



Ecole nationale Vétérinaire

d'Alfort

MASTER 2^{ème} ANNEE

Santé publique Paris XI et Sciences et santé Paris XII

SPECIALITE

**SURVEILLANCE EPIDEMIOLOGIQUE DES MALADIES
HUMAINES ET ANIMALES**

RAPPORT DE STAGE

**Comparaison de la probabilité d'être indemne de *Trichinella spp* en France par
simulation de différents scénarios de surveillance.**

Présenté par

Lee Aymar NDOUNGA DIAKOU

Réalisé sous la direction de : Gina Zanella et Isabelle Vallée

Organisme et pays : Anses, Maisons-Alfort - France

Période du stage : Du 08 Janvier au 11 Juin 2014

Date de soutenance : 25 Juin 2014

Année universitaire 2013-2014

Remerciements

Je souhaite, à travers ce mémoire d'étude, remercier toute l'équipe de l'Unité-Epi (Laboratoire de santé animale) de l'Anses qui m'a chaleureusement accueilli et fait une place au sein de ses locaux.

Merci à Gina ZANELLA, qui m'a formée à la méthode de la surveillance basée sur le risque en santé animale et sans qui ce travail n'aurait guère abouti. Votre encadrement et passion pour cette thématique m'impressionne encore.

Merci à Isabelle VALLEE et son équipe (LNR-Trichine) pour leur disponibilité et volonté à répondre à nos questions concernant le système de surveillance de la Trichinellose animale en France. Vos « dires d'experts » nous ont permis d'avancer à chaque impasse.

Mes sincères remerciements à l'endroit de l'équipe pédagogique du master S.E.M.H.A (ENVA, UPEC, Paris XI, InVS, Cirad etc) qui m'a particulièrement ouvert les yeux sur les problématiques relatives à la fois à la santé animale et humaine. La vision acquise durant cette formation me pousse à rendre particulièrement hommage à la médecine vétérinaire.

Une pensée nostalgique pour mes collègues de master avec qui j'ai passé des moments parfois inoubliables. Mes souvenirs du mois passé ensemble à Montpellier sont encore présents.

Je remercie mon père du fond du cœur. Tu m'as soutenu dans le choix de cette formation pour m'imprégner de la richesse de cette discipline qu'est la santé publique. Tu restes un modèle de tout instant.

A Emilie POIRRIER, mon amie omniprésente durant toute cette année académique. Ta patience et ton accompagnement m'ont été précieux. Je t'aurai quand même pollué les oreilles avec mes « histoires de Trichine »...Merci chérie.

Abréviations

C.I.T : Commission internationale sur les trichinelloses

CE : Commission européenne

CNR : Centre national de référence

EILA : Essai interlaboratoire

ELISA : Enzyme linked immunosorbent assay

IFI : Immunofluorescence indirecte

LNN : Larve nouveau-né

LNR : Laboratoire national de référence

LPG : Larve par gramme

LVD : Laboratoire vétérinaire départemental

O.I.E : Organisation internationale des épizooties

OMS : Organisation mondiale de la santé

ONCFS : Office national de la chasse et la faune sauvage

P* : Prévalence spécifiée

PEI : probabilité effective d'infection

PrInd : Probabilité d'être indemne

PrInf : Probabilité initiale d'infection

PrIntro : Probabilité annuelle d'introduction du parasite

PrP : Proportion de population

PrS : Proportion de surveillance

RA : Risque ajusté

RR : Risque relatif

Se_D : Sensibilité de détection

SeSS : Sensibilité du système de surveillance

Se_T : Sensibilité diagnostique du test

Sp : Spécificité de test ou du système de surveillance

T : Trichinella

T.I.AC : Toxiinfection alimentaire

U.E : Union européenne

UMR-Bipar : Unité mixte de recherche Biologie moléculaire et immunologie parasitaires

VPN : Valeur prédictive négative

Liste des tableaux et figures

Tableau 1 : Effectifs de la base de données de porcs domestiques abattus et testés entre 1997 et 2012 en France continentale

Tableau 2 : Effectifs de la base de données de porcs domestiques abattus et testés entre 1997 et 2012 en Corse

Tableau 3 : Nombre de porcs testés en France continentale en 2012 d'après le scénario simulé de la surveillance basée sur le risque

Tableau 4 : Paramètres du modèle de simulation et informations générales sur le système de surveillance de la trichinellose en France continentale et en Corse

Tableau 5 : Sensibilité annuelle du système de surveillance et probabilité moyenne d'être indemne de *Trichinella spp* en France continentale entre 1997 et 2012 d'après le scénario (CE) N° 2075/2005

Tableau 6 : Sensibilité annuelle du système de surveillance et probabilité moyenne d'être indemne de *Trichinella spp* en Corse entre 1997 et 2012 d'après le scénario (CE) N° 2075/2005

Figure 1 : Répartition géographique des parasites du genre *Trichinella*

Figure 2 : Cycles sauvage et domestique de *Trichinella spp*

Figure 3 : Cycle biologique de *Trichinella spp*

Figure 4 : Arbre de scénarios représentatif du système de surveillance de la trichinellose animale en France

Figure 5 : Probabilité moyenne d'être indemne de *Trichinella spp* dans la population porcine de France continentale en se basant sur le scénario de la commission européenne (CE) N° 2075/2005 dans lequel tous les porcs sont testés (1997-2012)

Figure 6 : Probabilité d'être indemne de *Trichinella spp* dans la population porcine Corse d'après le scénario de la commission européenne (CE) N° 2075/2005 avec une probabilité annuelle d'introduction de 25% (1997-2012)

Figure 7 : Probabilité moyenne d'être indemne de *Trichinella spp* en France continentale entre 1997-2012 avec un $RR_{\text{plein-air}} = 2,5$ et $RR_{\text{reproducteur}} = 2,5$

Figure 8 : Probabilité moyenne d'être indemne de *Trichinella spp* en France continentale entre 1997-2012 avec un $RR_{\text{plein-air}} = 2,5$ et $RR_{\text{reproducteur}} = 5$

Figure 9 : Probabilité moyenne d'être indemne de *Trichinella spp* en France continentale entre 1997-2012 avec un $RR_{\text{plein-air}} = 5$ et $RR_{\text{reproducteur}} = 2,5$

Figure 10 : Probabilité moyenne d'être indemne de *Trichinella spp* en France continentale entre 1997-2012 avec un $RR_{\text{plein-air}} = 5$ et $RR_{\text{reproducteur}} = 5$

Table des matières

Remerciements	2
Abréviations	3
Résumé	10
A. Introduction	14
I. Généralités	16
1. Agents Pathogènes	16
1.1. Taxonomie.....	16
1.2. Distribution géographique du parasite et réceptivité des hôtes.....	17
2. Cycles parasitaires et symptomatologie.....	18
3. Diagnostic parasitaire.....	20
3.1. La méthode de digestion artificielle	20
3.2. La trichinoscopie et la sérologie.....	21
4. Prophylaxie et traitement	21
II. Epidémiologie	23
1. Réservoirs	23
1.1. Réservoir sauvage	23
1.2. Réservoir Domestique	23
2. Mode de transmission	24
3. Répartition géographique des cas de trichinellose humaine et animale.....	24
4. Surveillance épidémiologique.....	25

4.1.	Réglementation en vigueur.....	25
4.2.	Systèmes de surveillance.....	26
4.3.	Surveillance basée sur le risque.....	26
II.	Contexte de l'étude et objectif.....	29
B.	Matériels et méthodes.....	31
I.	Population de référence.....	31
1.	Description.....	31
2.	Base de données.....	32
II.	Description du modèle.....	34
1.	Prévalence spécifiée ou risque acceptable.....	37
2.	Détection de <i>Trichinella spp</i> par digestion artificielle.....	37
2.1.	Sensibilité diagnostique du test.....	37
2.2.2.	Sensibilité de détection du parasite par les laboratoires.....	38
3.	Sensibilité du système de surveillance.....	38
3.1.	Sensibilité du système selon le scénario de la commission européenne (CE No 2075/2005).....	39
3.2.	Sensibilité du système de surveillance selon la surveillance basée sur le risque.....	39
3.2.1.	<i>Catégories à risque et risque relatif</i>	39
3.2.2.	<i>Proportion de surveillance et proportion de population selon la catégorie</i>	40
3.2.3.	<i>Risque ajusté et probabilité effective d'infection</i>	41
3.2.4.	<i>Calcul de la sensibilité du système de surveillance</i>	42
4.	Probabilité d'être indemne.....	42
4.1.	La probabilité annuelle d'introduction du parasite dans le système de surveillance	43

4.2.	Probabilité initiale d'infection et probabilité d'infection à postériori.....	43
4.3.	Calcul de la probabilité d'être indemne	44
5.	Valeurs des paramètres du modèle.....	45
5.1.	Sensibilité diagnostique du test et sensibilité de détection du laboratoire	45
5.2.	La probabilité annuelle d'introduction du parasite dans le système de surveillance	46
C.	Résultats.....	50
I.	Scénario 1: règlement (CE) N° 2075/2005	50
1.	France continentale	50
2.	Corse	52
II.	Scénario 2 : Surveillance basée sur le risque	54
D.	Discussion	57
1.	Données de surveillance épidémiologique de la trichinellose en abattoir	57
2.	La probabilité annuelle d'introduction du parasite	60
E.	Conclusion	62
	Références bibliographiques	63
	Annexe	68

Résumé

La trichinellose est une affection parasitaire de répartition mondiale due à un ver rond (*Trichinella spp*). Son réservoir naturel est la faune sauvage (sanglier, renard, raton laveur etc) et l'Homme contracte en général l'infection en consommant de la viande de porc/sanglier ou de cheval infestée mal cuite.

Le diagnostic classique de la maladie se fait par la recherche de parasite sur des prélèvements d'échantillon de viande (muscle du diaphragme ou de la langue) ou de sang. La méthode de référence pour le diagnostic chez l'animal est la digestion enzymatique artificielle utilisant la pepsine chlorhydrique sur 1 ou 2 g de muscle respectivement pour les porcs hors-sol et plein-air ou reproducteurs. La sensibilité diagnostique du test de digestion artificielle est de 40% pour une quantité de viande d'1g infestée à moins d'une larve. En France, le laboratoire national de référence (LNR-trichine) organise depuis 2003 des essais interlaboratoires (EILA) annuels évaluant la performance des laboratoires vétérinaires départementaux à réaliser le test de digestion artificielle. Ces EILA permettent ainsi d'établir une sensibilité de détection de *Trichinella spp* par les labotaires.

En France, trente épidémies ont été enregistrées depuis 1975, la majorité étant due à la consommation de viande de cheval importée. Les enquêtes menées dans la faune sauvage en 2003 et 2009 dans certains départements de France continentale n'ont pas révélé des résultats significatifs. Néanmoins une circulation à bas bruit du parasite via la détection par sérologie avait été rapportée lors de la première enquête.

La surveillance épidémiologique au niveau animal en Europe est régie par le règlement (CE) N° 2075/2005 de la commission européenne fixant les règles applicables aux contrôles officiels concernant la présence de *Trichinella spp* dans les viandes. Cette directive stipule que toute espèce animale sensible à *Trichinella spp* doit être systématiquement testée en abattoir par un laboratoire agréé ou accrédité avant consommation. En outre, dans un contexte de standardisation de la politique européenne de surveillance de la trichinellose, les pays membres peuvent utiliser les données historiques de surveillance et s'en servir pour démontrer au moins à 95% qu'ils sont à risque négligeable (indemne) de *Trichinella spp* sur leur territoire. Cette preuve conforte la confiance entre états en ce qui concerne les accords commerciaux et peut permettre à un pays membre de passer du statut de pays à risque endémique (ou sans données de surveillance) à un statut de pays à risque négligeable ou

faible. En conséquence, le pays membre ayant eu la reconnaissance de son statut indemne de *Trichinella spp* par la Commission européenne pourrait ensuite justifier une pratique de la surveillance basée sur le risque dans laquelle seuls les porcs les plus à risque seraient testés. La particularité de la surveillance basée sur le risque est de rechercher le danger uniquement là où la probabilité de le rencontrer est plus élevée, en testant de préférence des sous-populations qui ont un risque élevé d'être infectées. En effet toutes les catégories des porcs ne possèdent pas le même risque quant à la susceptibilité de contracter l'infection. Les porcs élevés en plein-air sont ainsi plus à risque que les porcs élevés en exploitation hors-sol à cause de la probabilité de contact plus grande avec la faune sauvage. Par ailleurs, les porcs reproducteurs, de par une exposition plus longue à une potentielle infection à cause de leur espérance de vie plus élevée, sont plus à risque que les porcs charcutiers. En limitant la recherche de parasites aux porcs plein-air et reproducteurs, la surveillance basée sur le risque permet à terme de réaliser un bénéfice économique considérable en exonérant des milliers de porcs d'analyses de laboratoire dans un contexte où le coût du test concernant un échantillon collectif de 100 g (1 g par animal) est estimé à environ 50 euros.

En France la directive européenne (CE) N° 2075/2005 n'est que partiellement intégrée car tous les porcs ne sont pas testés. En effet, bien que tous les porcs plein-air et reproducteurs soient testés seule une proportion de surveillance de 0,1% (1 porc testé sur 1000) serait ainsi appliquée aux porcs hors-sol. Par ailleurs les sangliers issus de la chasse et consommés ensuite dans un contexte associatif ne sont testés que depuis 2008 suite à une note circulaire de la Direction générale de l'alimentation. En outre depuis 2006, il existe une proportion de porcs hors-sol charcutiers testés en autocontrôle sur 0,25 g par les industriels dans le cadre des exportations de viande vers la Russie.

Nous avons mené une étude d'évaluation du système de surveillance de la trichinellose dans la population porcine de France (hors DOM TOM). L'objectif était de déterminer le degré de confiance dans le système de surveillance quant à sa capacité à déclarer *Trichinella spp* absent (probabilité d'être indemne de *Trichinella spp*) dans cette population de référence selon deux scénarios : 1) le scénario découlant du règlement (CE) N° 2075/2005 dans lequel tous les porcs abattus sont tous testés et 2) le scénario de la surveillance basée sur le risque, dans lequel pratiquement tous les porcs à risque élevée sont testés et où la proportion de surveillance de la sous population à faible risque sur la base de est fixée à 0,01%. Pour ce faire, pour chaque scénario envisagé, nous avons estimé la capacité du système à détecter au moins un cas positif (sensibilité du système de surveillance) au-dessus de la prévalence

spécifiée ou attendue qui est de un porc testé positif et détecté sur un million (0,0001%) et qui constitue le risque acceptable. Le calcul de la sensibilité du système de surveillance (SeSS) dépend de la sensibilité diagnostique (Se_T) du test de digestion artificielle et du nombre d'animaux testés ou de carcasses positives attendues. Les valeurs annuelles de sensibilité de détection (Se_D) par le laboratoire résultant des EILA ont également permis d'optimiser la valeur de SeSS.

Dans cette étude, nous avons utilisé une méthodologie combinant les données historiques de surveillance centralisées par le LNR-trichine durant la période de 1997 à 2012. Nous avons assigné tour à tour, pour la surveillance basée sur le risque, des valeurs de risques relatifs (RR) égales à 2,5 et 5 pour les deux catégories à risque (plein-air et reproducteurs). La probabilité initiale d'infection en 1997 a été fixée à 50%. Des distributions de probabilité Pert ou Beta ont permis de prendre en compte la variabilité et l'incertitude dans l'estimation des valeurs de paramètres. Nous avons réalisé des simulations de MonteCarlo sur 10 000 itérations via le logiciel PopTools (Excel 2010) pour estimer la valeur annuelle moyenne de la probabilité d'être indemne et son intervalle de confiance à 95%.

