{ème} J. Rech. Porc., 373-380.
- Rousset N., Chiron G., Choisis N. P., Michel C., Deruwe J., Pigache E., Benoît S., Galliot P., Bonnefoy M., Dinh A., Dalleau F., Renault D., Colinet H., 2019. Caractérisation des niveaux d'infestation de petits ténébrions dans des bâtiments de volailles de chair : impacts des pratiques d'élevage, des protocoles de lutte et de la structure des bâtiments. 13^{ème} J. Rech. Avi. Et PFG., 20 et 21 mars 2019, 247-251.
- Soumet C., Azziza, A.A., Le Grandois P., Rousset N., Travel A., Hanin A., Bridier A., 2022. Capacité des flores de barrière à limiter l'implantation et le développement de Salmonella Typhimurium. 14^{ème} J. Rech. Avi. Et PFG., Tours 9 et 10 mars 2022, 5 pp
- Valiente Moro C., Fravallo P., Amelot M., Chauve C., Salvat G., Zenner L., 2007. Infection et transmission expérimentales de Salmonella Enteritidis par le pou rouge des volailles *Dermanyssus gallinae*. 7^{ème} J. Rech. Avi. Et PFG., Tours, 28 et 29 mars 2007, 319-323.
- Van Cauteren, Le Strat Y., Sommen C., Bruyand M., Tourdjman M., Jourdan-Da Silva N., Couturier E., Fournet N., De Valk H., Desenclos J.-C., 2018. Estimation de la morbidité et de la mortalité liées aux infections d'origine alimentaire en France métropolitaine, 2008-2013. Bull. Ep. Hebdo. (1) : 2-10.
- Velge, P., Virlogeux-Payant, I., Lalmanach, A.C., Belloc, C., Fravallo, P., Vignal, A., Beaumont, C., 2008. Réduction du portage des salmonelles chez les animaux de rente : une approche multidisciplinaire. INRAE Prod. An. 21, 117–126. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2008.21.1.3382>
- Wang, J., Vaddu, S., Bhumanapalli, S., Mishra, A., Applegate, T., Singh, M., Thippareddi, H., 2023. A systematic review and meta-analysis of the sources of Salmonella in poultry production (pre-harvest) and their relative contributions to the microbial risk of poultry meat. Poultry Science 102, 102566. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102566>

Abstract: *Salmonella*, a ubiquitous bacteria responsible for foodborne zoonosis

Salmonella is an *Enterobacteriaceae*, whose classification is complex and still evolving. Some species are responsible for human foodborne zoonosis (salmonellosis). Symptoms are acute gastroenteritis that can be severe or even fatal in the elderly, pregnant women, children or immunocompromised persons. The two serovars Enteritidis and Typhimurium of *Salmonella enterica* sbsp *enterica* are the most frequently incriminated. Although *Salmonella* can colonize a variety of hosts, poultry products (eggs, meat) are most often implicated. The prevalence of infection with *Salmonella* serovars targeted by the EU regulation, is below the regulatory threshold for broiler and turkey productions. Nevertheless, there is more concerns for egg production. In addition to biosecurity measures, surveillance, reinforced cleaning and disinfection, and the elimination of flocks and by-products in the event of infection, the control plan implemented in France now authorizes the use of live attenuated vaccines under certain conditions. *Salmonella's* ability to persist in the environment, and its asymptomatic carriage in other species, complicates the fight against this bacteria. The issue of cross-contamination has received relatively little attention to date, and will be addressed in the Bter project, which brings together ITAVI, Anses, Idele and IFIP, using a territorial and dynamic approach to the epidemiology of these pathogens, to identify control measures.