

Apport du diagnostic syndromique dans l'investigation des toxi-infections alimentaires collectives dans les Forces armées françaises

Contribution of syndromic diagnosis to the investigation of foodborne disease outbreaks in the French Armed Forces

Stéphanie Watier-Grillot¹ , Aurélie Chesnay² , Vincent Pommier de Santi³ 

Manuscrit initial reçu le 12 septembre 2025, manuscrit révisé reçu et accepté le 8 octobre 2025, révision éditoriale le 14 janvier 2026

Résumé

Les toxi-infections alimentaires collectives (TIAC) représentent un problème de santé publique majeur dans le monde. Les armées sont également concernées par cette problématique, avec un potentiel retentissement sur la capacité opérationnelle des troupes. Entre 1999 et 2016, 307 TIAC ont été déclarées dans les armées françaises, causant 7 730 malades. Un agent pathogène concordant a été identifié chez les patients et dans les aliments dans 4,2 % ($n = 13$) des foyers, suggérant une marge de progression dans l'efficacité de l'investigation, facteur-clé d'une meilleure prévention. Une nouvelle stratégie d'investigation des TIAC a été instaurée dans les armées françaises à compter de 2017, basée sur le diagnostic syndromique sur les selles et dans les denrées. Un outil de PCR multiplex a été évalué dans ce cadre. La comparaison des investigations de TIAC en population militaire française avant et après 2017 a démontré une amélioration significative de l'efficacité de la nouvelle méthode.

Mots-clés : toxi-infection alimentaire collective, Forces armées françaises, enquête épidémiologique, enquête environnementale, diagnostic syndromique, méthode alternative en microbiologie alimentaire, PCR multiplex.

Abstract

Foodborne diseases are a major public health concern worldwide. This issue also concerns the armed forces, as it can have adverse effects on the operational capacity of troops. From 1999 to 2016, 307 foodborne disease outbreaks (FBDOs) were reported in the French Armed Forces, resulting in 7,730 illnesses. A concordant pathogen was identified in both patients and food in only 4.2% ($n = 13$) of the FBDOs, suggesting room for improvement in the effectiveness of investigations. This is a key factor in better prevention. In 2017, the French Armed Forces implemented a new strategy for investigating FBDOs based on syndromic diagnosis of stool and food samples. In this context, a multiplex PCR tool was evaluated. Comparing foodborne outbreak investigations in the French military population before and after 2017 revealed a significant improvement in the effectiveness of the new method.

Keywords: foodborne disease outbreak, French Armed Forces, epidemiological investigation, environmental investigation, syndromic approach, alternative food microbiology method, PCR multiplex.

1- Vétérinaire des armées, Référent en épidémiologie animale pour les Service de santé des armées, Centre d'épidémiologie et de santé publique des armées (CESPA), Marseille, France. Courriel : s.watier.grillot@gmail.com.

2- Vétérinaire des armées, Responsable qualité et coordonnateur du pôle « Système de Management Intégré », Direction de la médecine des forces, Division métier, Bureau vétérinaire, Cellule qualité vétérinaire, École du Val-de-Grâce, Paris, France. Courriel : aurelie.chesnay@intradef.gouv.fr.

3- Médecin de santé publique, Professeur agrégé du Val-de-Grâce, Centre d'épidémiologie et de santé publique des armées (CESPA), Marseille, France. Courriel : v.pommierdesanti@gmail.com.



Citation

Watier-Grillot S, Chesnay A, Pommier de Santi V (2026) Apport du diagnostic syndromique dans l'investigation des toxi-infections alimentaires collectives dans les Forces armées françaises [Contribution of syndromic diagnosis to the investigation of foodborne disease outbreaks in the French Armed Forces] *Bulletin de l'Académie vétérinaire de France* 179: 71163. <https://doi.org/10.3406/bavf.2026.71163>

Introduction

Une toxi-infection alimentaire collective (TIAC) est définie comme la survenue d'au moins deux cas similaires d'une symptomatologie, en général gastro-intestinale, dont la cause peut être rapportée à une même origine alimentaire. Les TIAC sont causées par des agents pathogènes multiples, biologiques (bactéries, virus, parasites), toxiques ou chimiques (pesticides, métaux, etc.).

Les TIAC représentent un problème de santé publique majeur. Sur 1,9 milliard de cas de diarrhées enregistrés chaque année dans le monde, la proportion associée à une origine alimentaire est estimée à 29 %, causant 600 millions de malades, 33 millions d'années en bonne santé perdues et 420 000 décès, principalement chez les enfants de moins de cinq ans (Havelaar *et al.* 2015). Si les pays à faible niveau de revenu contribuent majoritairement au fardeau sanitaire, en termes de morbidité et de mortalité, les pays développés sont également concernés par le problème des TIAC. En 2023, 5 791 foyers de TIAC ont été rapportés au sein de l'Union européenne, représentant 53 285 malades, dont plus de 3 000 hospitalisations et 73 décès (EFSA 2024). En 2022, 1 924 foyers de TIAC ont été déclarés en France, associés à 16 763 malades, 643 hospitalisations et 17 décès (Dilange *et al.* 2024). Toutefois, ces données sont probablement sous-estimées, en raison d'une sous-déclaration et d'un défaut de diagnostic des TIAC. Une estimation du nombre réel de cas de maladies d'origine alimentaire causées par quinze agents pathogènes majeurs en France, entre 2008 et 2013 a été effectuée, à partir des données de surveillance des affections associées à ces agents pathogènes et du réseau des laboratoires de référence. Ces données ont été complétées par celles issues du registre national des hospitalisations pour cause de gastro-entérite causée par des agents pathogènes spécifiques, ainsi que celles issues du registre des décès correspondant à ces affections. Selon les résultats de cette étude, les quinze agents pathogènes concernés auraient causé chaque année 1,28 à 2,23 millions de malades, 16 500 à 20 800 hospitalisations et 250 décès (Van Cauteren *et al.* 2017). En 2024, 1 429 cas de maladies du péril fécal et à transmission oro-fécale ont été déclarés dans les Forces armées françaises, auprès du Centre d'épidémiologie et de santé publique des armées (CESPA). Il s'agit du groupe d'affections le plus déclaré au sein de la population militaire française, toutes armées et territoires confondus (France hexagonale, d'Outre-mer et étranger). Au total, 27 % de ces événements avaient une origine alimentaire (CESPA, données non publiées). Les TIAC ont une importance sanitaire non négligeable pour les Forces armées françaises, avec un retentissement individuel (santé du militaire) et collectif (capacité opérationnelle des troupes). Compte tenu d'un impact opérationnel sur la bonne conduite de la mission, en particulier lors de déploiements à l'étranger, les TIAC sont toujours potentiellement graves. En outre, dans un contexte de risque terroriste majoré, la chaîne approvisionnant les Forces armées en denrées alimentaires et en eaux destinées à la consommation humaine (EDCH) est identifiée comme une cible potentielle d'attaques *via* des agents biologiques, chimiques, voire radiologiques. Cette menace renforce la nécessité de mettre en place des mesures visant à garantir la sûreté des denrées alimentaires (*food defense*), en plus de la sécurité sanitaire.

L'amélioration de la prévention des TIAC implique de surveiller ces événements sanitaires et de les investiguer lorsqu'ils surviennent. Les objectifs et enjeux de l'investigation des TIAC sont multiples, en termes de santé publique. Il s'agit en premier lieu de mettre en place des contre-mesures rapides pour protéger la santé humaine, en identifiant et en retirant de la consommation une denrée contaminée ou suspecte de l'être, afin de prévenir les cas secondaires au sein d'un même foyer, ainsi que d'autres foyers. En outre, les éléments recueillis lors de l'investigation contribuent à la compréhension des mécanismes et facteurs de risque de survenue des TIAC, nécessaire pour mettre en place des actions correctives et améliorer leur prévention. Pour autant, qu'en est-il des résultats de l'investigation des TIAC, à l'échelle internationale et en France ? Aux États-Unis, au cours de la période 2000-2007, il a été estimé que 80 % des TIAC (38,4 millions de foyers) déclarées chaque année ont été causées par des agents indéterminés (Scallan *et al.* 2011). Au sein de l'Union européenne, en 2023, aucun agent étiologique n'a pu être identifié pour 48,3 % des TIAC déclarées (2 795 foyers) [EFSA 2024]. En France, en population civile, au cours de la période 1996-2005, aucun agent pathogène n'a pu être identifié chez les malades ou dans les aliments dans 50,5 % des TIAC déclarées. La concordance entre les agents pathogènes retrouvés chez les malades et dans les aliments a été estimée à 17 % (Delmas *et al.* 2006). En population militaire française, au cours de la période 1999-2009, aucun agent pathogène n'a pu être identifié chez les malades ou dans les aliments dans 58,4 % des TIAC déclarées. La concordance entre les agents pathogènes retrouvés chez les malades et dans les aliments a été estimée à 18 % (Mayet *et al.* 2011). Dans la mesure où le diagnostic de TIAC est posé formellement lorsqu'un même agent pathogène est retrouvé chez les malades et dans les denrées, ces résultats suggèrent une marge de progression importante dans l'efficacité de l'investigation de ces événements.