Dans le scénario (CE N° 2075/2005), En France continentale, la probabilité d'être indemne de *Trichinella spp* dans la population porcine se maintient en moyenne à 94,5% (IC 95% : 87,4-98,66%) entre 1997 et 2012 avec une SeSS égale à 100% dès 1997. Dans la surveillance basée sur le risque, une SeSS optimale de 98% et une PrInd maximale de 94,37% (IC95%, 87,01-98,53%) sont atteintes en 2012 pour une combinaison de RR égale à 5 pour les porcs plein-air et reproducteurs. Avec des valeurs de RR de 2,5 la probabilité d'être indemne est en dessous de celle du scénario (CE N° 2075/2005).

« Le partage des responsabilités et la coordination des actions globales pour gérer les risques sanitaires aux interfaces animal-homme-écosystèmes ».

One health...

A. Introduction

La trichinellose est une zoonose mondiale avec un impact sanitaire et économique considérables (1, 2). Le réservoir naturel de la maladie est exclusivement animal (mammifères monogastriques et oiseaux) et l'agent pathogène (*Trichinella spp*) passe de l'environnement sauvage à l'environnement domestique lorsque les barrières sanitaires entre les élevages domestiques et la faune sauvage sont mal assurées ou gérées (3).

La transmission à l'Homme est exclusivement alimentaire. La trichinellose est en effet transmise par un vers rond non visible à l'œil nu. Celui-ci est ingéré lors de la consommation de viande de porc ou de sanglier parasitée crue ou insuffisamment cuite. Par ailleurs, toutes les viandes de mammifères sauf les ruminants sont susceptibles d'héberger le parasite (4).

Le nombre de cas de trichinellose reste toutefois faible en France. Cela se justifie principalement par les habitudes alimentaires, la faible prévalence nationale de l'infection chez les animaux (hors Corse et DOM-TOM) ainsi que par l'efficacité et la qualité des contrôles relatifs à l'inspection de la viande (5, 6).

Dans un contexte de surveillance épidémiologique et de veille sanitaire, des millions de porcs domestiques (autres espèces sensibles et/ou non comestibles) sont soumis à un diagnostic obligatoire de la trichinellose après abattage ; en particulier lorsqu'ils sont destinés à la vente. Ce dispositif garant de la biosécurité alimentaire est dicté par le règlement (CE) No 2075/2005 de la Commission du 5 décembre 2005 fixant les règles spécifiques applicables aux contrôles officiels concernant la présence de *Trichinella spp* dans les viandes (7). Le but de ces tests individuels est, en plus de retirer toute viande potentiellement contaminée de la chaîne alimentaire en soumettant tous les animaux sensibles à *Trichinella* à une recherche de parasites, de garder une information (traçabilité) sur tous les porcs envoyés à l'abattoir conformément à l'entrée en vigueur au 1^{er} janvier 2008 du règlement (CE) No 853/2004 du parlement européen et de son conseil du 29 avril 2004 fixant les règles d'hygiène spécifiques à l'alimentation des produits d'origine animales (8). Toutefois, ces mesures, quand bien même efficaces à grande échelle, sont néanmoins sujettes à deux principales problématiques : 1) l'abattage de millions de porcs chaque année implique un coup économique important eu égard à la faible prévalence de la maladie et 2) beaucoup de sangliers sauvages ou d'élevage chassés, sentinelles de la circulation du pathogène dans la

faune sauvage et ne passant pas par un circuit commercial, échappent au contrôle car souvent destinés à la consommation privée (9).

Fort de ce constat relatif à la résurgence de *Trichinella spp* dans les élevages plein air en particulier, des chercheurs en santé publique animale ont proposé la méthode de surveillance basée sur le risque qui serait plus efficiente avec une efficacité égale au système traditionnelle de surveillance guidé par le règlement (CE) N°2075/2005 (10, 11). L'un ou l'autre des systèmes de surveillance permet, en se servant des données collectées dans le temps, de démontrer le statut épidémiologique (indemne ou non) concernant la présence *Trichinella ssp* à l'échelle d' une aire géographique donnée (12, 13).

I. Généralités

1. Agents Pathogènes

1.1. Taxonomie

Conformément à la classification du règne animal, les trichines peuvent être classées de la manière suivante (14) :

Phylum : Nématelminthes

Classe : Nematoda

Sous classe : Asphamidia

Ordre : Enoplida

Super famille : Trichinelloidea

Famille : Trichinellidea,

Genre : *Trichinella*

De nos jours, le genre *Trichinella* comporte 9 espèces et inclut deux groupes : un groupe représenté par les formes encapsulées (uniquement chez les mammifères) constitué de 6 espèces, et 4 génotypes (*Trichinella* T6, *Trichinella* T8, *Trichinella* T9 and *Trichinella* T12) ainsi qu'un groupe représenté par les formes non encapsulées (mammifères, oiseaux, reptiles) constitué de 3 espèces. Ces espèces et génotypes sont numérotés de T1 à T12 (3).

Les espèces encapsulées sont : *T. spiralis* (ou T1 qui est le *genre type*), *T. nativa* ou T2, *T. nelsoni* (ou T7), *T. britovi* (ou T3), *T. murrelli* (ou T5). La plus récente espèce encapsulée *T. patagoniensis* a été mise en évidence en 2012 (15).

Concernant les espèces non-encapsulées, il s'agit de : *T. pseudo-spiralis* (ou T4), *T. papuae* (ou T10) et *T. zimbabwensis* (ou T11).

1.2. Distribution géographique du parasite et réceptivité des hôtes

Les zones de distribution des hôtes de *Trichinella spp* peuvent aider à identifier la pertinence de l'environnement où les différentes espèces peuvent être détectées (16, 17).

Trichinella spiralis (aussi appelée T-1) est distribuée dans les régions tempérées du monde entier et est très infestante pour les porcs domestiques ou sauvages, les souris et les rats, mais elle peut être aussi retrouvée chez d'autres mammifères carnivores. Cette espèce est l'agent principal de la trichinellose humaine (3, 18). *Trichinella nativa* (T-2) infeste principalement des mammifères carnivores des régions arctiques ou subarctiques d'Amérique du Nord, d'Europe et d'Asie. *Trichinella britovi* (T-3) est principalement retrouvée chez les animaux sauvages et occasionnellement chez des porcs ou des chevaux. Elle a une faible capacité de reproduction et de résistance à la congélation et s'avère modérément infestante pour l'homme. *Trichinella pseudospiralis* (T-4) est la seule espèce non-encapsulée capable d'infecter mammifères et oiseaux. *Trichinella murelli* (T-5) est une espèce d'Amérique du Nord trouvée chez des mammifères carnivores (19, 20). Elle a un faible pouvoir infestant pour les porcs domestiques mais représente un risque pour les humains consommant de la viande de gibiers (21). *Trichinella T-6* est étroitement associée à *T. nativa*. Elles sont toutes les deux résistantes à la congélation et n'ont qu'un faible pouvoir infestant pour le porc. *Trichinella nelsoni* (T-7) a une relation particulière avec la faune sauvage qui confine ainsi sa circulation aux régions protégées (22, 23). T-8 et T-9 ont des caractéristiques intermédiaires de *T. britovi* et *T. murelli* respectivement et n'ont jamais été à l'origine de cas trichinellose. *Trichinella zimbabwensis* n'a pas jamais été rapportée chez l'Homme mais démontre expérimentalement un fort pouvoir infestant et pathogène pour une large gamme de mammifères, y compris les porcs et les rats (24, 25).

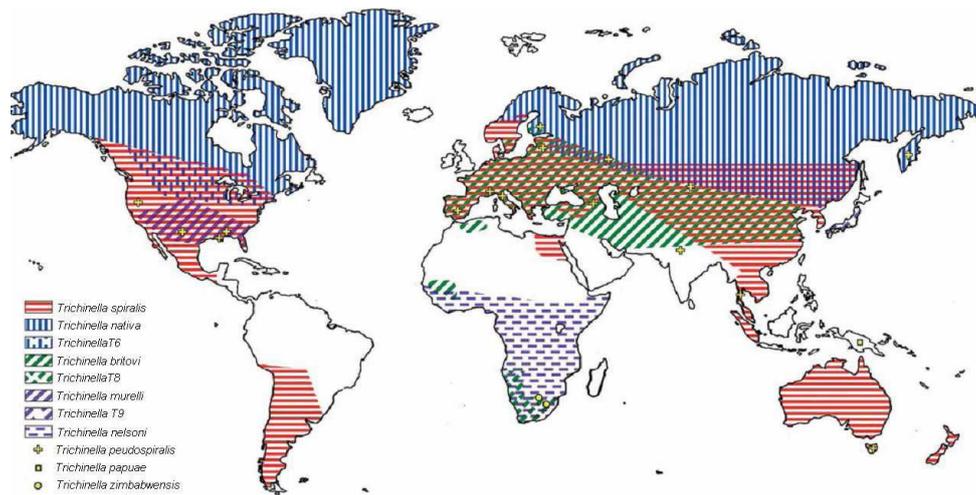


Fig.1 : Répartition géographique des parasites du genre *Trichinella* (4)

L'infectiosité de chaque espèce est donc relative à l'hôte (26). Les carnivores sauvages sont ainsi les mieux adaptés pour les trichines, quelle que soit l'espèce (sauf *T. papuae*). Chez les suidés, les études ont montré que *T. spiralis* était l'espèce ayant l'infectiosité la plus élevée (27). Il existe également une forte infectiosité ainsi qu'une longue persistance de *T. spiralis* chez le rat considéré comme un bon amplificateur et vecteur important.

2. Cycles parasitaires et symptomatologie

Le cycle parasitaire est divisé en deux : un cycle sylvatique et un cycle parasitaire. Ces deux cycles peuvent être indépendants ou interconnectés si les voies de transmission entre hôtes sylvatique et hôtes domestique sont possibles.

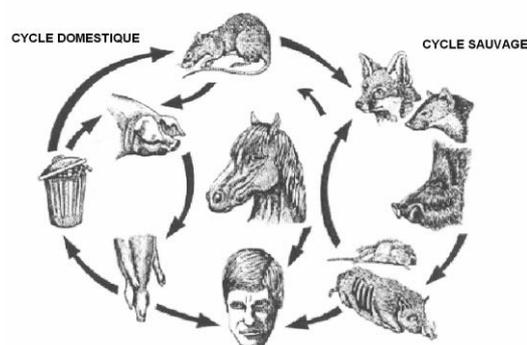


Fig.2: Cycles sauvage et domestique de *Trichinella* spp

L'homme ou l'animal s'infeste en ingérant de la viande contenant des larves enkystées (encapsulées ou non selon l'espèce) virulentes. La coque kystique subit l'action des suc digestifs, ensuite l'épicuticule est altérée par la lyse alcaline et par l'action de la bile, des enzymes digestives et pancréatiques.

Ces larves nommées L1M, subissent 4 mues successives dans le tube digestif durant les trente-six heures qui suivent l'ingestion de la viande pour devenir adulte. Les accouplements dans l'épithélium intestinal se produisent dans les 4 jours suivant l'infestation et les premières larves nouveau-nées (L1NN) sont émises dans les 48h suivant la fécondation et parviennent en quelques heures dans la circulation sanguine d'où elles atteignent les muscles striés.

La phase de dissémination se caractérise par la migration des larves L1NN (voie lymphatique et sanguine) passant par le cœur droit et les poumons. Les larves atteignent les muscles striés (leur lieu de prédilection) et sont à ce niveau aptes à s'enkyster. Il se passe donc environ trois semaines entre l'ingestion de la viande contaminée et l'enkystement des larves dans le muscle strié. L'hôte est à la fois (28):

- Hôte définitif, hébergeant les formes adultes du nématode ou hôte intermédiaire, où évoluent les formes larvaires.
- Vecteur : les tissus parasités d'un individu doivent être ingérés par un deuxième individu pour assurer la transmission du parasite.
- Réservoir : les larves enkystées peuvent vivre des années dans les muscles de leur hôte.

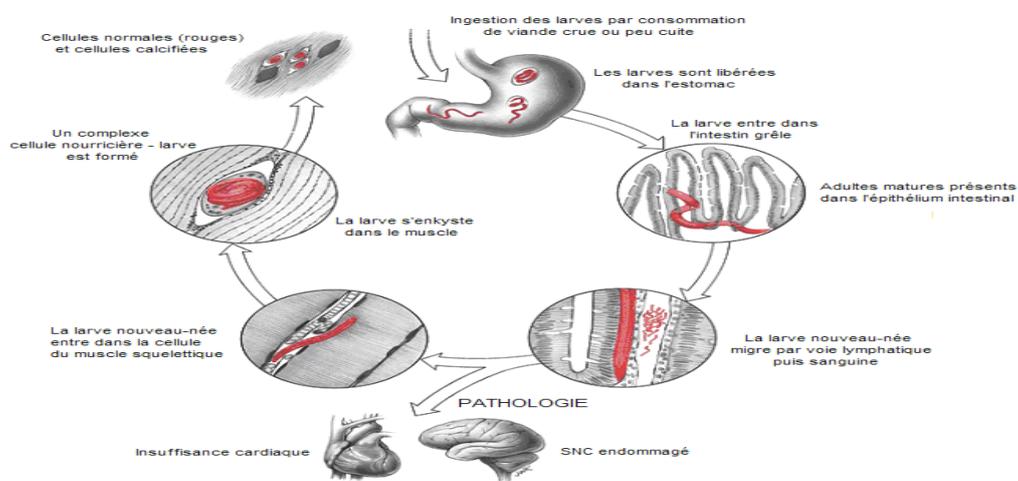


Fig.3 : Cycle biologique de *Trichinella* (D'après Despommier et al, 2005)

Chez l'homme, la phase d'incubation n'excède pas 10 jours et correspond à la transformation des larves ingérées en adultes. Les symptômes classiques lors de la phase de catarrhe intestinal sont : troubles gastro-intestinaux (diarrhée, nausée, vomissements, déshydratation, douleurs abdominales), fièvre. Lors de la phase d'installation des larves dans les muscles, le malade manifeste une très grande fatigue, des courbatures, crampes et des myalgies très douloureuses qui peuvent durer plusieurs mois et un œdème péri-orbital. Les complications pouvant survenir sont : myocardite, encéphalopathie et maladies thromboemboliques (29).

La maladie est beaucoup plus fréquente chez l'animal que chez l'homme. Toutefois dans la majorité des cas, la trichinellose reste absolument latente chez l'animal. En principe, des troubles n'apparaissent qu'après ingestion de plusieurs centaines de larves (27). Quand ils existent, les signes cliniques commencent par une entérite avec diarrhée fébrile et anorexie. Puis vers le 15ème jour apparaissent des myalgies, avec troubles locomoteurs, une difficulté de la mastication et un œdème de la face. L'anorexie et la fièvre sont persistantes.

3. Diagnostic parasitaire

Les principaux procédés diagnostiques reposent sur la recherche des larves dans les tissus musculaires à l'abattoir, sur des carcasses. Pour la recherche parasitaire, la sensibilité des méthodes utilisées pour la détection des larves de *Trichinella* dépend du muscle sélectionné pour l'échantillonnage, sa taille, la méthode spécifique utilisée, ainsi que de l'assurance qualité des mesures mises en place (30, 31, 32). La langue, avec le diaphragme sont les principaux muscle recommandés pour le prélèvement destiné au diagnostic parasitaire (30).

3.1. La méthode de digestion artificielle

Le règlement (CE) No 2075/2005 (7) de la commission européenne exige qu'un minimum de 1 g (porc charcutier) ou 2 g (porc reproducteur) de muscles de diaphragme par animal soit testé lors de l'inspection de la viande en abattoir. Comme la sensibilité de cette méthode dépend de la densité larvaire des échantillons positifs, pour une densité larvaire supérieure ou égale à 3-5 larve par gramme (LPG), une sensibilité de 100% est atteinte ; mais en dessous d'1LPG la sensibilité chute à 40% (33). La méthode de digestion artificielle est une méthode sensible, efficace, fiable et économique; particulièrement dans les pays non endémique. La digestion enzymatique artificielle est une technique utilisant de la pepsine chlorhydrique pour

des examens d'échantillons individuels ou d'échantillons collectifs (1 g à 100 g). De manière synthétique, il s'agit de faire digérer pendant 4 heures à 40-41°C sous agitation puis, après sédimentation, on recherche les larves au microscope au faible grossissement. La description est totalement décrite dans l'annexe I amendement du règlement (CE) No 2075/2005.

3.2. La trichinoscopie et la sérologie.

La trichinoscopie est surtout utilisée dans les régions endémiques où les moyens de mélange des échantillons (digestion) ne sont pas réunis. La trichinoscopie est laborieuse et chronophage pour l'inspection individuelle des carcasses. La sensibilité de cette méthode est inférieure aux méthodes de digestion artificielle (34, 35). Par conséquent la trichinoscopie n'est pas recommandé par l'Organisation mondiale de la santé animale (OIE) ou la Commission Européenne (CE) pour l'analyse en routine des produits d'origine animale destinés à la consommation humaine (36, 37).

Les tests sérologiques permettent la détection des anticorps spécifiques à *Trichinella* et sont généralement réalisés à partir de sérum ou liquides tissulaires recueillis avant ou après abattage. Même si les méthodes sérologiques restent inappropriées concernant l'inspection en routine de viandes, elles gardent néanmoins tout leur intérêt pour la surveillance de l'infection ainsi que les enquêtes épidémiologiques dans les populations animales où le parasite pourrait circuler à bas bruit (faible densité larvaire) (30, 32). La stratégie sérologique actuellement préconisée repose sur l'association d'un test ELISA (enzyme linked immunosorbent assay) pour le dépistage et une Immunoempreinte de confirmation (Western Blot) (38, 39, 40). L'immunofluorescence indirecte (IFI) est une autre méthode sérologique parfois utilisée pour le diagnostic de la maladie chez l'homme.

4. Prophylaxie et traitement

La prophylaxie collective repose sur le contrôle vétérinaire des viandes (sanglier et cheval en particulier) et la surveillance des porcheries industrielles pour vérifier l'absence de contact entre les porcs et des rongeurs de l'environnement. La connaissance des modes de transmission de la trichine aux porcs domestiques permet aux fermiers et aux producteurs de concevoir des systèmes qualité qui empêchent ou réduisent résolument le risque d'exposition (14). Les principaux points clés sont des barrières architecturales et environnementales, une alimentation et un stockage d'alimentation adéquats, le contrôle des rongeurs et une bonne

hygiène agricole. Les fermiers doivent s'assurer de ne pas laisser dans la faune sauvage des carcasses de porcs domestiques pour éviter une transmission de *Trichinella* chez les animaux sauvages. Inversement, ils doivent s'assurer de l'absence de carcasses d'animaux sauvages dans les endroits où pourraient circuler les porcs domestiques. La trichinellose humaine peut être contrôlée dans une certaine mesure avec une attention rigoureuse : la cuisson de toute viande utilisée dans l'alimentation des porcs ou d'animaux sauvages est indispensable.

A ce jour, la trichinellose est une maladie incurable. Toutefois lorsque la vie du patient est menacée par une écrasante infection, une cure intensive ainsi que tout traitement d'accompagnement disponible est obligatoire (stéroïdes, traitements pour la toxémie et autres désordres circulatoire et cardiaque etc). Des benzimidazoles (mébendazole à 200mg/jour durant 5 jours ou albendazole à 400 mg/jour pendant 3 jours) sont ainsi indispensables chez l'adulte (excepté la femme enceinte). Le prednisolone de 40 à 60 mg/jour soulage la fièvre et les effets inflammatoires dus aux dommages cellulaires résultant de la pénétration des larves dans les tissus.

II. Epidémiologie

1. Réservoirs

La trichinellose peut être considérée comme une maladie ayant un cycle « sauvage », dans lequel l'infestation se perpétue dans la faune sauvage, et un cycle « domestique ». En conséquence, des transmissions croisées d'un cycle à l'autre peuvent se produire.

1.1. Réservoir sauvage

Le sanglier est l'animal sauvage qui est le plus souvent cité dans les cas de trichinellose humaine. Son infestation se fait par prédation d'autres mammifères ou par la consommation de leurs cadavres (renards, rats). Deux enquêtes de l'office national de la chasse (ONCFS) en 2003-2004 et 2009-2010 ont été faites sur des prélèvements de sangliers abattus lors de la saison de chasse. Sur 1 684 prélèvements analysés par sérologie, 50 prélèvements étaient positifs pour l'enquête de 2003-2004 alors qu'aucun cas positif n'a été trouvé sur 3330 échantillons analysés lors de l'enquête de 2009-2010 (41). Les prévalences varient de 0% à 20% selon les départements.

La population de sangliers contaminée n'est pas négligeable et doit être prise en considération par des mesures préventives de consommation.

Par ailleurs, le rat est un animal sauvage qui joue un rôle important dans la transmission de *Trichinella spp* aux animaux domestiques car il est responsable de la jonction entre cycle sauvage et cycle domestique.

1.2. Réservoir Domestique

Les espèces incriminées sont en particulier le porc ainsi que le cheval. Les rats morts et susceptibles d'être trichinés constituent une source d'infestation lorsqu'ils sont ingérés par les porcs. L'entretien de l'infestation est ensuite beaucoup plus facile car elle perdure par utilisation de déchets d'abattoirs de porcs. Le porc présente une tolérance exceptionnelle à l'infestation : une dose considérée comme mortelle chez l'homme de plus de 100 larves musculaires par gramme de muscle, n'altère pas l'état général de l'animal et les parasites adultes persistent dans le tube digestif pendant plus de trois semaines suggérant une vie en quasi-symbiose de *Trichinella* chez le porc. Le cheval se contamine en absorbant des trichines

adultes présentes sur des aliments souillés (déjection de rongeurs parasités) ou par absorption de larves enkystées dans la musculature de rongeurs tombés dans un silo à grains broyés par un moulin à céréales.

2. Mode de transmission

La consommation d'un tissu parasité contenant des kystes infestants est le mode de transmission le plus classique. Dans le milieu naturel, les animaux s'infestent, soit à partir d'une proie vivante, soit à partir d'un cadavre. Chez les animaux domestiques comme le porc, la contamination est due soit à la consommation d'un rongeur infesté, soit à un régime composé d'abats crus. La principale voie de transmission est donc le carnivorisme. On distingue par ailleurs le mode de transmission fécale et la caudophagie ou otophagie. En effet chez les animaux réceptifs, la transmission peut être facilitée par des mœurs coprophages. Dans les élevages de porcs, lorsque les animaux sont regroupés, on assiste à un mordillage réciproque de la queue ou de l'oreille. Ces parties riches en fibres musculaires, peuvent contenir des kystes infestants et par conséquent représentent un mode de transmission original de cette helminthiase.

3. Répartition géographique des cas de trichinellose humaine et animale

Trichinella spp est un parasite qui a une distribution mondiale avec pour conséquence une (ré)émergence zoonotique dans certaines contrées de la planète. De 1986 à 2009 l'Organisation mondiale de la santé (OMS) a répertorié des cas cliniquement confirmés de trichinellose humaine dans un pays du continent africain, 5 pays de la région des Amériques, 4 pays de l'Asie et la majorité dans 29 pays européens (1, 9, 3, 42). Par ailleurs, des infestations humaines sont également apparues dans certains pays d'Europe suite à la consommation de viande de cheval crue. Beaucoup d'entre-elles sont imputables au défaut de contrôle de la viande de cheval (6, 3, 43). Le règlement (CE) 2075/2005 tire d'ailleurs ses origines des poussées épidémiques survenues entre 1975 et 2004 relatives à la consommation de viande de cheval infesté par *Trichinella* avec un nombre élevé de cas humains dans certains pays de l'Union Européenne (UE) (43). Au sein de l'UE, 130 à 457 cas annuels ont été rapportés entre 2003 et 2008 excepté la Roumanie où la prévalence est remarquablement plus élevée (503 cas en 2008) (44).

En France, la trichinellose a été une parasitose exceptionnelle jusqu'en 1975. Dès lors, trente épidémies autochtones ont été recensées et totalisent en tout 2 474 cas. Environ 95 % ont été provoquées par de la viande de cheval importée, 4 % par de la viande de sanglier et moins de 1 % par du porc ou de la viande d'ours. Cinq décès ont été rapportés au cours de deux épidémies observées en 1985 et ayant totalisé 1 073 cas (centre national de référence trichine).

Des cas importés sont régulièrement signalés: consommation de viande de porc ou sanglier dans les pays de l'est de l'ancienne Yougoslavie, en Asie (Laos, Thaïlande) et en Afrique (Cameroun, Algérie, Sénégal, etc.), consommation de viande d'ours en Amérique du Nord ou au Groënland.

4. Surveillance épidémiologique

4.1. Réglementation en vigueur

La Directive 77/96/CEE du 21 Décembre 1976, impose la recherche de trichine pour les viandes porcines importées de pays tiers. Selon ce texte, le contrôle doit être effectué dans un abattoir agréé ou dans le pays membre important la viande si le contrôle n'a pas été effectué préalablement à l'importation. En 1984, la Directive 84/319/CEE, décrivant les méthodes autorisées pour le diagnostic avec les sites électifs pour le prélèvement des échantillons à analyser (diaphragme, langue, masséters ou muscles abdominaux), introduit 3 nouvelles méthodes de détection groupées sous le terme générique de « méthodes par digestion » dont celle par agitation magnétique (VI) est la seule retenue en France.

La nouvelle réglementation européenne de 2005 (CE N° 2075/2005) introduit la notion de test systématique pour les espèces cibles et l'arrêt du contrôle pour les systèmes d'élevages indemnes de *Trichinella*. Cette réglementation propose des échantillonnages différents en fonction des espèces animales contrôlées et de leur statut pour l'espèce porcine. Elle limite les techniques de diagnostic à la méthode de digestion artificielle par traitement chlorhydropepsique de fragments de viande et n'autorise plus la trichinoscopie. D'après le règlement CE N° 2075/2005, les porcs reproducteurs doivent être systématiquement contrôlés ainsi que tous les porcs plein air ou les élevages ne répondant pas à la définition d'élevage à risque négligeable. L'agrément des élevages indemnes de *Trichinella* est délivré par les

services vétérinaires sur la base d'une visite d'élevage régulière. En résumé, tout contact avec la faune sauvage doit être proscrit. Les sources alimentaires doivent être contrôlées et maîtrisées, l'élevage doit être clos et les bâtiments étanches aux animaux sauvages.

Concernant la faune sauvage, le même règlement impose l'analyse de toutes les carcasses sensibles à *Trichinella spp* passant en atelier de traitement de gibier. En France, depuis 2008, une nouvelle réglementation nationale s'est ajoutée exigeant l'analyse de la viande de sanglier dans le cadre de repas de chasse, repas associatif ou commercialisation en circuit court (Note de service Direction Général de l'Alimentation/SDSSA/N2008-8139).

4.2. Systèmes de surveillance

La trichinellose humaine en tant que Toxi-Infection Alimentaire Collective (TIAC) est une maladie à déclaration obligatoire. Le renforcement des mesures en faveur de la santé publique a favorisé la mise en place d'un réseau de surveillance des cas de trichinellose humaine et animale. Le laboratoire de Parasitologie de l'hôpital Cochin à Paris est chargé par l'Institut de Veille Sanitaire (InVS) de la surveillance des cas humains et est Centre National de Référence depuis 2002. Le laboratoire de Parasitologie de l'agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, l'environnement et du travail (UMR BIPAR, Anses, Maisons-Alfort) supervise la surveillance au niveau animal effectuée par les laboratoires vétérinaires départementaux ainsi que la formation du personnel pour le diagnostic parasitaire. Il est laboratoire national de référence pour la trichinellose animale (LNR-Trichine).

Au niveau européen le Federal Institute for Risk Assessment à Berlin centralise dans un rapport annuel toutes les données fournies par les différents pays de l'UE. Enfin, un système de surveillance mondial a aussi été mis en place : la Commission Internationale sur les trichinelloses (CIT) répertorie chacune des grandes épidémies survenant à l'échelon mondial et l'Office International des Epizooties (OIE) édite un rapport annuel permettant d'estimer pays par pays l'incidence de la maladie chez l'animal.

4.3. Surveillance basée sur le risque

C'est un concept relativement récent dans le domaine de la santé publique vétérinaire. En 2006, la surveillance basée sur le risque a été défini par Stärk et collaborateurs comme « un programme de surveillance pour lequel les méthodes d'estimation du risque sont utilisées en combinaison avec des méthodes classiques afin d'assurer une collecte de données appropriée

et rentable » (45). Ce type de surveillance se base sur la recherche du danger où la probabilité de le rencontrer est plus élevée, en testant de préférence des sous-populations qui ont un risque élevé d'être infectées (46). Son cadre d'utilisation s'applique principalement à la détection précoce des maladies émergentes (ou d'une condition rare dans la population), ou à la démonstration du statut indemne d'une entité/zone géographique (élevage, région, pays) vis-à-vis d'une maladie (10, 11).

L'UE aspire à la standardisation de la surveillance de la trichinellose. Ainsi, un pays membre avec des analyses trichine positives (ou sans données de surveillance) sera initialement réparti en « classe endémique » où tous les porcs abattus destinés à la consommation doivent être testés. Lorsque ce pays est par la suite capable de démontrer à un degré de confiance de 95% ou 99% que *Trichinella ssp* est absent de son territoire, il sera réparti en « classe risque faible » ou « risque négligeable » (47).

A ce jour, le dépistage individuel des carcasses à l'abattage est la méthode de référence pour assurer la sécurité alimentaire vis-à-vis du risque de la trichinellose. C'est le cas en France comme dans beaucoup d'autres pays de l'UE conformément aux recommandations de la commission européenne (CE No 2075/2005). Cependant, l'industrialisation de la production porcine dans les pays développés a fait chuter la prévalence de la trichinellose au sein de cette filière. La nécessité de continuer les contrôles individuels sur les porcs en abattoirs dans les zones où les résultats sont négatifs depuis plusieurs années et dans lesquelles il n'y a pas eu des cas humains liés à la consommation de viande de porc, est remise en question. En effet cela signifie que la probabilité que la maladie soit présente dans la filière porcine est très faible et que les coûts liés à l'examen de toutes les carcasses ne se justifient plus. Le coût d'un test est estimé au moins à 50 euros pour une analyse regroupant 100 porcs (échantillon d'1 g par porc), soit environ 17 millions d'euros pour les 34 millions de porcs à tester annuellement (I. Vallée, communication personnelle).

Par ailleurs, dans le cadre des accords commerciaux pour lesquels une analyse de risque est souvent nécessaire, il est aussi important pour une exploitation ou territoire (zone, région ou pays) de prouver qu'il est indemne (à risque négligeable) de la maladie redoutée (7, (48). Notamment pour des raisons épidémiologiques et économiques déjà évoquées, la surveillance basée sur le risque s'avèrerait être une méthode de surveillance avantageuse si elle confère un même degré de confiance que celui induit par la surveillance traditionnelle (CE 2075/2005). La surveillance basée sur le risque de la trichinellose cible les sous-populations ayant un

risque élevé (porcs plein-air et porcs reproducteurs) d'héberger ou entretenir le parasite dès lors que l'objectif est de maintenir l'habilité du système à détecter sa présence. En effet les porcs qualifiés à haut risque d'infection, à cause de l'éventuel contact avec la faune sauvage ou une durée de vie plus prolongée, peuvent être considérés comme des sentinelles pour l'introduction de la trichinellose dans la population nationale de porcs. Par contre les porcs hors-sol charcutiers sont visiblement moins à risque de s'infester grâce aux barrières de biosécurité empêchant tout contact avec les rats, principaux vecteurs de *Trichinella ssp* chez cette catégorie de porcs domestiques (12). De ce fait, dans le scénario de la surveillance basée sur le risque, une proportion de surveillance faible de cette dernière catégorie (hors-sol charcutiers) qui se distingue par son habitat ou type d'exploitation (sécurisé) et son âge (plus jeune) pourrait ainsi être appliquée en routine (47).