De ce constat a émergé une réflexion visant à mettre en place une stratégie plus performante d'investigation des TIAC dans les armées françaises. Ce sujet a fait l'objet d'une Thèse d'université, conduite entre 2021 et 2025 au sein de l'Université d'Aix-Marseille (Watier-Grillot 2025c). Pour mener à bien ce projet, plusieurs axes de travail ont été mis en œuvre, dont une synthèse est présentée dans cet article :

- une première étape a consisté à établir un recensement des difficultés et limites rencontrées dans la conduite de l'investigation. Ce bilan a permis d'identifier les leviers et actions à mettre en œuvre pour améliorer l'efficacité de l'investigation. Ces éléments ont été exploités pour définir une nouvelle stratégie d'investigation des TIAC dans les Forces armées françaises ;
- outre la révision de la méthode globale d'investigation, cette stratégie intègre le diagnostic syndromique sur selles. Cette approche est apparue pertinente, dans la mesure où les TIAC sont causées par divers agents pathogènes et se traduisent chez les malades par des symptômes similaires, généralement des troubles digestifs. Le diagnostic syndromique repose sur l'utilisation d'outils de biologie moléculaire par technique de *polymerase chain reaction* (PCR) multiplex pour les analyses d'échantillons biologiques collectés chez les malades. Ces techniques se sont avérées très efficaces pour améliorer le diagnostic, la connaissance de l'épidémiologie et la prise en charge thérapeutique des malades lors d'épidémies de gastro-entérites infectieuses (Buss et al. 2015; Hannet et al. 2019; Massa et al. 2024). Le *FilmArray*®/panel *Gastrointestinal* (bioMérieux) a été utilisé. Cet appareil de PCR multiplex dispose d'un panel détectant en une analyse une vingtaine d'agents de gastro-entérite et de TIAC dans les selles des malades. L'efficacité de cette nouvelle méthode a pu être démontrée à travers deux exemples d'investigation de TIAC déclarées à la surveillance épidémiologique des armées, au cours desquelles la procédure d'investigation révisée a été rigoureusement appliquée ;
- en complément le *FilmArray*®/panel *Gastrointestinal* a été évalué pour la recherche d'agents pathogènes dans les matrices alimentaires complexes. Dans ce cadre, un projet de recherche clinique financé par le Service de santé des armées a été conduit entre 2018 et 2020, consistant en la validation de l'outil en tant que méthode alternative pour l'analyse microbiologique des denrées alimentaires. Cet outil est validé pour l'analyse des matières fécales, mais n'a jamais été évalué pour la recherche d'agents pathogènes dans les aliments. L'évaluation a consisté à comparer, selon un protocole normatif, les résultats de la recherche de trois agents pathogènes responsables de TIAC (*Salmonella* spp., *E. coli* et norovirus) avec le *FilmArray*®/panel *Gastrointestinal* et les méthodes de référence pour ces micro-organismes.
- le dernier axe de travail a consisté à évaluer l'efficacité de la nouvelle méthode d'investigation. Pour cela, les résultats des investigations déclarées à la surveillance épidémiologique des armées ont été comparés entre 2017-2019, après la mise en place et l'application de la nouvelle méthode et entre 1999-2016, avant la révision de la méthode. À la lumière de ce bilan, des propositions ont été élaborées pour faire évoluer la méthode d'investigation des TIAC dans les armées, dans ses principes et ses outils. Cette méthode consolidée a vocation à pouvoir être transposée aux TIAC en population civile, voire à d'autres problématiques de santé publique en France.

Identification des freins dans la conduite de l'investigation des TIAC

En France, parmi les TIAC déclarées en milieu civil entre 1996 et 2005, un agent pathogène a été identifié dans 46 % des foyers investigués. Pour les TIAC dont un agent a été confirmé biologiquement, celui-ci a été identifié uniquement dans les aliments pour 27 % des foyers et uniquement dans les échantillons biologiques collectés chez les malades pour 55 % des foyers. L'identification d'un agent pathogène chez les malades et dans les aliments a été rapportée pour 11 % des foyers. Pour 19 % des foyers, aucun agent pathogène n'a été identifié. La concordance entre les agents pathogènes identifiés chez les malades et dans les aliments a été estimée à 17 % (Delmas et al. 2006).

Pour les TIAC déclarées dans les Forces armées françaises entre 1999 et 2009, un agent pathogène a été identifié chez les malades et dans les denrées respectivement pour 29,4 % et 18,9 % des foyers. La concordance entre les agents pathogènes identifiés chez les malades et dans les aliments a été estimée à 18 % (Mayet et al. 2011). Plusieurs difficultés ont été identifiées, ayant pu contribuer à ces résultats (Mayet et al. 2011; Watier-Grillot et al. 2016 ; Watier-Grillot et al. 2017) :

- la notification de certaines TIAC a été tardive, ce qui a été préjudiciable à la qualité des données recueillies dans le cadre de l'investigation ;
- les questionnaires d'enquête ont parfois comporté des imprécisions concernant les plats constituant les menus et certaines catégories de denrées ont été *a priori* exclues (ex. : petits déjeuners, boissons et eaux destinées à la consommation humaine). Dans ces conditions, il n'a pas été possible de discriminer tous les plats servis dans les jours ayant précédé la TIAC ni d'identifier un plat suspect, lors de l'analyse statistique des données ;
- la collecte et les analyses d'échantillons n'ont pas été systématiquement réalisées, tant sur les malades que sur les denrées ;
- les échantillons collectés n'ont pas été pertinents ou représentatifs. En effet, les prélèvements issus des malades ont souvent été effectués lors de la phase de régression des symptômes, voire après la fin de l'épisode épidémique. Enfin, la répartition hétérogène des micro-organismes dans les aliments représente une autre gageure, en termes de diagnostic. Ce facteur peut notamment expliquer que des résultats d'analyses microbiologiques effectuées sur des repas témoins soient négatifs, alors qu'un agent pathogène est effectivement présent dans le(s) plat(s) concerné(s) (Bornert et al. 2002) ;



- l'acheminement des échantillons dans de bonnes conditions de préservation vers des laboratoires d'analyses de France hexagonale a posé et continue à poser des défis logistiques majeurs pour l'investigation des TIAC survenant à l'étranger, dans des zones où les capacités d'analyses locales sont limitées, voire absentes. Le recours à des transporteurs civils est fréquent mais ces prestations sont coûteuses et aucun budget spécifique n'était jusqu'alors prévu pour ces opérations. En raison du délai prolongé entre le transport et l'analyse, il est souvent nécessaire de recourir à la congélation des échantillons, ce qui peut fausser les résultats (destruction d'une proportion des bactéries à Gram négatif) ;
- les critères d'analyses des échantillons ont souvent été limités aux agents classiques tels que les salmonelles, *Staphylococcus* (*S.*) *aureus* et *Clostridium* (*C.*) *perfringens*, ce qui a probablement entraîné une sous-estimation de l'importance d'autres agents ;
- enfin, des agents pathogènes distincts ont été recherchés dans les échantillons de selles et de denrées.

Nouvelle méthode pour l'investigation des TIAC

À la lumière des limites constatées dans la bonne conduite de l'investigation des TIAC, des leviers ont été identifiés afin d'en améliorer l'efficacité, pour faire évoluer la méthode d'investigation appliquée dans les Forces armées françaises. Les évolutions majeures sont ici présentées.