II. Contexte de l'étude et objectif

Des pays membres de l'union européenne, à l'instar du Danemark et de la Belgique plus récemment, ont pu démontrer, par comparaison de différents schémas de surveillance (scénario dans lequel tous les animaux abattus sont testés d'après la réglementation européenne versus une surveillance basée sur le risque où les proportions de surveillance diffèrent selon les catégories d'animaux), qu'ils étaient à risque négligeable de *Trichinella spp* (12, 49). A ce jour, ces deux pays ont officiellement obtenu la reconnaissance par la commission européenne de leur statut indemne de *Trichinella spp* en dessous d'un seuil de prévalence spécifiée de 1 pour 1 million correspondant au risque acceptable (48). Ils ont ainsi prouvé que les résultats obtenus avec la méthode de la surveillance basée sur le risque n'étaient pas pires que ceux rapportés par le système de surveillance traditionnel d'après la directive CE No 2075/2005. La surveillance basée sur le risque a pour effet immédiat l'optimisation du ratio coût-bénéfice du système de surveillance.

Cette étude vise ainsi à évaluer quantitativement le système de surveillance de la trichinellose en abattoir en France. Il s'agit ici de représenter les composantes de ce système de surveillance et de le qualifier avant de devoir démontrer par scénarios simulés, le statut (situation épidémiologique) auquel le territoire français serait éventuellement rattaché. En effet, la France n'applique pas à la lettre les exigences énoncées par le règlement (CE) No 2075/2005 (7). Bien que tous les porcs plein-air et tous les porcs reproducteurs soient systématiquement testés sur 2 g de muscle, il n'y aurait qu'environ 1 sur 1000 porcs charcutiers élevés en exploitation hors-sol qui seraient testés (1 g de muscle). Dans cette dernière catégorie, il y a en outre les porcs destinés à l'exportation vers la Russie et testés sur 0,25 g de muscle depuis 2006. Au vue de cette proportion de surveillance (0,001) fixée dans la catégorie de porcs la moins à risque (porcs charcutiers hors-sol), il nous paraît clair que la France applique dans une certaine mesure une méthode de surveillance basée sur le risque.

Nous nous sommes fixé pour objectif d'estimer la probabilité d'être indemne de *Trichinella spp* dans la population de porcs domestiques en France (France continentale + Corse), compte tenu de la prévalence spécifiée par le règlement (CE) No 2075/2005 de la Commission Européenne (1 pour 1 million).

Pour ce faire, il a été nécessaire d'estimer la sensibilité du système de surveillance de la trichinellose porcine en France.

Nous avons ainsi comparé, par simulation stochastique deux scénarios de surveillance :

- Le scénario découlant du règlement (CE) 2075/2005 selon lequel tous les porcs domestiques abattus doivent être systématiquement testés.
- Un scénario de la surveillance basée sur le risque dans lequel des proportions de surveillance sont appliquée aux différentes catégories de la population de référence (porcs domestiques à l'abattoir) en fonction du risque.

B. Matériels et méthodes

I. Population de référence

1. Description

Le système de surveillance décrit dans l'étude prend en compte les porcs domestiques élevés en France métropolitaine. Cette assertion est sous réserve que la Corse, comparativement à la France continentale, dispose de pratiques d'élevage différentes. En effet, en plus des porcs élevés en plein-air (enclos) que l'on retrouve classiquement en France continentale, il existe en Corse des porcs en toute liberté.

S'agissant des autres espèces animales sensibles à *Trichinella ssp* devant être inspectées au laboratoire comme le stipule le règlement (CE) N° 2075/2005, elles n'ont pas été prises en compte dans cette évaluation du système de surveillance de la trichinellose. On sait d'une part que la plupart des chevaux abattus en France sont importés ; d'autre part *Trichinella ssp* circule bien dans la faune sauvage (41). Par ailleurs, en France, la viande de sanglier destinée au circuit de consommation directe (chasseur et sa famille) n'est pas systématiquement contrôlée. Seule la viande de sanglier entrant dans le cadre de repas de chasse, repas associatif ou commercialisation en circuit court (atelier de traitement) doit être obligatoirement testée (Note de service Direction Générale de l'Alimentation/SDSSA/N2008-8139).

La population de porcs domestiques en France continentale est principalement constituée de porcs hors-sol et plein-air. Ces catégories se distinguent principalement par le type d'habitat : les porcs hors-sol sont élevés dans des exploitations closes bénéficiant de mesures de biosécurité et empêchant tout animal sauvage (rat, rats laveurs) d'y pénétrer. Tandis que les porcs plein-air sont susceptibles d'être en contact avec la faune sauvage et donc plus à risque de contracter l'infection. Quel que soit le type d'habitat, les porcs hors-sol et plein-air sont élevés pour être reproducteurs ou charcutiers. Les porcs charcutiers ne vivent en moyenne que 6 mois car destinés à la consommation. Les reproducteurs, quant à eux, ont une espérance de vie plus longue car destinés à la reproduction. Ils sont donc naturellement plus exposés au risque d'infection durant leur vie que les porcs charcutiers.

Par ailleurs depuis 2006, il existe parmi les porcs charcutiers élevés en exploitation hors-sol, des porcs testés en « autocontrôle » sur 0,25 g de muscle par les industriels dans le cadre des exportations de viande de porcs vers la Russie.

2. Base de données

Ce projet d'étude s'appuie sur les données d'abattage et de contrôle en laboratoire des porcs domestiques en France continentale et Corse. Ces données sont produites par les laboratoires vétérinaires départementaux (LVD) et centralisées au laboratoire national de référence (LNR-Trichine), Anses, Maisons-Alfort. Cette base de données comptabilise le nombre de porcs abattus en France de 1997 à 2012 selon les différentes catégories déjà évoquées plus haut. Le constat immédiat fait de ces données est que le nombre de porcs abattus, pour quelque raison que ce soit, évolue avec le temps passant par exemple de 5 millions en 1997 à 34 millions en 2012. Le nombre de porcs abattus et testés par année et par catégorie est résumé dans le tableau 1.

Nous avons considéré que les effectifs et le soin de catégorisation établis pour l'année 2012 étaient très proches de la réalité. En outre, le nombre de porcs testés en autocontrôle depuis 2006 s'agissant des exportations vers la Russie n'est fourni que pour l'année 2012. Sur la base de l'année 2012, les proportions initiales de la population nationale de porcs se présentent ainsi comme suit : 99% de porcs hors-sol (autocontrôle y compris) et 1% de porcs plein-air. Au sein des porcs hors-sol, les charcutiers représentent 99% de cette catégorie de la population (soit 34 171 852 charcutiers dont 11 820 287 testés en autocontrôle, et 328 305 reproducteurs. Chez les porcs plein-air, les charcutiers ont une proportion de 93% (soit 300 529 charcutiers et 22 007 reproducteurs). Parmi les 665 897 porcs testés en 2012 (autocontrôle non inclus), 322 536 étaient des porcs plein-air (reproducteurs et charcutiers), 328 305 étaient des porcs hors-sol reproducteurs et 15 056 des porcs charcutiers.

Compte tenu du caractère non exhaustif des données de surveillance antérieures à 2012 (catégories non précisées et effectifs potentiellement biaisés), et en posant l'hypothèse que la production porcine en France continentale et en Corse est restée à peu près constante au fil du temps, nous avons généralisé, dans le cadre de cette étude de simulation, les effectifs totaux de 2012 à la période de 2006 (date de début des autocontrôles) à 2011. Avant 2006, le nombre total de porcs abattus et testés par catégorie (type d'exploitation et âge) considéré correspond

à celui de 2012 auquel nous avons soustrait les autocontrôles. D'où un total de 23 millions porcs abattus entre 1997 et 2005. A noter que le nombre de porcs testés en autocontrôle avant 2012 ne figure pas dans la base de données disponible.

Tableau 1: Effectifs de la base de données de porcs domestiques abattus et testés entre 1997 et 2012 en France continentale

Année	No. hors-sol	No. plein-air	Catégorie ND	Total abattus	Total Testés	Cas positifs
1997				5 048 402	21 467	0
1998				18 300 884	66 875	0
1999				24 856 764	98 114	0
2000				17 536 166	65 746	0
2001				23 621 819	149 329	0
2002				16 177 096	234 060	0
2003				23 493 653	227 139	0
2004				23 566 486	268 516	0
2005	16 372 993	145 553	6 215 442	16 525 203	241 621	0
2006	17 536 703	136 394	7 318 973	24 992 070	241 403	0
2007	17 935 190	267 648	278 474	18 481 312	523 497	1
2008	15 912 977	320 977	285 667	16 519 621	637 393	0
2009	15 713 272	298 306	267 331	16 278 909	592 058	0
2010	16 244 192	278 708	266 546	16 789 446	591 772	0
2011	16 459 222	343 398	267 056	17 069 676	631 478	0
2012	34 500 159*	322 536		34 822 695*	12 486 184*	0

* Sont inclus les 11 820 287 porcs (hors-sol charcutiers) testés en autocontrôle

Tableau 2: Effectifs de la base de données de porcs domestiques abattus et testés entre 1997 et 2012 en Corse

Année	Abattus	Testés	Cas positifs
1997	2000	2000	0
1998	2000	2000	0
1999	987	987	0
2000	2000	2000	0
2001	2000	2000	0
2002	2084	2084	0
2003	2263	2263	0
2004	2584	2584	10
2005	2906	2906	0
2006	2662	2662	0
2007	2865	2865	0
2008	2764	2764	0
2009	6294	6294	0
2010	6257	6257	1
2011	3891	3891	4
2012	8003	8003	5

II. Description du modèle

Nous avons développé un arbre de scénario (figure 4) représentant le système de surveillance de la trichinellose animale dans les abattoirs de France continentale. Cet arbre de scénario met en exergue tous les facteurs qui influencent la probabilité qu'une exploitation ou animal pris au hasard soit infecté et détecté en conséquence. Les compartiments du schéma (système) sont dictés par des nœuds et des branches. On distingue principalement trois nœuds : la catégorie (selon l'habitat et l'âge), l'infection (statut de l'animal) et la détection (méthode de détection utilisée). Les branches impliquent des dénominations (groupes) et probabilités.

Conformément aux considérations à prendre en compte pour déclarer une exploitation ou zone géographique indemne (à risque négligeable) d'une maladie, il est plus convainquant lorsque la maladie n'a pas été détectée par le système de surveillance courant depuis plusieurs années, sachant que le dispositif de surveillance est optimal. Il s'agit là de la base du modèle (méthode et formule de calcul) développé par Martin et Cameron (10, 11) qui décrit comment combiner les données historiques de surveillance pour calculer une probabilité d'être indemne

d'une maladie. Nous avons utilisé ce modèle dans le cadre de la trichinellose. Il dépend de plusieurs paramètres d'entrée dont l'estimation de la valeur peut être soumise à de la variabilité et de l'incertitude. Pour prendre en compte l'incertitude et variabilité dans l'estimation des paramètres d'entrée du modèle, des distributions de probabilité ont été utilisées et un processus stochastique (aléatoire) a été généré via le logiciel PopTools[®] implémenté dans Microsoft[®] Excel 2010. Nous avons utilisé une distribution Beta pour modéliser les proportions de sous-population (catégories) dans la population nationale et la sensibilité de détection du laboratoire, et une distribution Pert pour la sensibilité de test. Des simulations de Monte Carlo (échantillonnages multiples) ont été effectuées avec 10 000 itérations. Un récapitulatif de tous les paramètres impliqués dans le modèle et des sources de données relatives aux distributions de probabilité est présenté au tableau 4.

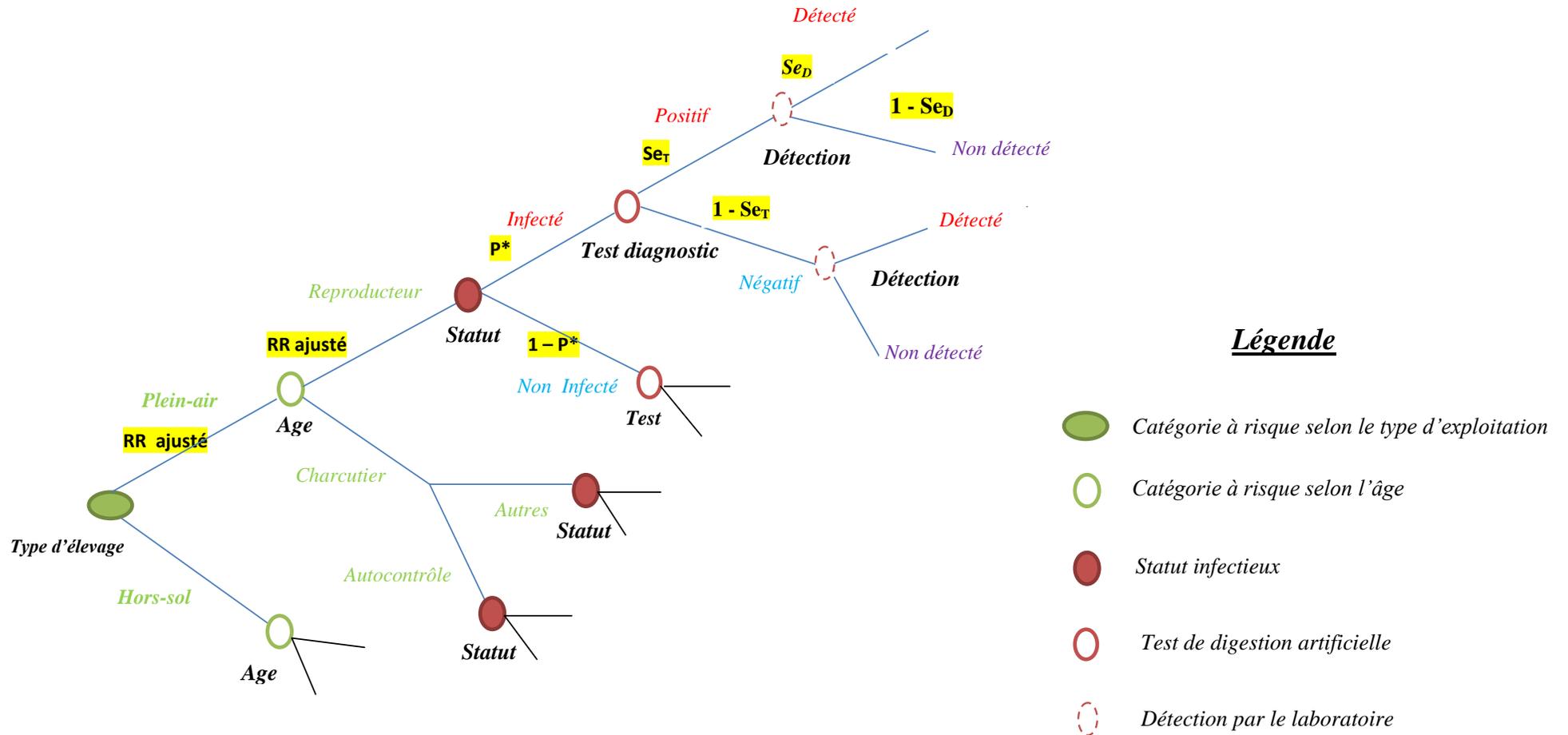


Fig 1 : Arbre de scénarios pour l'estimation de la sensibilité du système de surveillance de la trichinellose porcine en France continentale. RR est le risque relatif de la catégorie, P* la prévalence spécifiée, Se_T la sensibilité du test diagnostique et Se_D la sensibilité de détection par le laboratoire

1. Prévalence spécifiée ou risque acceptable

Dans l'optique d'être un territoire indemne de trichinellose, la prévalence réelle vis-à-vis de la maladie devrait être de zéro (46). Or l'on sait qu'en France *Trichinella spp* est particulièrement présent dans la faune sauvage (réservoir naturel). C'est l'une des raisons pour laquelle il est préférable de parler de zone à risque négligeable que de territoire indemne. La prévalence spécifiée est donc une prévalence hypothétique qui est utilisée pour établir ou poser les bases (normes) de la surveillance (46). En équation, la vraie prévalence est habituellement indiquée par (P), mais la prévalence spécifiée est représentée par le symbole (P*). En effet le système de surveillance n'est capable de détecter la maladie que si elle est présente à partir d'un seuil spécifié. Le règlement de la commission européenne (CE) No 2075/2005 fixant les règles spécifiques applicables aux contrôles officiels concernant la présence de *Trichine* dans les viandes stipule, entre autres, que l'autorité compétente peut décider de reconnaître une catégorie d'exploitations comme indemne de *Trichinella* si aucune infestation autochtone n'a été détectée dans le pays chez les porcs domestiques au cours des dix dernières années, durant lesquelles la population porcine abattue a été constamment soumise à des tests assurant une détection de toute infestation avec une confiance d'au moins 95% dès lors que la prévalence de *Trichinella* dépasse 0,0001% (7). L'analyse de risque de la commission européenne situe ainsi donc cette prévalence spécifiée de l'ordre d'un cas pour un million de porcs testés. C'est la valeur prise en compte dans le cadre de cette étude.