Harmonisation des procédures appliquées dans le cadre d'une enquête pluridisciplinaire

Une enquête TIAC étant pluridisciplinaire et mobilisant différents acteurs, il est apparu nécessaire de définir un protocole d'investigation commun, avec plusieurs objectifs : *i/* harmoniser et standardiser la conduite des différentes étapes ; *ii/* centraliser la coordination et faciliter les interfaces ainsi que la circulation d'informations entre les différents acteurs ; *iii/* rationaliser et simplifier la conduite de l'investigation.

Plusieurs documents cadres ont été produits, consistant à décliner la méthode globale révisée en des procédures opérationnelles, spécifiques aux acteurs et à certaines étapes. Une conduite à tenir révisée à destination des médecins militaires a notamment été établie (Figure 1).

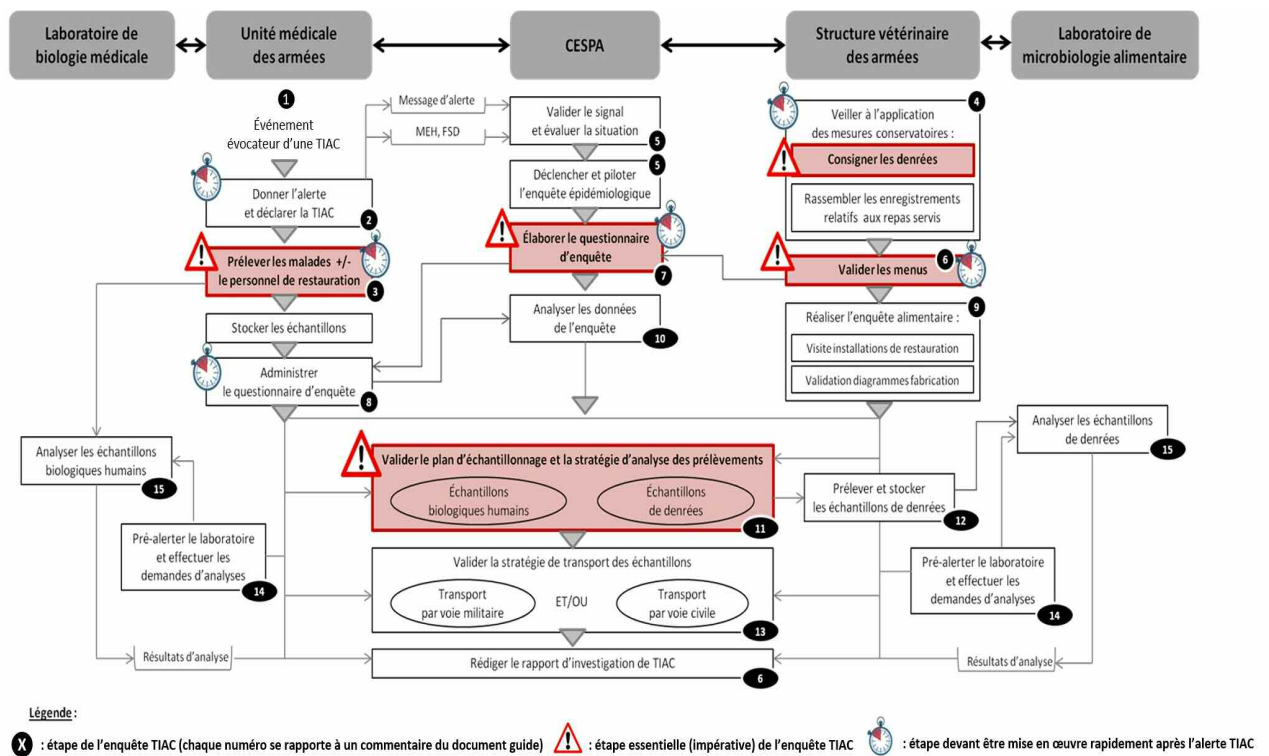


Figure 1. Schéma simplifié du protocole révisé d'investigation d'une TIAC au sein d'une unité militaire française

Renforcement et simplification des étapes clés de l'investigation

Le protocole révisé insiste sur l'importance de mener rapidement certaines étapes clés de l'investigation, qui en conditionnent la réussite (Figure 1). Pour certaines de ces étapes, les modalités de réalisation ont été simplifiées, afin d'en réduire les délais et les contraintes de mise en œuvre.



Alerte. Une sensibilisation des médecins militaires sur la notification immédiate de toute suspicion de TIAC a été effectuée par le CESP. Plusieurs moyens ont pour cela été utilisés : la formation initiale des praticiens, la conduite à tenir révisée à destination du médecin d'unité, des rappels réguliers dans le bulletin de rétro-information de la surveillance épidémiologique des armées, ainsi qu'à l'occasion des investigations de TIAC.

Échantillons biologiques humains. Une sensibilisation des médecins militaires sur la nécessité de recueillir des échantillons de selles sur les malades en cas de suspicion de TIAC a été effectuée, par les mêmes voies et supports que ceux mentionnés pour l'alerte. Le prélèvement d'un nombre minimum de cinq échantillons par foyer a été établi, en prenant en compte la faisabilité du recueil et la sensibilité de la méthode d'analyse utilisée pour le diagnostic syndromique, basée sur des techniques de PCR. Un autre point d'importance est la représentativité des échantillons, garantie par un recueil précoce après la date de survenue des symptômes, lors de la consultation initiale. Les malades les plus symptomatiques sont à prélever en priorité. Enfin, il a été rappelé de ne pas exclure *a priori* le personnel de restauration : interrogatoire systématique, complété au besoin par un examen clinique et le prélèvement d'échantillons biologiques.

À l'exception de l'étape de stockage intermédiaire des échantillons, à la charge du personnel médical, les étapes ultérieures d'enlèvement et d'acheminement des échantillons vers le(s) laboratoire(s) d'analyse sont gérées par le CESP. Cette organisation a l'avantage de centraliser l'étape du transport, afin d'en simplifier les modalités. Le personnel médical peut ainsi se recentrer sur les actions qui lui incombent lors de TIAC. En pratique, le recours à des transporteurs permet de s'affranchir de l'ensemble des

contraintes liées à cette étape, tout en garantissant la rapidité, la bonne conservation des échantillons et la sécurité du transport, dans le respect de la réglementation en vigueur (matières infectieuses).

Dans la nouvelle procédure, la stratégie d'analyse des échantillons biologiques humains est validée par le CESP, en lien avec les laboratoires. Cette organisation vise à centraliser et standardiser la recherche d'agents pathogènes chez les malades, afin d'en augmenter la probabilité de détection et le diagnostic de TIAC. En pratique, les échantillons sont orientés vers des laboratoires d'hôpitaux militaires détenteurs du FilmArray® (bioMérieux, France). Le **tableau 1** précise la liste des agents pathogènes inclus dans le panel *Gastrointestinal* du FilmArray®. En complément, la recherche des agents de TIAC non inclus dans ce panel (*C. perfringens*, *Bacillus (B.) cereus*, *S. aureus*) est effectuée, par des méthodes d'analyse de référence ou normalisées (cultures, tests immuno-enzymatiques pour la détection de toxines bactériennes, etc.). Un réseau de laboratoires experts pour certains agents de TIAC spécifiques a également été identifié. Il s'agit notamment des centres nationaux de référence (CNR), auxquels il est fait recours de manière systématique, afin de confirmer la présence d'un agent pathogène dans les échantillons et d'effectuer le génotypage des souches isolées, ce qui est utile pour vérifier la concordance des agents étiologiques retrouvés chez les malades et dans les denrées.