2. Détection de *Trichinella spp* par digestion artificielle

2.1. Sensibilité diagnostique du test

La méthode standard de détection de *Trichinella ssp* en vigueur au sein de l'union européenne demeure la méthode de digestion artificielle (CE N° 2075/2005). L'intérêt des autres méthodes, la sérologie en l'occurrence, reste encore débattue (50).

La sensibilité diagnostique du test de digestion artificielle (Se_T) dépend d'une part de la densité larvaire des échantillons positifs et d'autre part de la quantité de viande prélevée (44, 45). Elle correspond à la probabilité que le test de digestion artificielle pourra détecter un échantillon infesté, avec au moins une larve par g de tissu (47). En accord avec les recommandations du règlement (CE) N° 2075/2005 de la commission européenne : les

quantités prélevées sont de l'ordre de 1g pour les porcs élevés en exploitation hors-sol et 2g pour les porcs plein-air et reproducteurs. En France, dans le cadre des exportations de viande de porcs vers la Russie, les échantillons de viande de porcs sont testés au moyen de la méthode de digestion artificielle mais uniquement sur une quantité de 0,25g (I. Vallée, communication personnelle). Les valeurs de Se_T prises en compte dans le modèle en fonction de la quantité de muscle prélevé sont détaillées dans le tableau 4.

2.2. Sensibilité de détection du parasite par les laboratoires

Dans cette étude, nous avons également tenu compte de la sensibilité de détection (Se_D) du laboratoire. Cette sensibilité est utilisée pour évaluer la qualité de la performance des laboratoires dans des essais interlaboratoires (EILA). En effet depuis 2003, le LNR-Trichine organise chaque année des EILA pour délivrer aux LVD une accréditation (ou son retrait) pour la conduite des analyses trichine (51).

3. Sensibilité du système de surveillance

La sensibilité du système de surveillance (Se_{SS}) est une estimation de la probabilité que le système de surveillance détecte l'infection dans la population de référence si la prévalence dépasse la prévalence spécifiée (P^*). Elle dépend de la sensibilité diagnostique du test ainsi que du nombre d'animaux (porcs) dans le système de surveillance (ou de carcasses infectées parmi les carcasses testées sous la prévalence spécifiée).

Le calcul de la Se_{SS} est différente selon le scénario de surveillance envisagé : 1) le scénario où tous les animaux abattus sont systématiquement testés conformément au règlement de la commission européenne (CE) N° 2075/2005 et 2) le scénario de la surveillance basée sur le risque. La formule de la Se_{SS} découle des travaux méthodologiques de Martin et coll. (10).

3.1. Sensibilité du système selon le scénario de la commission européenne (CE No 2075/2005)

Dans ce scénario, la SeSS est calculée comme suit :

$$\begin{aligned} \text{SeSS}_1 &= \text{Probabilité (détection de l'infection)} \\ &= 1 - \text{probabilité (non détection de l'infection)} \\ \text{SeSS}_1 &= 1 - (1 - (P^* * \text{Se}_T * \text{Se}_D))^N \end{aligned}$$

Où Se_T et Se_D sont respectivement la sensibilité du test de digestion artificielle et la sensibilité de détection du laboratoire; P^* est la prévalence spécifiée et N est le nombre total de porcs testés. L'équation du calcul de la sensibilité du système de surveillance suppose que les animaux sont individuellement indépendants au regard de la probabilité d'être infecté et détecté.

Ce scénario 1 est le seul envisageable pour la Corse car tous les porcs s'y trouvant sont élevés en plein-air. Il y'a donc pas de comparabilité en termes de catégorie à risque.

3.2. Sensibilité du système de surveillance selon la surveillance basée sur le risque.

3.2.1. *Catégories à risque et risque relatif*

Il est désormais bien reconnu que les porcs élevés en exploitation plein-air ont un risque plus élevé d'entretenir les larves de *Trichinella spp* que les porcs hors-sol. Il en est de même pour les porcs reproducteurs par rapport aux porcs charcutiers (48).

Pour le même facteur de risque (type d'exploitation ou âge), le risque d'infection dans la catégorie à risque élevé par rapport au risque d'infection dans la catégorie à risque faible est appelé risque relatif (RR). La valeur de ces RR n'a jamais été établie de manière formelle.

Dans cette étude, en l'absence de données de référence concernant les RR évoqués, plusieurs scénarios de RR ont été considérés. Le RR des porcs reproducteurs en comparaison aux porcs charcutiers dépend de l'espérance de vie de ceux-ci. En effet les porcs reproducteurs vivent en moyenne 7 fois plus longtemps que les porcs charcutiers (13). En écartant l'hypothèse forte

d'une croissance linéaire de la probabilité d'infection durant la vie du porc, nous avons utilisé deux valeurs de RR pour cette catégorie à risque selon l'âge :

$$RR_{\text{reproducteur}} = 2,5 \text{ et } RR_{\text{reproducteur}} = 5$$

Concernant le RR des porcs plein-air par rapport aux porcs hors-sol, les mêmes niveaux de risque relatif: $RR_{\text{plein-air}} = 2,5$ et $RR_{\text{plein-air}} = 5$ ont été considérés. Le risque pour cette catégorie (type d'exploitation) est fonction des mesures de biosécurité différentes vis-à-vis du potentiel contact avec la faune sauvage.

En combinant ces deux facteurs de risque (âge et type d'exploitation) au sein d'une matrice, nous avons développé au total quatre scénarios correspondant chacun à une combinaison de RR égale à 2,5 ou 5 entre catégorie de porc à risque (plein-air et reproducteur).

3.2.2. Proportion de surveillance et proportion de population selon la catégorie

Dans la surveillance basée sur le risque, tous les porcs abattus ne sont pas systématiquement testés. Seules les catégories les plus à risque le sont (porcs reproducteurs et porcs plein-air). La proportion de population (PrP) à tester dans les autres catégories les moins à risque (porcs hors-sol charcutiers) a été déterminée à partir d'une proportion de surveillance (PrS) fixée à 0,001 (1 porc hors-sol testé sur 1000 abattus). Dans ce cas, d'après la loi de probabilité, la PrS chez les porcs plein-air est le complémentaire à 1 de la PrS chez les porcs hors-sol : soit 0,999. La même proportion a été retenue pour la catégorie âge ; c'est-à-dire que pratiquement tous les reproducteurs sont testés.

Au final dans la surveillance basée sur le risque, une population de référence de 356 714 porcs (autocontrôle inclus) est testée dont 34 500 hors-sol et 322 213 plein-air (Tableau 3).

Tableau 3 : Nombre de porcs testés en France continentale en 2012 sous le scénario simulé de la surveillance basée sur le risque

Catégories	Effectifs
Porcs hors-sol	
Reproducteurs	34 466
Charcutiers	35
Total	34 500
Porcs Plein-air	
Reproducteurs	321 891
Charcutiers	322
Total	322 213
Total abattus	356 714

3.2.3. *Risque ajusté et probabilité effective d'infection*

Les risques relatifs (RR) des différentes catégories estimés ci-dessus doivent normalement être ajustés aux proportions de populations (PrP) auxquelles elles correspondent (effectif de la population dans la catégorie en fonction de la proportion de surveillance) afin d'obtenir des risques ajustés (RA) tel que pour le type d'exploitation (10):

$$RA_{PA} = RR_{PA} \times RA_{HS}$$

$$RA_{HS} = 1 / (RR_{PA} \times PrP_{PA} + RR_{HS} \times PrP_{HS})$$

Où RA_{PA} est le risque ajusté dans la catégorie à risque plein-air et RA_{HS} est le risque ajusté dans la catégorie à risque hors-sol. PrP est la proportion de population selon la catégorie considérée (porcs hors-sol ou plein-air).

La même méthode de calcul a été appliquée aux catégories de porcs selon âge (reproducteurs et charcutiers).

La probabilité effective d'infection (PEI) (10) pour un porc est ainsi dérivée du RR associé avec les niveaux applicables à chaque catégorie spécifiée (type d'exploitation ou âge). La PEI est le résultat de la multiplication des RA par la prévalence spécifiée (P^*):

$$PEI_{ij} = RA_i * RA_j * P^*$$

Pour les deux catégories de risque de risque i (type d'exploitation) et j (âge) respectivement. La PEI diffère donc entre les différents groupes à risque bien qu'en moyenne la PEI de tous les porcs reste égale à P^* (46).

3.2.4. Calcul de la sensibilité du système de surveillance

Pour ce scénario de la surveillance basée sur le risque, un animal tiré d'un quelconque groupe à risque (catégorie selon le type d'habitat ou l'âge) peut donner un résultat positif. On a ainsi :

$$SeSS_2 = 1 - (1 - Se_u)^n$$

$$\text{Avec } Se_u = \sum_{E,A} (PrS_{E,A} * PEI_{E,A} * Se_T * Se_D)$$

Où Se_u est la probabilité qu'un porc pris au hasard soit infecté et donne un résultat positif au test et N est le nombre d'animaux testés.

$PrS_{H,A}$ est la proportion de porcs dans les sous-populations en fonction de la catégorie à risque : Type d'exploitation (E) et âge (A) et Se_T et Se_D sont respectivement la sensibilité du test de digestion artificielle et la sensibilité de détection du laboratoire ; n est le nombre total de porcs testés sous ce scénario.

4. Probabilité d'être indemne

Il s'agit du résultat qui pourrait intéresser le plus les partenaires commerciaux dans l'optique de l'import/export de la viande de porc. La probabilité d'être indemne ($PrInd$) est comparable à la valeur prédictive négative d'un test test diagnostic ; c'est-à-dire le niveau de confiance dans le système de surveillance quant à sa capacité à déclarer la maladie absente (sous réserve du risque acceptable P^*) (46).

L'unité de temps (période) pour laquelle les valeurs de sensibilité du système de surveillance ($SeSS$) ainsi que la probabilité d'être indemne ($PrInd$) de *Trichinella ssp* sont déterminées est l'année. Pour cette étude, les données de surveillance de la trichinellose en abattoir ont été collectées de 1997 à 2012. Cela signifie que nous disposons de 16 périodes de temps.

4.1. La probabilité annuelle d'introduction du parasite dans le système de surveillance

D'une manière générale, *Trichinella spiralis* ainsi que *T. britovi* restent présents dans la faune sauvage en France continentale (52). En conséquence il existe un risque potentiel d'introduction de l'infection dans la population de porcs domestiques. La probabilité annuelle d'introduction (PrIntro) est un paramètre variable et important à prendre en compte lors du calcul de la probabilité d'être indemne de *Trichinella spp* le cas échéant. En effet la méthodologie du modèle mis au point par Martin et al. et ensuite appliquée par Alban et coll. (11, 12) prend en compte le risque que la maladie soit introduite dans la population de référence au cours de la période de surveillance. Formellement, la valeur de la PrIntro représente la probabilité que la maladie soit introduite au moins chez les animaux susceptibles d'être infectés, étant donné la prévalence spécifiée, dans une période de temps (année). Celle-ci pourrait donc bien être plus petite que la probabilité d'avoir un animal infecté dans la population entière (53).

4.2. Probabilité initiale d'infection et probabilité d'infection à posteriori

Au début de chaque année, il existe déjà une probabilité initiale que la population de référence soit infectée (PrInf). A la fin d'une période de temps, il est alors possible de calculer la probabilité d'être indemne (PrInd) en tenant compte de cette probabilité initiale en utilisant le théorème de Bayes (10). On part de l'hypothèse que le système de surveillance possède une spécificité parfaite ; c'est-à-dire que tout cas positif est investigué et confirmé. Dans ce procédé de calcul, la probabilité initiale d'infection pour la première année est une valeur pragmatique et conventionnelle fixée à 50%. La PrInd de la maladie à la fin de l'année dépend ainsi de la PrInf et de la sensibilité du système de surveillance (SeSS).

Dès la période suivante, la PrInf devient la valeur de la probabilité d'infection à la fin de la période précédente (complémentaire à 1 de la PrInd de la même période) ajustée par la probabilité d'introduction annuelle (PrIntro) de la maladie : c'est la probabilité d'infection à *posteriori* (PrInf_{Aj}) (46) .

Le complémentaire à 1 de cette PrInf_{Aj} est la probabilité d'être indemne ajustée (PrInd_{Aj}). C'est donc cette probabilité qui est considérée au final dans cette étude. En effet,

contrairement à la PrInd (brute), la PrInd_{Aj} prend en compte la probabilité d'introduction de la maladie dans le système de surveillance au cours du temps.

4.3. Calcul de la probabilité d'être indemne

En partant de l'expression de la valeur prédictive négative (VPN) d'un test diagnostique qui s'appuie sur les probabilités conditionnelles (probabilité de ne pas avoir la maladie sachant que le test diagnostique est négatif = vrais négatifs / vrais négatifs + faux négatifs), En termes de sensibilité (Se) et spécificité (Sp) de test diagnostiques, la valeur prédictive négative est :

$$VPN = Sp (1 - P) / [Sp (1 - P) + (1 - Se) P]$$

Dans ce cas, la prévalence de la maladie dans la population (P) est utilisée comme une estimation de la probabilité initiale pour un quelconque animal d'être infecté (sous réserve de la probabilité d'introduction de la maladie dans l'élevage).

Ces mêmes principes peuvent être appliqués à la probabilité d'être indemne au niveau national en utilisant la même formule sous l'hypothèse d'une spécificité parfaite (Sp=1). (10).

La probabilité que la maladie soit absente sachant que le système ne l'a pas détecté (PrInd) est :

$$\begin{aligned} VPN = PrInd &= 1 - PrInf / [(1 - PrInf) + PrInf (1 - SeSS)] \\ &= 1 - PrInf / [1 - PrInf * SeSS] \end{aligned}$$

Où PrInf est la probabilité initiale d'infection (au début de la période) et SeSS la sensibilité du système de surveillance. En tenant compte de la probabilité d'introduction de la maladie (PrIntro), la probabilité d'être indemne (PrInd) d'une période devient PrInd_{Aj} dont la formule est (46):

$$PrInd_{Aj} = 1 - PrInf_{Aj}$$

Où PrInf_{Aj} est la probabilité d'infection à posteriori à la fin de cette période. Elle sera également la probabilité initiale d'infection à la période suivante d'après le théorème de Bayes.

$$\text{PrInf}_{Aj} = [(1 - \text{PrInd}) + \text{PrIntro}] - [(1 - \text{PrInd}) * \text{PrIntro}] \quad (10).$$

Où $(1 - \text{PrInd})$ désigne la probabilité d'infection à la fin de la période (différente de la probabilité initiale d'infection) et PrIntro la probabilité d'introduction de la maladie au cours de la période.