Bactéries	<i>Campylobacter (C.)</i> spp.
	– <i>C. jejuni</i>
	– <i>C. coli</i>
	– <i>C. upsaliensis</i>
	<i>Clostridium difficile</i> (toxine A/B)
	<i>Plesiomonas shigelloides</i>
	<i>Salmonella</i> spp.
	<i>Vibrio (V.)</i> spp.
	– <i>V. parahaemolyticus</i>
	– <i>V. vulnificus</i>
	– <i>V. cholerae</i>
	<i>Yersinia enterocolitica</i>
	<i>Escherichia (E.) coli</i> / <i>Shigella</i> diarrhéogènes
– <i>E. coli</i> entéroagréatif (EAEC)	
– <i>E. coli</i> entérotoxigène (EPEC)	
– <i>E. coli</i> entérotoxigène (ETEC) <i>lt/st</i>	
– <i>E. coli</i> producteur de toxine Shiga-like (STEC) <i>stx1/stx2</i> , dont <i>E. coli</i> O157	
– <i>Shigella</i> / <i>E. coli</i> entéro-invasif (EIEC)	
Virus	Adénovirus F40/41
	Astrovirus
	Norovirus GI/GII
	Rotavirus A
	Sapovirus (I, II, IV et V)
Parasites	<i>Cryptosporidium</i> spp.
	<i>Cyclospora cayentanensis</i>
	<i>Entamoeba histolytica</i>
	<i>Giardia lamblia</i>

Tableau 1. Agents pathogènes inclus dans le FilmArray® panel Gastrointestinal

Échantillons de denrées. Selon la nouvelle procédure, la gestion des échantillons de denrées et leur analyse sont désormais centralisées, sous le pilotage du CESP, comme pour les échantillons biologiques humains.

Le transport des échantillons de denrées est réalisé selon des modalités analogues à celles mentionnées pour les échantillons de selles. Pour les TIAC survenant à l'étranger, les démarches pour l'obtention de l'autorisation d'importation des échantillons de denrées sont effectuées par le CESP, en lien avec la Direction départementale en charge de la protection des populations (DDecPP) du lieu d'implantation du laboratoire de microbiologie alimentaire destinataire des échantillons.

Les échantillons sont analysés en première intention par le laboratoire du Commissariat des armées (LABOCA), qui est actuellement le seul laboratoire militaire en mesure d'effectuer des analyses microbiologiques des aliments et des EDCH. Il est



accrédité COFRAC pour ces domaines. Comme pour les échantillons biologiques humains, la stratégie d'analyse des échantillons de denrées est validée par le CESP, en lien avec les laboratoires d'analyse. En fonction des agents identifiés dans les selles, la recherche des mêmes agents est effectuée dans les denrées, selon des méthodes de référence ou normalisées en microbiologie alimentaire. En complément, les échantillons de denrées sont analysés en routine au moyen du *FilmArray*® panel *Gastrointestinal*, dans la continuité du diagnostic syndromique mis en œuvre sur les selles. Pour les analyses non réalisées par le LABOCA ou nécessitant une confirmation par des méthodes de référence, il est fait recours à un réseau de laboratoires prédéfini, dont les laboratoires nationaux de référence (LNR).

Enquête épidémiologique. La mise en œuvre d'une enquête cas-témoin est privilégiée, incluant les malades et deux non-malades par malade, afin de garantir une puissance statistique satisfaisante. Ce type d'enquête permet de limiter le nombre de personnes à interroger par rapport à une enquête de cohorte, notamment lorsque l'effectif rationnaire est important. Cela permet de réduire le temps passé à l'administration des questionnaires et à l'analyse des données, pour aboutir plus rapidement aux résultats. Autant que possible, en particulier lors de TIAC de grande ampleur ou avec un impact opérationnel significatif pour les Forces, le CESP déploie une équipe d'épidémiologistes pour réaliser l'enquête et l'administration des questionnaires. Les équipes médicales peuvent ainsi se recentrer sur la prise en charge des malades et la collecte d'échantillons biologiques humains. L'administration du questionnaire en face à face est privilégiée, afin de fiabiliser et de garantir l'exhaustivité des données recueillies. L'enquêteur peut alors solliciter un effort de mémoire de la personne interrogée sur les plats consommés avant la survenue de l'épisode.

Évaluation d'un nouvel outil pour le diagnostic syndromique sur les matrices alimentaires

Le *FilmArray*® panel *Gastrointestinal* (FA-GI) est utilisé en routine pour le diagnostic syndromique sur les selles de patients lors d'investigation de TIAC survenant au sein des Forces armées françaises. Une étude ayant testé le FA-GI pour l'analyse de divers aliments a conclu à des résultats prometteurs pour cet usage (Dwivedi et al. 2014). Toutefois, aucune évaluation rigoureuse du FA-GI pour l'identification fiable d'agents de TIAC dans les aliments n'a jusqu'alors été réalisée. Cette évaluation a été conduite dans le cadre de ce travail de thèse, avec l'objectif de créer une capacité basée sur un même outil d'analyse pour les matrices « selles » et « denrées » (les aliments, voire les eaux destinées à la consommation humaine). Cela représenterait un atout considérable pour gagner en performance dans l'investigation des TIAC dans la population militaire, notamment pour les épidémies survenant lors de missions à l'étranger, avec des capacités analytiques locales restreintes, voire absentes, en s'affranchissant des contraintes logistiques majeures liées au rapatriement d'échantillons diagnostiques vers des laboratoires de France hexagonale.

Le FA-GI a été évalué selon la norme ISO 16140-2, relative à la validation de méthodes alternatives qualitatives en microbiologie alimentaire (ISO 2016). Seule la première étape de validation de la norme, portée par un seul laboratoire organisateur, a été réalisée, la seconde consistant en une étude inter-laboratoire. En pratique, 294 échantillons d'aliments ont été analysés pour la recherche de *Salmonella* spp. (n = 98), *Escherichia* (*E.*) *coli* (n = 107) et norovirus (n = 89), en comparant le FA-GI et les méthodes de référence pour la recherche de ces micro-organismes cibles dans les aliments. Les agents pathogènes sélectionnés sont fréquemment incriminés dans des TIAC en population civile et militaire. Les aliments analysés ont été des salades composées, essentiellement à base de végétaux crus, des matrices alimentaires complexes fréquemment associées à des TIAC. Les échantillons non contaminés de manière naturelle ont été inoculés artificiellement avec les micro-organismes cibles. L'évaluation du FA-GI a inclus : i/ une étude de sensibilité ; ii/ une étude du niveau de détection ; iii/ une étude d'inclusivité (capacité à détecter les micro-organismes cibles parmi un large éventail de souches) et d'exclusivité (absence d'interférence par des micro-organismes non cibles), portant uniquement sur le FA-GI.

Le FA-GI a montré une excellente sensibilité (100 %) et spécificité (97,6 %) pour *Salmonella* spp., analogues aux performances de la méthode de référence. Pour *E. coli*, la sensibilité obtenue avec le FA-GI (92,2 %) a été supérieure à celle de la méthode de référence (81,2 %), avec toutefois une proportion de 59,1 % de faux positifs (n = 13). La spécificité du FA-GI a été estimée à 63,4 %, soit une valeur très inférieure à celle de la méthode de référence (86,4 %). En corollaire, des défauts d'identification des souches de *E. coli* inoculées dans les aliments ont été mis en évidence avec le FA-GI, représentant des pourcentages d'erreur de 14 % et de 9 %, respectivement pour l'étude d'inclusivité et l'étude d'exclusivité.

Ces résultats ont abouti à la conclusion que le FA-GI peut être utilisé de manière fiable pour la détection de *Salmonella* spp. et de *E. coli* dans des matrices alimentaires complexes. Toutefois, en cas de détection de *E. coli*, l'identification des souches impliquées doit être effectuée au moyen de la méthode de référence. La sensibilité du FA-GI estimée pour la détection du norovirus dans les matrices alimentaires complexes (62,7 %) a été très proche de celle obtenue avec la méthode de référence (64,4 %). Le FA-GI n'a pas détecté le norovirus à des concentrations inférieures à 103 copies de génome par gramme d'aliment, ce qui représente une limite importante à l'utilisation de cet outil pour la recherche de cet agent dans les matrices alimentaires, naturellement contaminées à de plus faibles concentrations. L'étape de prétraitement des échantillons est par conséquent essentielle, pour envisager l'utilisation du FA-GI pour la détection du norovirus dans des matrices alimentaires complexes. L'enjeu est de réaliser une extraction optimale des particules virales à partir de la matrice alimentaire, ainsi que la concentration de celles-ci dans la



solution à analyser, afin d'atteindre la limite de détection du FA-GI. Ceci implique de mettre au point des protocoles de prétraitement particuliers des échantillons d'aliment, adaptés de la norme NF EN ISO 15216-2, relative à la recherche qualitative du norovirus et du virus de l'hépatite A dans les aliments, par la technique PCR (ISO 2019). L'ensemble des résultats de ce projet de recherche a été valorisé, à travers deux publications dans des revues internationales (Watier-Grillot et al. 2025a ; Watier-Grillot et al. 2025b).

Efficacité de la nouvelle méthode d'investigation des TIAC – discussion

Exemples de TIAC investiguées avec la nouvelle méthode

Deux TIAC survenues en milieu militaire, pour lesquelles la nouvelle méthode d'investigation a été rigoureusement appliquée et qui ont été des réussites, elles ont apporté la preuve de l'efficacité de cette méthode.

Investigation d'épidémies de cryptosporidiose d'origine hydrique

En juin 2017, deux épidémies successives de cryptosporidiose ont touché des militaires dans un camp d'entraînement situé en France hexagonale. Entre 2015 et 2017, quatre autres épidémies de gastro-entérites avaient déjà été signalées sur ce site, toutes survenues chez des stagiaires dans les jours suivant leur arrivée sur le camp. Aucun agent pathogène n'a pu être identifié lors de ces premières épidémies, en raison de l'absence de prélèvement de selles chez les malades ou, lors des la réalisation de prélèvements, les analyses ont été effectuées par des laboratoires civils de proximité et ont été limitées à quelques agents pathogènes bactériens. Lors des épidémies de juin 2017, 100 cas ont été recensés au total parmi les militaires, représentant un taux d'attaque global de 27,8 %. Des enquêtes épidémiologique, microbiologique et environnementales ont été menées, afin d'en expliquer l'origine. Des échantillons de selles (n = 11) collectés sur les malades ont été analysés au moyen du *FilmArray*® panel *Gastrointestinal*, un outil de biologie moléculaire par PCR multiplex adapté diagnostic syndromique. *Cryptosporidium* spp. a été identifié dans 93 % des échantillons de selles. Des échantillons d'eau (100 litres) ont été prélevés sur dix points, répartis sur les installations d'eau potable militaires et civiles (réseau d'eau du camp militaire alimenté par le réseau public), pour la recherche d'oocystes de *Cryptosporidium* spp. L'identification des espèces de *Cryptosporidium* a été réalisée par PCR en temps réel sur le gène 18S SSU rRNA et confirmée par séquençage GP60. L'ensemble des installations d'eau civiles et militaires étaient contaminées par le parasite. Le niveau de contamination le plus élevé a été retrouvé dans le forage alimentant la station de production d'eau civile et en sorte de l'usine de traitement de cette ressource, avec plus de 1 000 oocystes/100 L. La souche *Cryptosporidium hominis*, sous-type IbA10G2, a été identifiée de manière concordante chez les malades et dans l'eau. L'enquête environnementale a révélé plusieurs activités polluantes dans le périmètre de protection du forage. Un module d'ultrafiltration supplémentaire a été installé au sein des installations de production d'eau, afin d'éliminer efficacement le parasite présent dans la ressource. Après plusieurs semaines, aucun oocyste de *Cryptosporidium* n'était détecté dans l'eau en sortie de l'usine de traitement, ni dans les réseaux de distribution d'eau civils et militaires (Watier-Grillot et al. 2022).

Cet exemple met en évidence l'intérêt et la puissance de l'approche syndromique dans l'investigation des TIAC. La modification de la stratégie d'investigation des TIAC dans les armées françaises, en recourant de manière systématique au diagnostic syndromique sur les selles des malades, au moyen d'un outil de PCR multiplex, a ici fait émerger l'hypothèse de *Cryptosporidium* spp. Connaissant l'épidémiologie de cette parasitose, l'origine hydrique de la contamination n'a plus fait de doute. Des analyses ciblées sur le réseau d'eau militaire et la ressource d'eau civile l'alimentant ont permis d'identifier l'origine de la contamination, contribuant à élucider des épidémies de gastro-entérites aiguës jusque-là non expliquées sur ce camp militaire. En plus de protéger la santé des militaires, la stratégie mise en place dans le cadre de cette investigation a contribué à une action de santé publique plus large, en faisant cesser l'exposition de la population civile à l'eau du réseau public contaminée par *Cryptosporidium* spp.

Investigation d'une TIAC atypique causée par une toxine végétale contenue dans un plat à base de haricots rouges

Le 6 juillet 2018, le CESPAs a été alerté d'une épidémie de gastro-entérite aiguë survenue parmi la population rationnaire d'un restaurant situé dans une base militaire de France hexagonale. Au total, 200 malades ont été signalés, sur une population exposée de 1 700 personnes, soit un taux d'attaque de 12 %. Les symptômes ont été principalement des troubles digestifs bas et sont apparus rapidement après le déjeuner du 5 juillet (délai médian : 3,3 heures), suggérant une TIAC avec un mécanisme toxinique. Une enquête cas-témoins a été conduite (92 cas, 113 témoins). Les analyses statistiques ont mis en évidence une association statistique forte entre le *chili con carne* servi au déjeuner du 5 juillet et la maladie (odds-ratio ajusté = 32,8 ; IC 95 % : [13,8-77,8], p < 1,10⁻⁴),



suggérant que ce plat était très probablement à l'origine de la TIAC. Des échantillons de selles (N = 4) ont été collectés chez les malades et ont été analysés au moyen d'un outil de biologie moléculaire par PCR multiplex, adapté au diagnostic syndromique. Des analyses complémentaires ont été effectuées pour rechercher les agents de TIAC non inclus dans le panel de l'outil. L'implication de *Clostridium* (*C.*) *perfringens* a tout d'abord été envisagée, l'entérotoxine (CPE) de cette bactérie ayant été identifiée dans les échantillons de selles et la bactérie ayant été isolée dans un des échantillons. Toutefois, la bactérie n'a pas été identifiée dans le plat de *chili con carne* suspect, ni dans aucun des autres aliments analysés dans le cadre de l'investigation. Le typage de la bactérie isolée dans une selle a mis en évidence une souche de *C. perfringens* productrice des toxines CPE, Alpha et Thêta, rarement impliquée dans des TIAC causées par *C. perfringens*. Ces éléments nous ont donc amené à reconsidérer notre hypothèse initiale. Un autre agent étiologique potentiel a alors été envisagé : la phytohémagglutinine (PHA), une toxine végétale présente dans les légumineuses et notamment dans les haricots. Le délai d'incubation et les symptômes associés à une intoxication par la PHA concordaient avec ceux décrits dans cette TIAC. La PHA été détectée dans le *chili con carne* et dans les haricots rouges crus ayant servi à l'élaboration de ce plat. L'activité hémagglutinante globale mesurée dans le *chili con carne* était supérieure à 400 HAU/g, dose à partir de laquelle des cas d'intoxication ont été décrits chez l'Homme. L'activité hémagglutinante dans les haricots rouges crus utilisés pour la fabrication du *chili* a été estimée à 66 667 HAU/g. Les haricots ont été insuffisamment cuits, en raison d'une cuisson lente à basse température, n'ayant pas permis de détruire complètement la PHA (Watier-Grillot et al. 2023).

La PHA est un agent de TIAC atypique et les TIAC causées par cet agent sont peu documentées. Cette investigation a constitué un véritable défi diagnostique et scientifique. Son aboutissement et sa réussite ont été obtenus grâce au diagnostic syndromique mis en œuvre, en application de la nouvelle méthode d'investigation des TIAC, qui a contribué à éliminer les hypothèses portant sur des agents de TIAC classiques, pour orienter l'investigation vers la recherche d'un agent étiologique non commun.

Comparaison des investigations de TIAC dans les armées françaises, selon l'ancienne et la nouvelle méthode

En complément des deux exemples d'investigation de TIAC présentés précédemment, la démonstration de l'efficacité de la nouvelle méthode a été étayée en comparant les résultats des investigations des TIAC conduites au sein des Forces armées françaises entre 1999-2016, avant la mise en place de la nouvelle méthode (période « avant ») et entre 2017-2019, après l'application de celle-ci (période « après »). La période d'évaluation de la nouvelle méthode a été arrêtée à fin 2019, avant la pandémie de COVID-19, cette dernière ayant entraîné une redéfinition des priorités dans les missions du CESP, avec un impact potentiel sur la conduite des investigations de TIAC.