5. Valeurs des paramètres du modèle

5.1. Sensibilité diagnostique du test et sensibilité de détection du laboratoire

La sensibilité diagnostique du test (Se_T) de digestion artificielle est fonction de la densité larvaire des échantillons positifs et de la quantité de viande prélevée (30). En France, conformément au règlement (CE) No 2075/2005, les quantités prélevées sont de 1 g pour les porcs élevés en exploitation hors-sol et de 2 g pour les porcs plein-air et reproducteurs. Les valeurs de sensibilité de test déterminées dans cette étude découlent des travaux menés par l'Agence canadienne de l'inspection alimentaire (33). Des quantités de viande de 1 g, 3 g, 5 g infestées aux seuils larvaires de 0,01 à 17,7 larves par g ont été utilisées. Un échantillon de 1 g montre déjà un intérêt pour la détection fiable d'une densité larvaire au moins égale à 1 larve par g potentiellement responsable d'une infestation chez l'Homme. Les quantités de 2 g (porcs plein-air et reproducteurs) et 0,25 g (porcs testés en autocontrôle) n'étant pas prise en compte par cette référence, leurs valeurs de sensibilité diagnostiques ont été fixées avec l'appui du LNR-Trichine (UMR Bipar, Anses).

La sensibilité diagnostique du test de digestion artificielle (mélange de 100 échantillons individuel d'1g de muscle) n'excède pas 40% pour une densité larvaire de 0,01 à 0,9 larves par g d'après (33). Toutefois si plus de larves sont présentes dans le muscles prélevé, ou qu'une plus grande quantité de muscle est digérée (digestion artificielle), la Se_T est élevée. Par exemple, si le niveau d'infestation est de 1,0 à 1,4 larves par g de muscle, la Se_T est de 73% en utilisant un échantillon collectif (33).

Les valeurs de sensibilité diagnostique de test ont ainsi été modélisées. Une distributions de Pert a été attribuée à la Se_T qui tient compte d'une valeur minimale, une valeur la plus probable et une valeur maximale pour prendre en compte leur variabilité et l'incertitude. Sous l'hypothèse d'une approche conservatrice, la Se_T pour un échantillon d'1 g a été modélisée

comme suit : Pert (20%, 40%, 64%), avec une valeur conservatrice la plus probable de 40% et des extrêmes (valeurs minimales et maximales) dérivées de son intervalle de confiance à 95% (IC95%) sachant que 8 échantillons ont été trouvés positifs sur 20 analysés (33). Pour la quantité de 2g, nous avons pris une valeur la plus probable intermédiaire aux Se_T des quantités de 1 g et 3 g pour une densité larvaire de 1,0-1,04 g : 73% et 96%. Nous avons ainsi fixés la valeur la plus probable de Se_T pour 2 g accompagnée de son IC95% de la manière suivante : Pert (40%, 60%, 80%). S'agissant des 0,25g utilisés en France dans le contexte des tests en autocontrôle (export vers la Russie), la distribution des valeurs de Se_T pour cette quantité a été estimée en collaboration avec les experts du LNR-Trichine à des valeurs de 1%, 20% et 40%.

Concernant la sensibilité de détection du test (Se_D), les valeurs moyennes par an (2003-2012) sont présentées dans le tableau 4. Ces valeurs sont produites par les rapports annuels des EILA édités par le LNR-Trichine. Une distribution Beta a été attribuée à ces valeurs puisque l'on dispose pour chaque EILA organisé, du nombre total d'échantillons analysé et du nombre d'échantillons trouvé positif. Sous une hypothèse progressiste, la valeur de la Se_D de 2003 a été généralisée à la période de 1997 à 2002 par manque de données ; les premiers EILA ayant débuté en France en 2003.

5.2. La probabilité annuelle d'introduction du parasite dans le système de surveillance

Une méthode décrite précédemment pour estimer la probabilité annuelle d'introduction ($PrIntro$) est de diviser 1 par le nombre de périodes de temps depuis le dernier cas de trichinellose (12, 54). En France continentale, le dernier cas confirmé chez un porc charcutier remonte à l'année 2007 dans le département du Finistère. Par conséquent, la probabilité d'introduction au début de l'année 2013 est égale à 1/5 ans ($PIntro=20\%$). Cependant cette valeur de $PrIntro$ paraît grande si l'on considère qu'elle reflète la probabilité qu'au moins 3482 porcs contracte l'infection en une année (0, 0001 x 34 millions en 2012) sans oublier que le cas sur lequel se base ce calcul (Finistère 2007) est toujours qualifié de douteux à ce jour. Par ailleurs, en considérant l'année 1975 à laquelle le système de surveillance de la trichinellose humaine (autochtone et d'origine animale) est opérationnel en France continentale via le centre national de référence, la $PrIntro$ devient 1 cas/38 ans, c'est-à-dire environ 3%. La valeur minimale de 1% choisie dans la distribution des valeurs de $PrIntro$ se justifie par le fait que l'on considère que le dernier cas confirmé de trichinellose humaine

autochtone serait survenu depuis au moins un siècle au début du 20^{ème} siècle. En fonction de ces valeurs distinctes expliquées, nous avons au final attribué à la probabilité annuelle d'introduction de l'infection une distribution Pert (1%, 3%, 20%) pour la France continentale.

En Corse la valeur de la PrIntro est plus élevée compte tenu des pratiques d'élevage à risque (exploitation plein-air et familiale) et de la résurgence des cas positifs. En effet depuis la Corse a comptabilisé pas moins de 20 cas confirmés entre 2004 et 2012 (tableau 2). Le mode de calcul de la PrIntro n'étant pas approprié dans le cas de la Corse et sachant que sa valeur est indéniablement supérieure à la valeur maximale considérée pour la France continentale, nous avons fixé une valeur de PrIntro ponctuelle et arbitraire de 25%. Cette dernière valeur représente un scénario *à priori* très conservateur.

Tableau 4: Paramètres du modèle et informations sur le système de surveillance de la trichinellose en France continentale et en Corse

Paramètres	Valeurs	Justification
Cas positif	Tout échantillon testé positif (infestation par des larves de <i>Trichinella spp</i>) par digestion artificielle	Règlement (CE N° 2075/2005) de la commission européenne
Population	Tous les porcs domestiques de France continentale et de Corse testés en abattoir	Base de données de surveillance départementale de la trichinellose animale (LNR-trichine), Anses Maison Alfort
Période	Année	Données collectées annuellement.
Prévalence spécifiée (P*)	0,0001%	Commission européenne (CE N° 2075/2005)
Probabilité initiale d'infection	50%	Valeur conventionnelle en l'absence de données de surveillance antérieure à 1997
Risque relatif		
- Plein-air vs hors-sol	RR=2,5 ou 5	Scénario de simulation envisagé en l'absence de données de la littérature
- Reproducteur vs charcutier	RR=2,5 ou 5	

Probabilité annuelle d'introduction		Calcul basé sur la méthodologie utilisée dans d'autres études (Liz Alban et al. 2008 ; Vanderstichelet al 2013)	
- France continentale	Pert (1% ; 3% ; 20%)		
- Corse	25%	Valeur arbitraire pour la Corse > à la valeur maximale pour la France continentale	
Sensibilité diagnostique du test			
- 0,25g	Pert (1% ; 20% ; 40%)	Valeurs sur dires d'experts (LNR-Trichine)	
- 1g	Pert (20% ; 40% ; 64%)	Forbes and Gajadhar (1999)	
- 2g	Pert (40% ; 60% ; 80%)	Valeurs intermédiaires à celles d'1g (LNR-Trichine)	
Sensibilité de détection des laboratoires			
- France continentale / Corse			
2003	89,47% / 100%		
2004	93,78% / 100%		
2005	97,54% / 100%		
2006	99,80% / 100%		Résultats des essais interlaboratoires.
2007	99,37% / 100%		Rapports annuels
2008	98,08% / 100%		LNR-Trichine, Anses Maisons Alfort
2009	99,79% / 100%		
2010	98,36% / 92,86%		
2011	99,40% / 100%		
2012	99,43% / 100%		

C. Résultats

I. Scénario 1: règlement (CE) N° 2075/2005

1. France continentale

D'après le scénario 1, 34 millions de porcs devraient être testés annuellement. Pour toute la période d'étude (1997-2012), le scénario 1 permettrait ainsi au système de surveillance de la trichinellose en France continentale d'atteindre une sensibilité (SeSS) de 100% entre 2006 et 2012 (tableau 5).

D'après les résultats des simulations réalisées sous ce même scénario, la probabilité d'être indemne de *Trichinella spp* monte en moyenne à 94,5% (IC 95% : 87,4-98,66%) dès la 1^{ère} année de surveillance et se maintient au fil des années jusqu'en en 2012 (Fig.5).

Le coût investi pour tester les 34 822 695 millions de porcs sous ce scénario est estimé à 17 411 347,5 euros (coût d'une analyse à 50 euros pour un pool de 100 échantillons d'1g).

Tableau 5: Sensibilité annuelle du système de surveillance et probabilité moyenne d'être indemne de *Trichinella spp* en France continentale d'après le scénario (CE) N° 2075/2005

Année	SeSS	PrIntro	PrInf	PrInd
1997	0,999974	0,039882	0,5	0,94733
1998	0,999974	0,017261	0,039907	0,94471
1999	0,999974	0,030724	0,017262	0,94483
2000	0,999974	0,024868	0,030725	0,94476
2001	0,999974	0,061147	0,024868	0,94459
2002	0,999974	0,045535	0,061148	0,94523
2003	0,999974	0,028849	0,045536	0,9446
2004	0,999969	0,059782	0,02885	0,94454
2005	0,999985	0,043354	0,059783	0,9452
2006	1	0,015523	0,043355	0,94469
2007	1	0,040786	0,015523	0,94548
2008	1	0,081921	0,040786	0,94516
2009	1	0,075507	0,081921	0,94476
2010	1	0,098931	0,075507	0,945
2011	1	0,083228	0,098931	0,9449
2012	1	0,055304	0,083228	0,94519

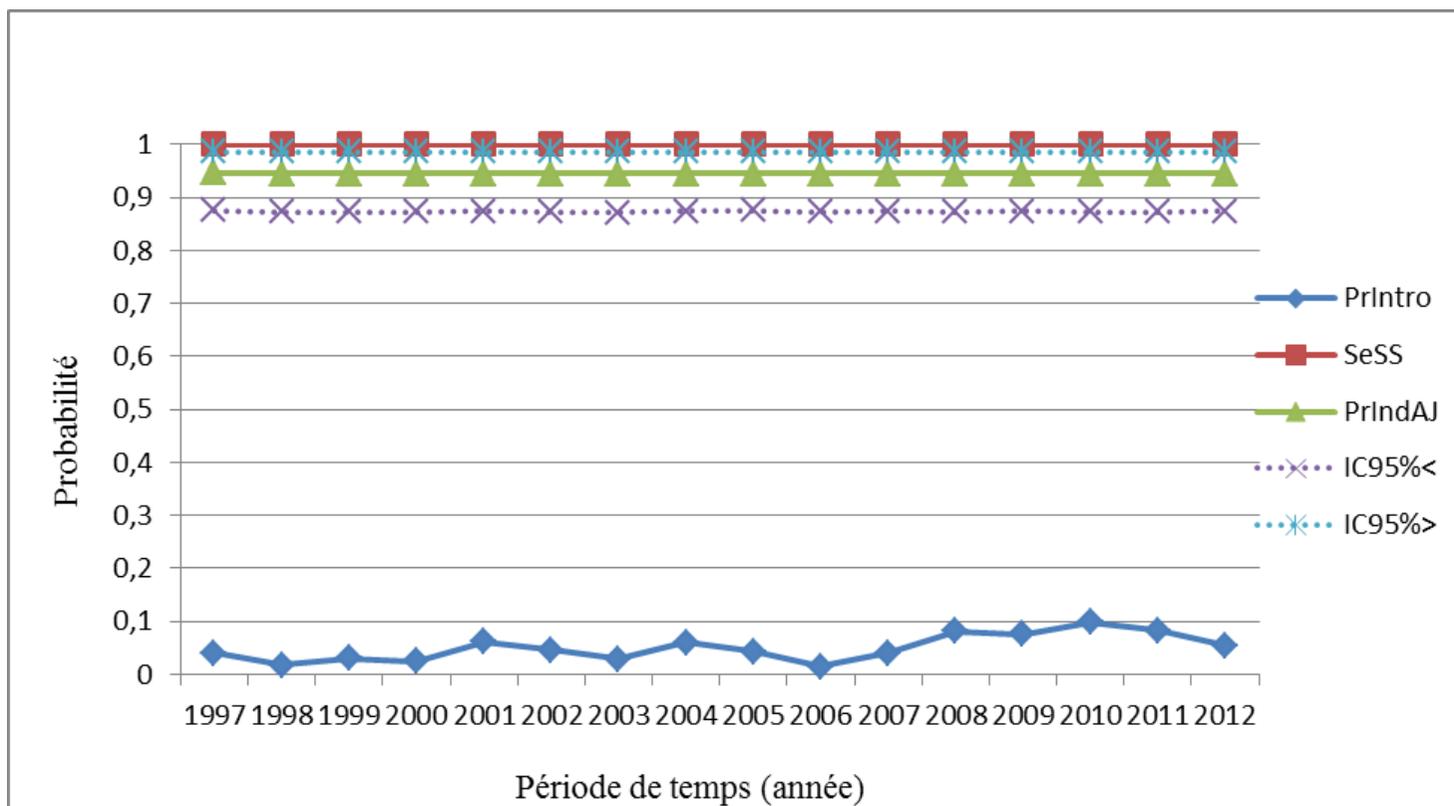


Fig.5 : Probabilité moyenne d'être indemne de *trichinella spp* dans la population porcine de France continentale en se basant sur le scénario de la commission européenne (CE) N° 2075/2005 dans lequel tous les porcs sont testés (1997-2012).

2. Corse

En Corse, la SeSS ne dépasse pas 50% à partir de 2004 avec huit milles porcs testés en 2012 (tableau 6) .

Selon ce seul scénario (CE N° 2075/2005) envisageable pour la Corse, la probabilité d'être indemne de *Trichinella spp* dans la population porcine est seulement de 48% à 54% entre 1997 et 2012 (figure 6).