Entre 1999-2016, 337 suspicions de TIAC ont été déclarées à la surveillance épidémiologique des armées et 307 épisodes ont finalement été qualifiés comme TIAC. Entre 2017 et 2019, 58 suspicions de TIAC ont été notifiées à la surveillance épidémiologique des armées. Douze TIAC suspectées ont finalement été reclassées en épidémie de gastro-entérites, en raison de l'absence de lien épidémiologique avec un repas commun consommé par les malades dans les jours ayant précédé l'épisode et/ou d'éléments fortement en faveur d'une épidémie de gastro-entérites à transmission interhumaine. Un total de 46 TIAC a donc été considéré au cours de cette période d'étude (CESPA, données non publiées).

Un premier volet de la comparaison des résultats d'investigation « avant » / « après » a porté sur les indicateurs clés de réalisation d'une investigation de TIAC, qui conditionnent la réussite de celle-ci. Des analyses statistiques multivariées, basées sur un modèle de régression logistique, ont été effectuées afin de déterminer l'existence d'une association entre ces indicateurs et la période (« avant » versus « après »), après ajustement sur le lieu et l'armée. Les analyses statistiques ont été effectuées au moyen du logiciel Minitab® *Statistical Software* version 2025 (Minitab, LLC).

L'amélioration de plusieurs indicateurs a été constatée suite à l'application de la nouvelle méthode d'investigation, notamment (Tableau 2) :

- le délai de notification, avec une proportion de TIAC déclarées dans un délai de moins de 24 heures significativement plus élevée « après » (51,2 %) qu' « avant » (33,9 %) ($p = 0,016$) ;
- la réalisation de prélèvements de selles chez les malades (56,1 % « avant » et 86,9 % « après », $p < 10^{-4}$) ;
- la réalisation de prélèvements d'échantillons de denrées (48,7 % « avant » et 58,8 % « après », $p = 0,005$) ;
- l'identification d'un plat suspect (57,1 % « avant » et 76,2 % « après », $p = 0,002$) ;
- l'identification d'un agent pathogène chez les malades (57,1 % « avant » et 76,2 % « après », $p = 0,002$) ;
- l'identification d'un agent pathogène dans les denrées (17,2 % « avant » et 34,8 % « après », $p = 0,005$) ;
- la concordance des agents pathogènes identifiés chez les malades et dans les denrées (4,2 % « avant » et 17,4 % « après », $p < 10^{-4}$) (Watier-Grillot et al. 2025c).

Pour les deux périodes d'étude, les agents pathogènes identifiés chez les malades ont été principalement des bactéries (70,9 % « avant » et 88,5 % « après »), suivies par des virus (26,6 % « avant » et 19,2 % « après ») et des parasites (7,6 % « avant » et 7,7 % « après »). Parmi les bactéries, les shigelles (33,9 %) et les salmonelles (26,8 %) ont été les plus fréquemment isolées « avant »,



alors que *C. perfringens* (34,8 %) et *E. coli* (26,1 %) ont été majoritaires « après ». Avec l'apport du diagnostic syndromique dans l'investigation des TIAC, l'élargissement du panel des agents pathogènes recherchés chez les malades à compter de 2017 a modifié la distribution des espèces bactériennes impliquées dans ces épidémies. Une diminution de la part relative des virus identifiés comme agents étiologiques a été observée entre la période « avant » (26,6 %) et « après » (19,2 %), ce qui s'explique par une meilleure discrimination des épidémies de gastro-entérite non associées à une origine alimentaire, dès l'étape de notification.

Concernant les agents pathogènes identifiés dans les aliments, pour les deux périodes d'étude, les bactéries ont été majoritaires (81,1 % « avant » et 62,5 % « après »), suivies par les virus (9,4 % « avant » et 18,8 % « après »), des agents « autres » tels que l'histamine et les toxines (9,4 % « avant » et 6,9 % « après »), puis les parasites (0,0 % « avant » et 6,9 % « après »). À compter de 2017, la proportion relative des virus (norovirus, essentiellement) isolés dans les aliments a augmenté, en raison de la recherche systématique de cet agent dans les matrices alimentaires, lorsqu'il a figuré parmi les hypothèses diagnostiques (Watier-Grillot 2025c).

Tableau 2. Résultats de la comparaison d'indicateurs-clés d'une investigation de TIAC « avant » (n = 307) et « après » (n = 46)¹

Indicateurs	Résultat période « avant » (1999 – 2016)	Résultat période « après » (2017 – 2019)	Degré de signification (p) ²
Délai notification de la TIAC			
Inférieur à 24 heures (versus supérieur à 24 heures)	33,9 % (37/109)	51,2 % (22/43)	0,016
Investigation			
- Réalisation d'une enquête épidémiologique	94,1 % (289/307)	86,9 % (40/46)	0,194
- Questionnaire	75,1 % (217/289)	77,5 % (31/40)	0,163
- Estimation d'un délai d'incubation	51,6 % (149/289)	87,5 % (35/40)	0,042
- Identification d'un repas suspect	68,5 % (198/289)	100,0 % (40/40)	0,034
- Identification d'un plat suspect	57,1 % (165/289)	76,2 % (32/40)	0,002
- Réalisation d'une enquête environnementale	72,3 % (149/289)	87,5 % (35/40)	0,920
Identification d'un agent pathogène			
- Prélèvement de selles chez les malades	58,1 % (168/289)	86,9 % (40/46)	< 10 ⁻⁴
- Prélèvement d'échantillons de denrées	48,8 % (141/289)	58,7 % (27/46)	0,005
- Identification d'un agent chez les malades			
▪ TIAC déclarées à la SEA	25,7 % (79/307)	56,5 % (26/46)	< 10 ⁻⁴
▪ TIAC investiguées et ayant fait l'objet de la collecte d'échantillons chez les malades	47,0 % (79/168)	65,0 % (26/40)	0,024
- Identification d'un agent dans les denrées			
▪ TIAC déclarées à la SEA	17,2 % (53/307)	34,8 % (16/46)	0,005
▪ TIAC investiguées et ayant fait l'objet de la collecte d'échantillons de denrées	37,6 % (53/141)	59,2 % (16/27)	0,036
Concordance agent malades / denrées			
- TIAC déclarées à la SEA	4,2 % (13/307)	17,4 % (8/46)	< 10 ⁻⁴
- TIAC investiguées et pour lesquelles un agent pathogène a été identifié chez les malades et dans les denrées	36,1 % (13/36)	50,0 % (8/16)	0,346
Rapport d'investigation			
- Rapport d'enquête environnementale	25,8 % (54/209) ³	91,4 % (32/35)	< 10 ⁻⁴
- Rapport d'investigation global	19,0 % (55/289) ³	80,0 % (32/40)	< 10 ⁻⁴

(1) : mesure de l'association entre les indicateurs clés de la conduite d'une investigation et la période d'étude (« avant » versus « après ») réalisée au moyen d'analyses statistiques multivariées, basées sur un modèle de régression logistique, après ajustement sur le lieu et l'armée, pour chaque indicateur.

(2) : seuil fixé à 5 %

(3) : les données utilisées ici pour la période « avant » étaient celles des années 2014 à 2016 (données non disponibles avant cette période).



Discussion

Un délai de notification plus rapide (moins de 24 heures) a contribué à améliorer de manière globale la qualité et les résultats des investigations de TIAC déclarées après 2016. Cette rapidité a favorisé le recueil d'échantillons de selle chez les malades, en complément de la sensibilisation des médecins militaires à la nécessité de prélever ces échantillons de manière systématique, en cas de suspicion de TIAC. En outre, un recueil précoce de selles chez les malades a conditionné la qualité de ces échantillons (représentativité, concentration d'agents pathogènes). Ces facteurs ont abouti à l'identification plus fréquente d'un agent pathogène chez les malades, pour les TIAC déclarées après 2016. En limitant le biais de mémorisation, une notification rapide a garanti le recueil de données d'enquête fiables, aboutissant à une meilleure identification d'un plat suspect. Par ailleurs, la mise en place précoce de mesures conservatoires au sein de la chaîne alimentaire, dès la notification de la suspicion de TIAC, a probablement contribué à l'obtention d'échantillons de denrées représentatifs des plats suspects (repas témoins, restes de plats, reliquats de matières premières, etc.). Ces conditions ont abouti à l'identification plus fréquente d'un agent pathogène dans les denrées, pour les TIAC déclarées après 2016.