Tableau 6: Sensibilité annuelle du système de surveillance et probabilité d'être indemne de *Trichinella spp* en Corse d'après le scénario (CE) N° 2075/2005

Année	SeSS	PrIntro	PrInf	PrInd
1997	0,47178163	0,25	0,5	0,51556364
1998	0,47178163	0,25	0,50923244	0,51556364
1999	0,47178163	0,25	0,50300353	0,62882639
2000	0,47178163	0,25	0,4511637	0,45039168
2001	0,47178163	0,25	0,54339916	0,56619228
2002	0,47178163	0,25	0,48055363	0,49664655
2003	0,47178163	0,25	0,52258758	0,54076564
2004	0,5	0,25	0,49411707	0,48763582
2005	0,5	0,25	0,5039374	0,53981112
2006	0,5	0,25	0,49738194	0,5223215
2007	0,5	0,25	0,50174842	0,52559577
2008	0,5	0,25	0,49883574	0,52606259
2009	0,5	0,25	0,50077678	0,53052363
2010	0,5	0,25	0,49948242	0,51036791
2011	0,5	0,25	0,50034517	0,53718352
2012	0,5	0,25	0,49976994	0,51596275

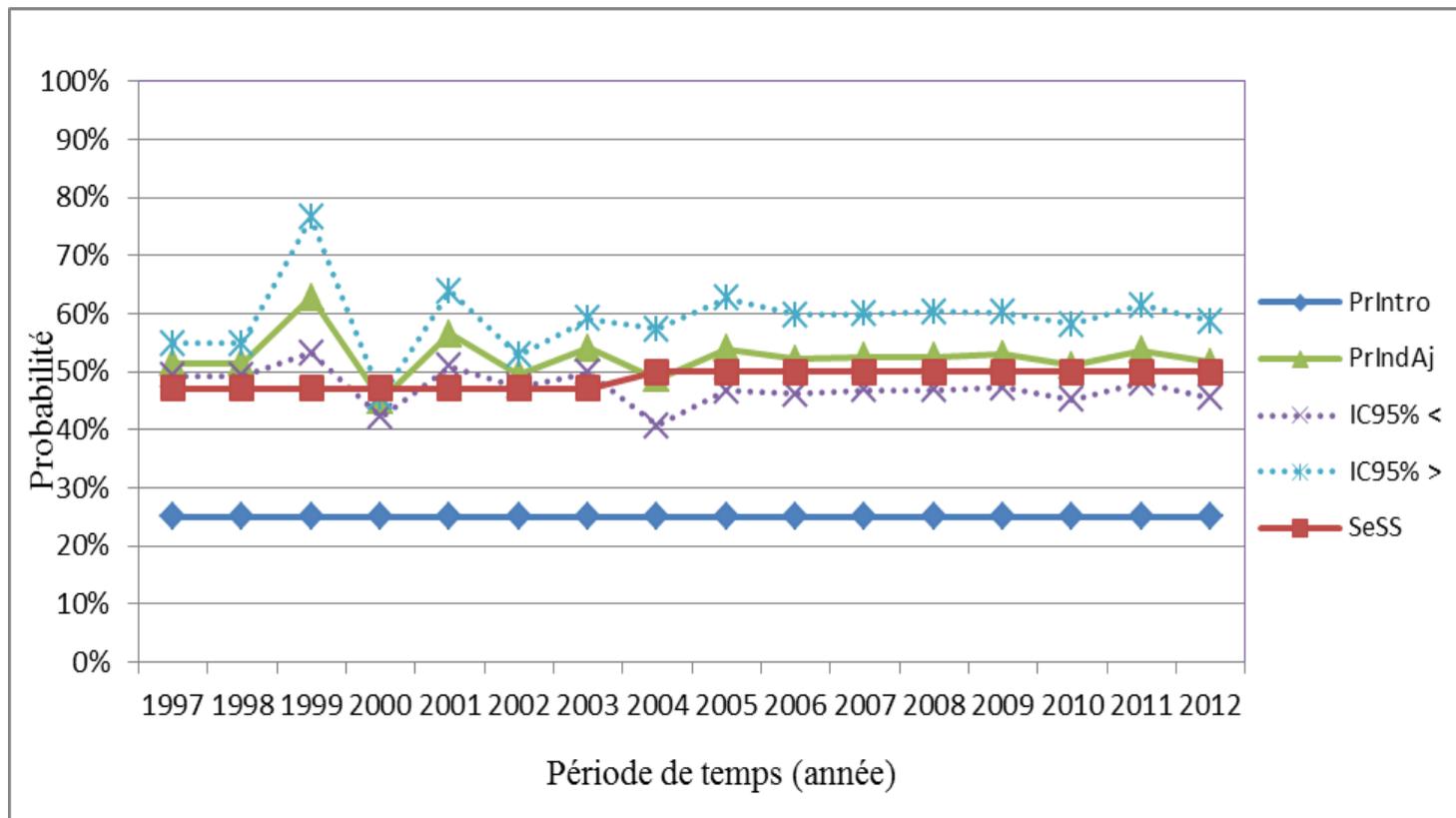


Fig.6 : Probabilité d’être indemne de *trichinella* spp dans la population porcine Corse d’après le scénario de la commission européenne (CE) N° 2075/2005 avec une probabilité annuelle d’introduction de 25% (1997-2012)

II. Scénario 2 : Surveillance basée sur le risque

La sensibilité du système de surveillance (SeSS) varie avec les combinaisons de RR. Pour les 4 combinaisons de RR envisagés dans cette étude, une valeur élevée de SeSS est atteinte dès début de la surveillance. Pour l'année 2012 une valeur moyenne maximale de 98% est obtenue quand le RR=5 dans les deux catégories les plus à risque (plein air / reproducteurs) (figure 10).

Les résultats de la probabilité d'être indemne ajustée ($PrInd_{Aj}$), en fonction de la combinaison des RR, sont illustrés par les figures 7 à 10. Les valeurs de $PrInd_{Aj}$ augmentent rapidement pour atteindre des valeurs optimales vers 1999 avec une fluctuation d'une année à l'autre en fonction de la probabilité d'introduction annuelle ($PrIntro$) du parasite dans le système de surveillance.

En 2012, la valeur de $PrInd_{Aj}$ moyenne la plus élevée est obtenue avec la combinaison RR_{plein-air} = 5 et RR_{reproducteur} = 5 où $PrInd_{Aj}$ = 94,37% (IC95%, 87,01-98,53%). La combinaison rapportant une $PrInd_{Aj}$ la plus faible en 2012 est celle avec RR_{plein-air} = 2,5 et RR_{reproducteur} = 2,5 où $PrInd_{Aj}$ = 92,07% (IC95%, 84,78-96,78%). Dans les deux autres cas où le RR alterne tour à tour les valeurs de 5 et 2,5 entre les catégories à risque (plein-air et reproducteur), les valeurs de $PrInd_{Aj}$ en 2012 sont de 93,84% (IC95%, 86,6-98,13%) avec RR_{plein-air} = 5 et RR_{reproducteur} = 2,5 et de 93,6% (IC95%, 86,61-97,93%) avec RR_{plein-air} = 2,5 et RR_{reproducteur} = 5.

Au regard des effectifs de porcs à tester dans ce scénario de la surveillance basée sur le risque (tableau 3). Le coût-bénéfice réalisé, en comparaison au scénario 1 de la commission européenne (CE N° 2075/2005) est de 17 232 990 euros [(50 euros x (34 822 695/100))].

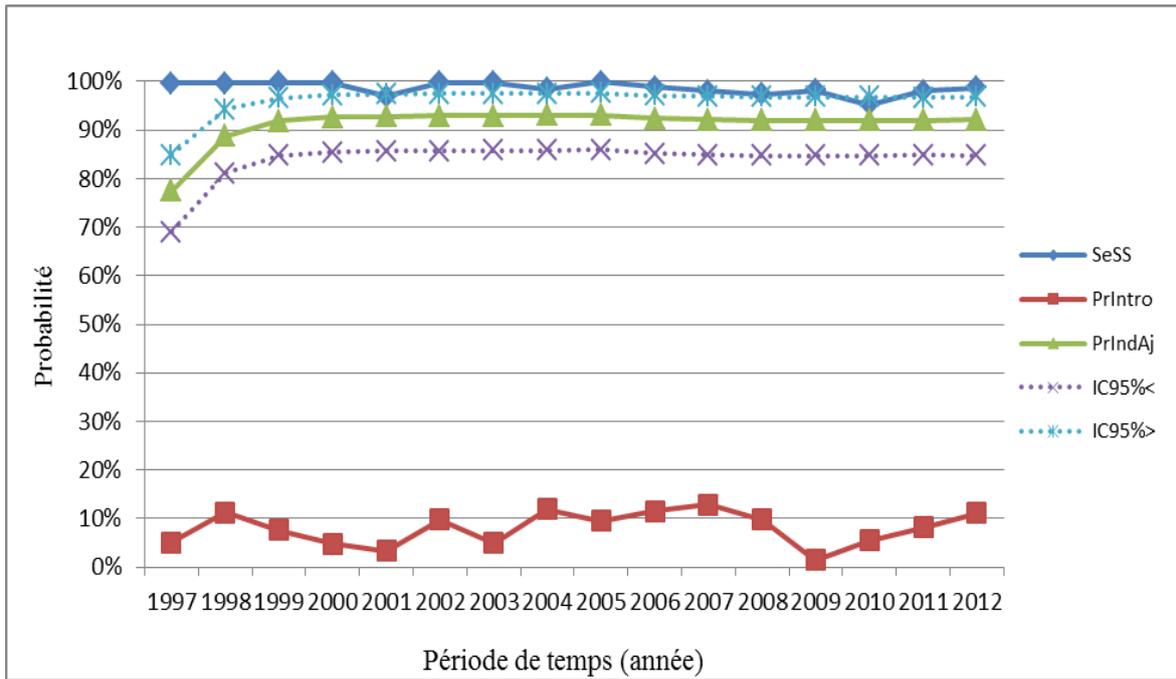


Fig.7 : Probabilité moyenne d'être indemne de *Trichinella spp* en France continentale entre 1997-2012 avec un $RR_{\text{plein-air}} = 2,5$ et $RR_{\text{reproducteur}} = 2,5$

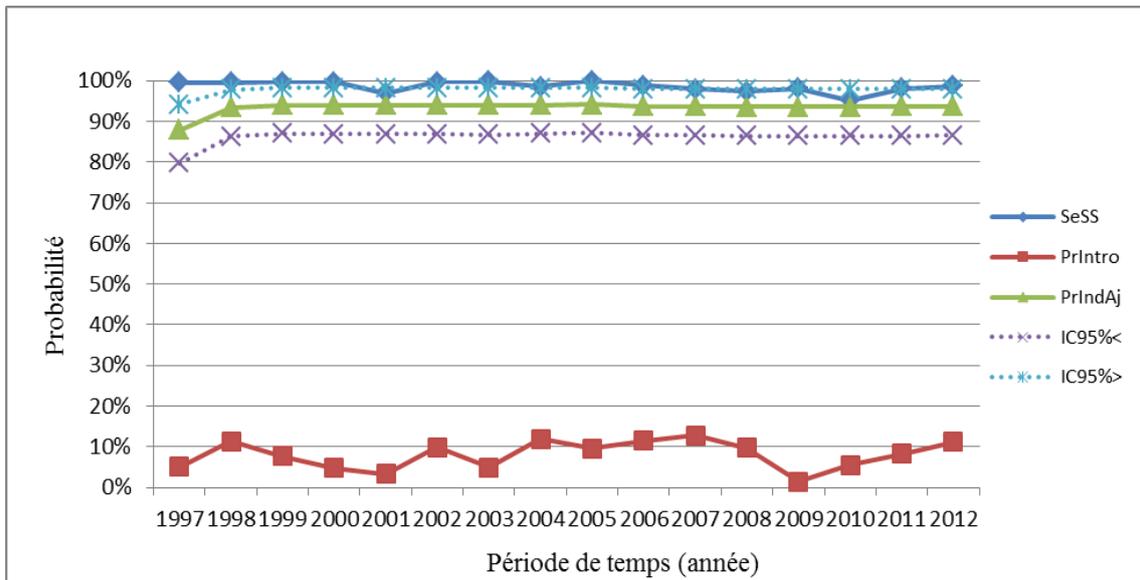


Fig.8 : Probabilité moyenne d'être indemne de *Trichinella spp* en France continentale entre 1997-2012 avec un $RR_{\text{plein-air}} = 2,5$ et $RR_{\text{reproducteur}} = 5$

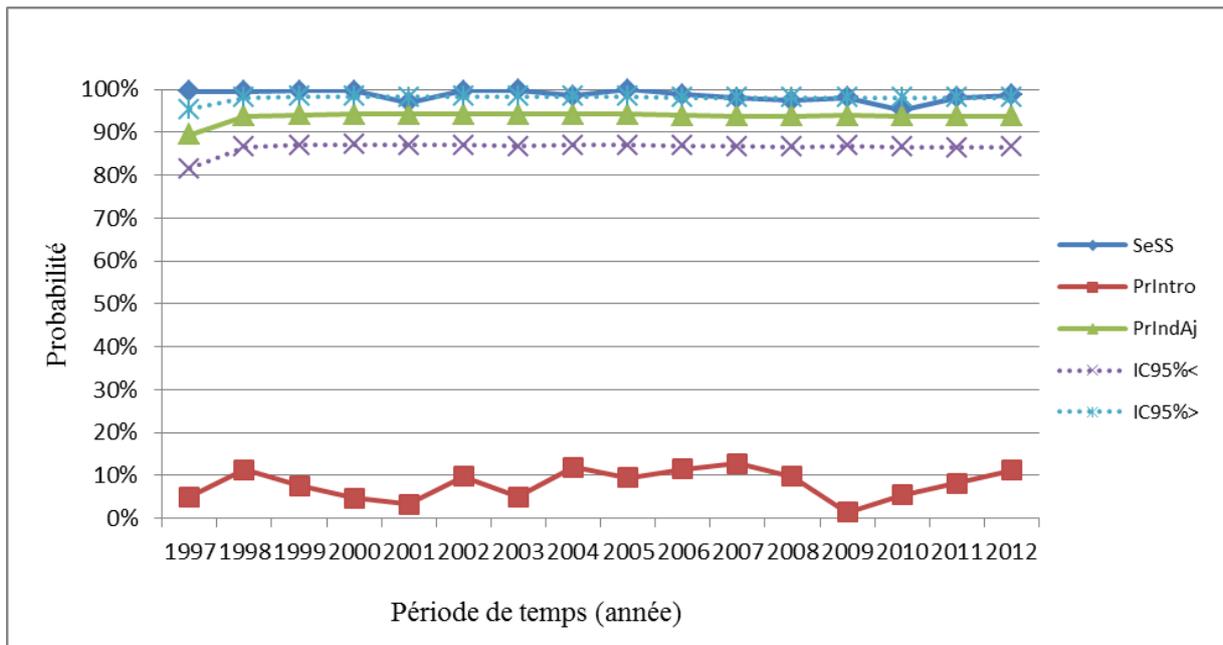


Fig.9 : Probabilité moyenne d'être indemne de *Trichinella spp* en France continentale entre 1997-2012 avec un $RR_{\text{plein-air}} = 5$ et $RR_{\text{reproducteur}} = 2,5$

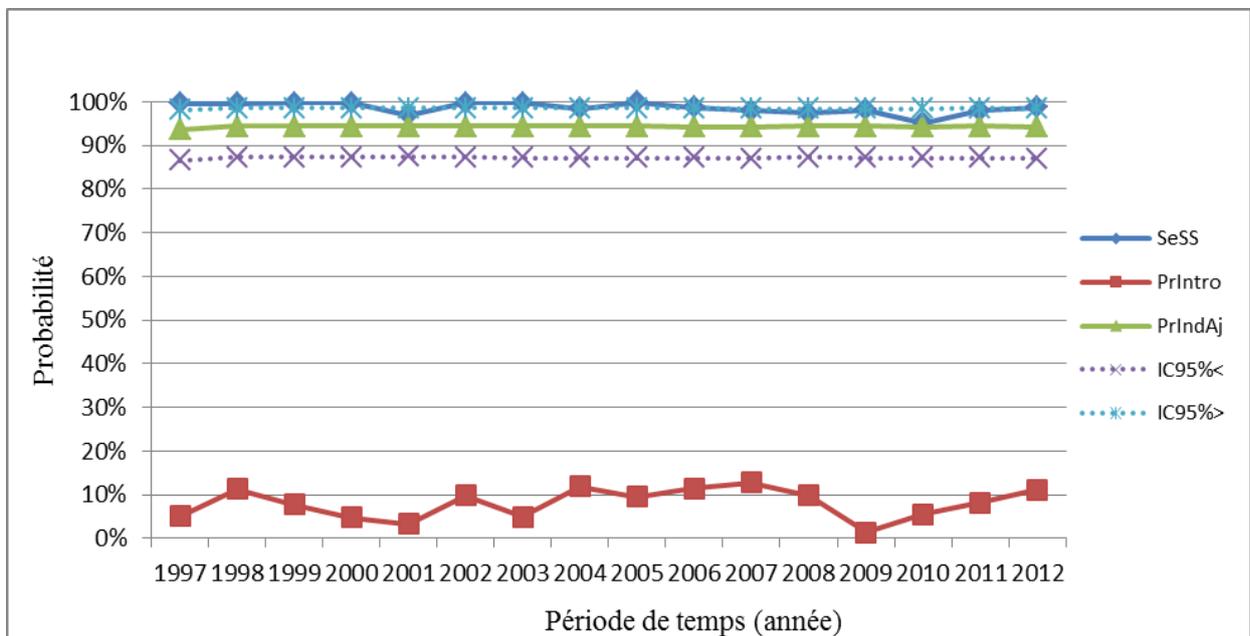


Fig. 10 : Probabilité moyenne d'être indemne de *Trichinella spp* en France continentale entre 1997-2012 avec un $RR_{\text{plein-air}} = 5$ et $RR_{\text{reproducteur}} = 5$

D. Discussion

Les résultats de cette étude montrent que dans les conditions de surveillance de la commission européenne (CE No 2075/2005) la probabilité d'être indemne de trichinellose en 2012 dans la population porcine est de 94,52% en France continentale. Pour la même année 2012, le scénario de la surveillance basée sur le risque rapporte, quant à elle, une probabilité d'être indemne ajustée de 94,37% en considérant la combinaison de risques relatifs les plus élevés (RR=5) pour les deux catégories de porcs les plus à risque (porcs plein-air et reproducteurs). Au regard de ces résultats, les deux scénarios envisagés sont quasiment équivalents. Les résultats (probabilités d'être indemne) annuels ressortant de cette étude (scenario 1 et 2) sont très proches des valeurs fixés par la commission européenne. Dans cette optique, il est en effet demandé aux pays de prouver qu'ils sont indemnes du parasite (*Trichinella spp*) entre 95 et 99%, pour passer du statut de pays endémique à celui de pays à risque négligeable (47). En revanche, dans les scénarios où cet objectif n'a pas été atteint, il est en conséquence judicieux d'examiner les paramètres du modèle qui ont pu, d'une manière ou d'une autre, influencer favorablement ou non les résultats de la présente étude.