Malgré une meilleure identification d'un agent même pathogène chez les malades et dans les denrées, pour les TIAC déclarées après 2016, la nouvelle méthode d'investigation n'a pas permis d'améliorer significativement cette concordance, dès lors qu'un agent pathogène a pu être recherché dans les selles des malades et dans les échantillons de denrée. Cela met en évidence la difficulté d'atteindre cet objectif, qui dépend de plusieurs facteurs, n'étant pas tous liés à la qualité de l'investigation. D'autre part, une augmentation significative de la proportion de TIAC ayant fait l'objet d'un rapport d'investigation final a été constatée après 2016. Ce rapport, en analysant les facteurs de risque ayant conduit à la survenue de la TIAC, contribue à en comprendre les mécanismes d'apparition, afin d'éviter les récives. En améliorant la qualité globale de l'investigation des TIAC, la nouvelle méthode contribue à une meilleure prévention de ces événements.

Enfin, les bons résultats obtenus avec la nouvelle méthode d'investigation des TIAC sont à nuancer. Plusieurs éléments ont en effet pu être à l'origine de biais, non estimés dans les analyses statistiques comparant les investigations menées « avant » et « après », notamment :

- la durée des deux périodes étudiées est très différentes (17 ans pour la période « avant », versus trois ans pour la période « après »), avec probablement une part de dérives d'application de la méthode d'investigation des TIAC plus importante « avant » qu'« après » ;
- l'évolution des techniques d'analyse et de recherche d'agents pathogènes dans les selles et les matrices alimentaires, plus sensibles et spécifiques ;
- l'augmentation des ressources de la surveillance épidémiologique des armées entre 1999 et 2019.

La nouvelle méthode d'investigation des TIAC mise en place au sein des armées françaises a vocation à être poursuivie et soutenue. Pour cela, des actions de formation et de sensibilisation sont à mener, destinées à garantir sa bonne application par les différents acteurs, de manière pérenne et constante. La mise en place d'indicateurs de performance serait utile pour suivre dans le temps l'efficacité de la méthode. Ces indicateurs pourraient s'inspirer de ceux développés par le FoodCORE (*Foodborne Diseases Centers for Outbreaks Response Enhancement*), dans le cadre du programme de surveillance des TIAC aux États-Unis (US CDC 2025). L'établissement de bilans périodiques sur les résultats de ces indicateurs permettrait de mettre en évidence des lacunes ou des dérives, générant des réajustements et des actions correctives, dans un processus d'amélioration continue.

En complément de la méthode, plusieurs pistes de réflexion et axes de recherche ont été identifiés, afin de développer des outils facilitant la conduite de l'investigation des TIAC. Elles concernent notamment les étapes de recueil/conservation des échantillons, ainsi que leur analyse. La mise au point de supports et milieux ne nécessitant pas la conservation des échantillons sous couvert de la chaîne du froid permettrait de s'affranchir des fortes contraintes logistiques liées à l'acheminement d'échantillons dans des laboratoires de France hexagonale, lors de TIAC survenant à l'étranger. Par exemple, l'emploi du papier buvard, pour le recueil et la conservation d'échantillons de selle destinés à la recherche d'agents de TIAC par PCR, serait à évaluer (Page *et al.* 2011).

L'évaluation du FA-GI pour la recherche de *Salmonella* spp., de *E. coli* et des norovirus dans des matrices alimentaires complexes serait à poursuivre et à finaliser, dans le cadre d'une étude inter-laboratoire, conformément à la norme ISO 16150-2. Une autre piste de réflexion consisterait à évaluer le FA-GI pour la recherche d'agents de gastro-entérites et de TIAC dans les eaux destinées à la consommation humaine. En cas de validation, cela permettrait de disposer d'un outil unique d'analyse par PCR multiplex applicable à l'ensemble des matrices dans lesquelles sont recherchées des agents de TIAC. À ce stade, il apparaîtrait alors opportun de réfléchir à compléter le panel du FA-GI par certains agents pathogènes communément impliqués dans des TIAC, mais non inclus dans l'actuel panel, à savoir *C. perfringens*, *B. cereus* et *S. aureus*. D'autres outils de PCR multiplex pourraient également être prospectés et évalués pour mettre en œuvre le diagnostic syndromique sur les matrices alimentaires et les eaux destinées à la consommation humaine.



En corollaire du développement d'outils pour la recherche d'agents classiques de TIAC dans les denrées, un travail serait à mener pour développer les capacités analytiques de détection d'agents atypiques de TIAC. Cela impliquerait d'effectuer un recensement de ces agents, des laboratoires en mesure de les rechercher dans les aliments et de construire un réseau de laboratoires spécifiques, à l'échelle nationale et/ou internationale. Cette étape serait probablement à compléter par des travaux de recherche, destinés à combler les lacunes capacitaires identifiées.

Enfin, un autre axe de réflexion porterait sur le développement de modules intégrant l'intelligence artificielle, pour générer des hypothèses sur l'origine d'une TIAC, lors de la phase initiale de recueil de données, lors de l'interrogatoire des malades et lors de l'enquête environnementale.

Conclusion

Des lacunes ont été identifiées dans la conduite d'une investigation de TIAC, réduisant la probabilité de réussite. Partant de ce constat, une nouvelle méthode d'investigation a été mise en place, basée sur une approche syndromique et appliquée aux TIAC survenant dans les armées françaises à compter de 2017. Cette méthode a été complétée par le développement d'outils destinés à la servir et à la mettre en œuvre de manière efficace. C'est notamment le travail de recherche effectué dans le cadre de l'évaluation d'un outil de PCR multiplex pour la détection d'agents de TIAC dans les matrices alimentaires. Le bilan de l'ensemble de ces travaux est positif, puisqu'il confirme l'efficacité de la nouvelle méthode d'investigation des TIAC, ainsi qu'une utilisation possible d'un outil de PCR multiplex pour la détection d'agents de TIAC dans les selles des malades et dans les aliments. Ce bilan ouvre également le champ à de nombreuses perspectives, réflexions et travaux de recherche autour des TIAC et de leur investigation. La méthode et les outils proposés dans ce travail ont vocation à être partagés, pour éventuellement être utilisés dans des programmes de surveillance des TIAC, en France ou à l'étranger. Ils pourraient également être transposés à d'autres problématiques de santé publique d'intérêt en France.

Références

- American Centers for Disease Control and Prevention (US CDC). Foodborne Diseases Centers for Outbreak Response Enhancement. FoodCORE SSL Metrics. 2024. [Available online]. <https://www.cdc.gov/foodcore/php/metrics/foodcore-ssl-metrics.html>. Accessed on July 28, 2025.
- Bateman, A. C., Kim, Y. J., Guaracao, A. I., Mason, J. L., Klos, R. F., & Warshauer, D. M. (2020). Performance and impact of the BioFire FilmArray Gastrointestinal Panel on a large *Cyclospora* outbreak in Wisconsin, 2018. *Journal of Clinical Microbiology*, 58(2), e01415-19. <https://doi.org/10.1128/JCM.01415-19>
- Bornert, G., Gorsane, S., & Genin-Lomier, S. (2002). Méthode d'enquête vétérinaire lors de toxi-infections alimentaires collectives dans les Armées : bilan de 28 foyers déclarés en 1999 et 2000. *Médecine et armées*, 30(6), 575–580.
- Bryce, C. (2024). FilmArray GI Panel in the assessment of acute gastroenteritis. *American Family Physician*, 109(1), 88–89. <https://www.aafp.org/pubs/afp/issues/2024/0100/diagnostic-tests-gastroenteritis.html>
- Buss, S. N., Leber, A., Chapin, K., Fey, P. D., Bankowski, M. J., Jones, M. K., et al. (2015). Multicenter evaluation of the BioFire FilmArray gastrointestinal panel for etiologic diagnosis of infectious gastroenteritis. *Journal of Clinical Microbiology*, 53(3), 915–925. <https://doi.org/10.1128/JCM.02674-14>
- Delmas, G., Gallay, A., Espié, E., Haeghebaert, S., Pihier, N., Weill, F.-X., et al. (2006). Les toxi-infections alimentaires collectives en France entre 1996 et 2005. *Bulletin épidémiologique hebdomadaire*, (51–52), 418–422. <https://www.santepubliquefrance.fr/content/download/185055/2314789>
- Dilange, L., Fournier, L., Laurent, E., Billecoq, I., Jones, G., Tourdjman, M., et al. (2024). Surveillance des toxi-infections alimentaires collectives (TIAC) : Données de la déclaration obligatoire, 2022 (Édition nationale). Santé publique France. <https://www.santepubliquefrance.fr/maladies-et-traumatismes/maladies-infectieuses-d-origine-alimentaire/toxi-infections-alimentaires-collectives/documents/bulletin-national/surveillance-des-toxi-infections-alimentaires-collectives.-donnees-de-la-declaration-obligatoire-2022>
- Dolma, K. G., Das, M., Saravanabhavan, S. S., Khati, R., Chowdhury, G., Bhutia, J. L., et al. (2024). Investigation of an acute gastrointestinal illness outbreak linked to drinking water in a higher educational institute in East Sikkim, India. *Cureus*, 16(7), e64050. <https://doi.org/10.7759/cureus.64050>
- Dwivedi, H. P., Rule, P., & Bailey, S. (2014). The FilmArray™: An innovative multiplex system for the rapid detection of foodborne pathogens. Communication présentée à AOAC Annual Meeting, Hazelwood, États-Unis.
- European Food Safety Authority, & European Centre for Disease Prevention and Control. (2024). The European Union One Health 2023 Zoonoses report. *EFSA Journal*, 22(12), e9106. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2024.9106>
- Hannet, I., Engsbro, A. L., Pareja, J., Schneider, U. V., Lisby, J. G., Pružinec-Popović, B., et al. (2019). Multicenter evaluation of the new QIAstat Gastrointestinal Panel for the rapid syndromic testing of acute gastroenteritis. *European Journal of Clinical Microbiology & Infectious Diseases*, 38(11), 2103–2112. <https://doi.org/10.1007/s10096-019-03646-4>
- Havelaar, A. H., Kirk, M. D., Torgerson, P. R., Gibb, H. J., Hald, T., Lake, R. J., et al. (2015). World Health Organization global estimates and regional comparisons of the burden of foodborne disease in 2010. *PLOS Medicine*, 12(12), e1001923. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1001923>
- Hu, P., Liu, C., Ruan, J., Yuan, M., Ju, C., Ma, Y., et al.



(2020). FilmArray GI-panel performance for the rapid and multiple detection of gastrointestinal microorganisms in foodborne illness outbreaks in Shenzhen during 2018–2019. *Infection, Genetics and Evolution*, 86, 104607.

<https://doi.org/10.1016/j.meegid.2020.104607>

• Hubert, B., & Catsaras, M. (1990). Maîtrise de la connaissance des toxi-infections alimentaires collectives en France. *Bulletin de l'Académie Vétérinaire de France*, 143(Suppl. 3), 107–118. <https://doi.org/10.4267/2042/64379>

• International Organization for Standardization. (2016). *Microbiology of the food chain — Method validation — Part 2: Protocol for the validation of alternative (proprietary) methods against a reference method* (ISO Standard No. 16140-2:2016). <https://www.iso.org/standard/54870.html> (ISO)

• International Organization for Standardization. (2019). *Microbiology of the food chain — Horizontal method for determination of hepatitis A virus and norovirus in food using real-time RT-PCR — Part 2: Method for qualitative detection* (ISO/TS 15216-2:2019). <https://www.iso.org/standard/74263.html>

• Massa, B., Van Hoecke, F., & Vervaeke, S. (2024). Physician-directed microbiological testing versus syndromic multiplex PCR in gastroenteritis. *European Journal of Clinical Microbiology & Infectious Diseases*, 43(3), 417–422.

<https://doi.org/10.1007/s10096-023-04740-4>

• Mayet, A., Manet, G., Decam, C., Morisson, D., Bédubourg, G., Pommier de Santi, V., Meynard, J.-B., Bornert, G., Deparis, X., & Migliani, R. (2011). Epidemiology of food-borne disease outbreaks in the French armed forces: A review of investigations conducted from 1999 to 2009. *Journal of Infection*, 63(5), 370–374. <https://doi.org/10.1016/j.jinf.2011.08.003>

• Page, A.-L., Alberti, K. P., Guérolé, A., Mondongue, V., Lonlas Mayele, S., Guerin, P. J., & Quilici, M.-L. (2011). Use of filter paper as a transport medium for laboratory diagnosis of cholera under field conditions. *Journal of Clinical Microbiology*, 49(8), 3021–3023. <https://doi.org/10.1128/JCM.00514-11>

• Scallan, E., Griffin, P. M., Angulo, F. J., Tauxe, R. V., & Hoekstra, R. M. (2011). Foodborne illness acquired in the United States—Unspecified agents. *Emerging Infectious Diseases*, 17(1), 16–22. <https://doi.org/10.3201/eid1701.091101p2>

• Selman, C. A., & Green, L. R. (2008). Environmental health specialists' self-reported foodborne illness outbreak investigation practices. *Journal of Environmental Health*, 70(6), 16–21, 53–54. <https://www.jstor.org/stable/26328145>

• Van Cauteren, D., Le Strat, Y., Sommen, C., Bruyand, M., Tourdjman, M., Jourdan Da Silva, N., Couturier, E., Fournet, N., de Valk, H., & Desenclos, J.-C. (2017). Estimated annual

numbers of foodborne pathogen-associated illnesses, hospitalizations, and deaths, France, 2008–2013. *Emerging Infectious Diseases*, 23(9), 1486–1492.

<https://doi.org/10.3201/eid2309.170081>

• Watier-Grillot, S., Chammam, K., Pommier de Santi, V., Manet, G., Mayet, A., Lamand, R., et al. (2016). Toxi-infections alimentaires collectives dans les armées françaises : bilan des investigations menées de 1999 à 2013. *Épidémiologie et Santé Animale*, (70), 59–72.

• Watier-Grillot, S., Boni, M., Tong, C., Renoult, P. A., Fournier, A., Joie, L., et al. (2017). Challenging investigation of a norovirus foodborne disease outbreak during a military deployment in Central African Republic. *Food and Environmental Virology*, 9(4), 498–501.

<https://doi.org/10.1007/s12560-017-9312-6>

• Watier-Grillot, S., Costa, D., Petit, C., Razakandrainibe, R., Larréché, S., Tong, C., et al. (2022). Cryptosporidiosis outbreaks linked to the public water supply in a military camp, France. *PLOS Neglected Tropical Diseases*, 16(9), e0010776. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0010776>

• Watier-Grillot, S., Larréché, S., Mazuet, C., Baudouin, F., Feraudet-Tarisse, C., Holterbach, L., Dia, A., Tong, C., Bourget, L., Hery, S., Pottier, E., Bouilland, O., Tanti, M., Merens, A., Simon, S., Diancourt, L., Chesnay, A., & Pommier de Santi, V. (2023). From foodborne disease outbreak (FBDO) to investigation: The plant toxin trap, Brittany, France, 2018. *Toxins*, 15(7), 457. <https://doi.org/10.3390/toxins15070457>

• Watier-Grillot, S., Sauvageot, C., Thiébaud, E., Pommier de Santi, V., & Chesnay, A. (2025). Multiplex polymerase chain reaction and testing of complex food matrices: A preliminary study on *E. coli* and *Salmonella* spp. *Journal of Microbiological Methods*, 237, 107251.

<https://doi.org/10.1016/j.mimet.2025.107251>

• Watier-Grillot, S., Loutreul, J., Boudaud, N., Sauvageot, C., Thiébaud, E., Pommier de Santi, V., & Chesnay, A. (2026). Evaluation of BioFire® FilmArray® Gastrointestinal panel for the detection of norovirus in complex food matrices. *Food Microbiology*, 134, 104931.

<https://doi.org/10.1016/j.fm.2025.104931>

• Watier-Grillot, S. (2025). *Apport du diagnostic syndromique dans l'investigation des toxi-infections alimentaires collectives au sein des Forces armées françaises* (Thèse de doctorat en sciences de la vie et de la santé, spécialité maladies infectieuses et microbiote). Aix-Marseille Université, École doctorale ED659. <https://college-doctoral.univ-amu.fr/soutenance/1026>