1. Données de surveillance épidémiologique de la trichinellose en abattoir

Cette étude se base principalement sur les données d'abattoir récoltées dans les départements de France continentale et Corse exerçant une surveillance active de la trichinellose. Le système de surveillance ayant évolué dans le temps, il est raisonnable de reconnaître non seulement une fluctuation du nombre de porcs abattus et testés par an, mais aussi une nette amélioration de la catégorisation des élevages indispensables pour mener à bien une étude via la méthode de la surveillance basée sur le risque. En effet entre 1997 et 2001, les porcs hors-sol et plein-air sont tous qualifiés de « domestiques » sans distinction aucune. C'est encore moins précis s'agissant de la catégorisation reproducteur/charcutier qui n'a faite par le système de surveillance que très récemment en 2012. Ce défaut de classification pose indéniablement le problème de la détermination de la proportion de population selon la catégorie.

Les nombres définitifs de porcs considérés ici pour chaque catégorie sont donc justifiés par le caractère épars de notre base de données. Il a été ainsi minutieux de se baser sur les résultats de la surveillance en 2012 étant que le système semble le plus abouti possible en terme de catégorisation. Ce choix s'est opéré sous l'hypothèse que la production nationale en France

métropolitaine est restée en moyenne stable au fil des années. Ceci laisse entrevoir que la France compte en moyenne une population nationale de 23 millions de porcs. Ce nombre est comparable à celui utilisé au Danemark pour le même type d'étude (12).

Il faut par ailleurs noter des effectifs de population faibles pour la Corse considérée ici comme un scénario à part entière. Le nombre de porcs abattus et testés y varient en moyenne entre 2000 en 1997 et 8000 plus récemment en 2012. Même en extrapolant l'effectif de l'année 2012 à toute la période de 1997-2012 comme nous l'avons fait pour la France continentale, ce dernier effectif ne se révèle guère optimisant pour la sensibilité du système de surveillance malgré une meilleure performance moyenne des laboratoires corses.

Sensibilité du système de surveillance

La valeur de la sensibilité du système de surveillance (SeSS) est influencée par le nombre d'animaux testés par an. Cela peut se vérifier avec le scénario de la Corse. En effet, quand bien même la valeur moyenne de la sensibilité du test est élevée, puisque réalisée sur 2 g de viande, ainsi que des valeurs de sensibilité de détection par les laboratoires quasiment égales à 100% par an, la SeSS ne dépasse pas 50% pour un effectif total de porcs testé égal à 8000. Ce constat est également fait dans l'étude suisse dans laquelle la SeSS, sous le scénario de la commission européenne (CE) N° 2075/2005, varie entre 15 et 62% pour un nombre moyen de porcs testés compris entre 400 000 et 2 millions pour la période allant de 2001 à 2007 (13). Toujours dans les mêmes conditions de surveillance (CE N° 2075/2005), la SeSS atteint 99% dans l'étude danoise à la seizième année de surveillance avec un nombre total de porcs testés croissant entre 1990 et 2005 et pratiquement équivalent au nombre d'animaux testés en France en 2005(12).

Dans le scénario de la surveillance basée sur le risque, les valeurs de SeSS obtenues sont très variables et se situent néanmoins dans une fourchette élevée de 80 à 95%. Dans ce cas, les valeurs de la SeSS restent tributaires des risques relatifs (RR) considérés pour les catégories de porcs les plus à risque (plein-air et reproducteurs). On constate ainsi que la SeSS est plus élevée avec un RR égal à 5. Les suisses ont considéré des RR=5 et 10 pour les porcs reproducteurs et RR=5 pour les porcs plein-air (en comparaison avec les porcs d'élevage familiaux) (13). En conséquence, il est évident de croire qu'en augmentant les RR à 10 dans la présente étude, les valeurs de SeSS auraient augmenté. Par ailleurs dans l'étude danoise où les RR ont été déterminés selon quatre différentes hypothèses tenant compte de la proportion

de porcs infestés dans chaque catégorie à risque, la SeSS est également meilleure lorsque la proportion de porcs dans la catégorie à risque, le nombre de porcs infestés s'y rapportant ainsi que le RR sont les plus élevés possibles (12).

Dans la présente étude, le scénario de la surveillance basée sur le risque teste pratiquement tous les porcs plein-air et très peu de hors-sol. Cependant, en France continentale, le nombre de porcs testés par catégorie est plus élevé que celui considéré dans le scénario 2 car non seulement tous les porcs hors-sol reproducteurs sont systématiquement testés, mais aussi depuis 2006 il y a en moyenne 12 millions de porcs supplémentaires testés en autocontrôle (hors-sol charcutiers) qui sont inclus dans la surveillance. Les hypothèses et résultats du modèle simulé ne sont pas en conséquence révélateurs de ce qui est fait en réalité, ce qui pourrait avoir pour effet, une sous-estimation de la sensibilité du système de surveillance en France continentale. Il est par ailleurs important de noter que dans l'étude réalisée au Danemark, sont considérés dans le scénario de la surveillance basée sur le risque, uniquement les porcs plein-air et reproducteurs.

Sensibilités du test diagnostique et de la détection du laboratoire

La sensibilité diagnostique du test (Se_T) reste un paramètre incontournable pour le calcul de la sensibilité du système de surveillance (SeSS) et en conséquence de la probabilité d'être indemne (10, 11). Dans cette étude il est très probable que l'estimation des valeurs de sensibilité diagnostique du test de digestion artificielle, notamment pour les quantités de 2 g et 0,25 g, ait eu un impact non négligeable sur les résultats. En effet, ces valeurs ont été estimées par extrapolation en l'absence de véritables références antérieures concernant les analyses trichine sur des quantités exactes de 0,25 g et 2 g. Les autres études réalisées dans le même contexte au niveau européen rapportent soit des résultats de la SeSS pour des analyses réalisées sur des quantités de prélèvement d'1 g pour le scénario de la commission européenne (12), soit utilisent des méthodes diagnostiques différentes à l'instar de la sérologie (Elisa + Western blot) pour le scénario de la surveillance basée sur le risque (13). Ainsi la valeur de Se_T de 40% pour un pool de 100 échantillons d'1 g chacun fait l'unanimité dans les études antérieures (33).

La faculté de prendre en compte tous les compartiments du système de surveillance avec leurs particularités en termes de diagnostic donne cependant une forte considération à la qualité de la présente étude en termes de représentativité. En outre, le fait de disposer des valeurs de

sensibilité de détection de laboratoire (Se_D) s'avère être en soi un bénéfice pour le système de surveillance de la trichinellose. En effet les valeurs de Se_D se sont améliorées avec le temps notamment par l'intégration des exigences d'assurances qualité par les laboratoires d'analyse pour la recherche de *Trichinella spp* via la méthode de digestion artificielle. Cette Se_D est de ce fait un paramètre qui contribue indéniablement à l'optimisation de la sensibilité et performance du système de surveillance global (47).

2. La probabilité annuelle d'introduction du parasite

La méthodologie développée par Martin et coll. (10, 11) pour démontrer qu'un territoire est indemne d'un agent pathogène, en l'occurrence *Trichinella spp*, tient compte de sa potentielle probabilité d'introduction annuelle ($PrIntro$) dans le système au cours de la surveillance. C'est en fait l'introduction à tout moment du parasite dans le système qui peut faire fluctuer la valeur de la probabilité d'être indemne en l'ajustant par ce paramètre ($PrInd_{Aj}$). Ceci implique d'être conscient de l'importance de la $PrIntro$, notamment en ce qui concerne l'estimation de sa valeur ponctuelle. En effet les méthodes mises au point pour estimer la $PrIntro$ sont discutables et manquent de standardisation (49, 54). La méthode que nous avons utilisée dans cette étude est dépendante des cas confirmés de trichinellose animale durant les périodes (années) antérieures. Or, particulièrement en France continentale, le principal cas considéré dans cette étude (Finistère 2007) soulève encore la controverse auprès des autorités compétentes. En effet, son mode de contamination n'a jamais été retracé avec certitude car aucun autre animal n'avait été trouvé positif dans cette exploitation hors-sol et les analyses dans la faune sauvage environnante ont toutes donné des résultats négatifs. Seule l'hypothèse d'une contamination via un rongeur broyé avec les aliments est aujourd'hui mise en avant (Afssa – Saisine n° 2007 – SA – 0027).

On constate que la $PrInd_{Aj}$ varie avec la $PrIntro$ dans le temps : plus faible est la valeur de la $PrIntro$, meilleure sera la probabilité d'être indemne avec une tendance à la hausse. La $PrIntro$ est donc un paramètre d'entrée du modèle qui influence de manière importante la probabilité d'être indemne (10,11). Le Danemark, dans son évaluation du système de surveillance de la trichinellose animale considère une $PrIntro$ la plus probable égale à 1,3% pour un dernier cas confirmé remontant à l'année 1930 (12). En appliquant le même principe en France continentale, la $PrIntro$ est beaucoup plus élevée (20%) si l'on considère le dernier cas animal détecté en 2007. Or le système de surveillance de la trichinellose humaine a été mis en place depuis 1975 et du fait qu'aucun cas humain autochtone n'ait été détecté dans le

cadre de cette surveillance, a permis d'établir une valeur plus probable de PrIntro de 3%. La valeur minimale d'1% a été choisie en considérant que le dernier cas humain autochtone est survenu il y'a au moins 100 ans, au début du 20^{ème} siècle. Dans tous les cas, les valeurs de PrIntro de *Trichinella spp* considérées dans la plupart des autres études restent bien plus faibles que celles que nous avons utilisées (13, 54).

En ce qui concerne la Corse, les pratiques d'élevage diffèrent énormément de celles présentes en France continentale. Les porcs plein-air et ceux d'élevage familiaux rencontrés auraient ainsi plus de risque d'être en contact avec la faune sauvage. La PrIntro serait vraisemblablement très élevée en comparaison avec la France continentale. Compte tenu des résultats observés de probabilité d'être indemne, en particulier pour 2012, on peut considérer que la probabilité d'être indemne en Corse est donc faible.

Dans un contexte comparatif, il est par ailleurs intéressant d'apprécier les résultats relatifs à la surveillance basée sur le risque en gardant en vue la motivation préalable à sa mise en place. Plus précisément dans le cas mis en perspective dans cette étude, la surveillance basée sur le risque atteint la même efficacité (probabilité d'être indemne) pour une différence d'un nombre de porcs testés en moins de 99%. Ce qui se traduit en pratique par un avantage économique considérable en tenant compte du coût unitaire de l'analyse de laboratoire des carcasses de porcs en abattoirs. Le ratio coût bénéfice induit par la surveillance basée sur le risque est donc important et pourrait aider à la prise de décision de la part du gestionnaire (45).

En perspective, nous proposons une analyse de sensibilité des résultats observées. Bien que cette étude ait mis en exergue les principaux paramètres du modèle directement impliqués dans la variation de la probabilité d'être indemne de *Trichinella ssp* à l'échelle d'une exploitation ou territoire, une analyse de sensibilité approfondie et bien menée permettrait en outre de détecter les variables (paramètres d'entrée du modèle) qui ont plus d'impact sur les résultats (probabilité d'être indemne).

E. Conclusion

Au terme de cette étude sur la trichinellose d'origine porcine, force nous est donnée d'affirmer que la France continentale est à risque négligeable de *Trichinella spp.*

Eu égard aux résultats de cette évaluation du système de surveillance de la trichinillose dans la population porcine de France, il apparaît en plus que le scénario de la surveillance basée sur le risque rapporte une probabilité d'être indemne de *Trichinella spp* proche à celle du scénario découlant des recommandations du règlement (CE) N° 2075/2005. Toutefois la surveillance basée sur le risque présente un avantage économique important puisqu'elle permet d'exonérer des milliers de porcs des analyses d'échantillons de viande onéreuses au laboratoire dans le contexte des exploitations hors-sol où des mesures de biosécurité ont été mises en place.

Références bibliographiques

1. Murrell KD, Pozio E. Worldwide occurrence and impact of human trichinellosis, 1986-2009. *Emerg Infect Dis.* 2011 Dec; 17(12):2194–202.
2. Gottstein B, Pozio E, Nöckler K. Epidemiology, diagnosis, treatment, and control of trichinellosis. *Clin Microbiol Rev.* 2009 Jan; 22(1):127–45.
3. Pozio E, Darwin Murrell K. Systematics and epidemiology of trichinella. *Adv Parasitol.* 2006;(63):367–439.
4. A. De Bruyne, I. Vallée, T. Ancelle, I. Brochériou, A. Bonafé, P. Boireau, J. Dupouy-Camet. *Trichinelloses. EMC Maladies infectieuses.* Paris: Elsevier Masson SAS; 2006.
5. DE BRUYNE Aymeric ; DELANOS-GREGOIRE Nadia ; ANCELLE Thierry ; DUPOUY-CAMET Jean. La trichinellose : un risque parasitaire persistant en France. *Spectra biologie.* 2006; 25(153):24–8.
6. Boireau P, Vallée I, Roman T, Perret C, Mingyuan L, Gamble HR, Gajadhar A. *Trichinella* in horses: a low frequency infection with high human risk. *Vet Parasitol.* 2000 Dec 1; 93(3-4):309–20.
7. Anonymous. Commission Regulation (EC) No. 2075 of December 2005 laying down specific rules on official controls for *Trichinella* in meat. [Internet]. 2005. Available from:<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2005:338:0060:0082:EN:PDF>
8. Anonymous. REGULATION (EC) No 854/2004 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 29 April 2004 laying down specific rules for the organisation of official controls on products of animal origin intended for human consumption [Internet]. 2004. Available from: <http://www.afbini.gov.uk/nrl-regulation-854-2004.pdf>
9. Pozio E. Searching for *Trichinella*: not all pigs are created equal. *Trends Parasitol.* 2014 Jan; 30(1):4–11.
10. Martin PA, Cameron AR, Greiner M. Demonstrating freedom from disease using multiple complex data sources 1: a new methodology based on scenario trees. *Prev Vet Med.* 2007 May 16; 79(2-4):71–97.
11. Martin PA, Cameron AR, Barfod K, Sergeant ES, Greiner M. Demonstrating freedom from disease using multiple complex data sources 2: case study--classical swine fever in Denmark. *Prev Vet Med.* 2007 May 16;79(2-4):98–115.
12. Alban L, Boes J, Kreiner H, Petersen JV, Willeberg P. Towards a risk-based surveillance for *Trichinella* spp. in Danish pig production. *Prev Vet Med.* 2008 Nov 17;87(3-4):340–57.
13. Schuppers ME, Frey CF, Gottstein B, Stärk KD, Kihm U, Regula G. Comparing the demonstration of freedom from *Trichinella* infection of domestic pigs by traditional and risk-based surveillance. *Epidemiol Infect.* 2010 Sep;138(9):1242–51.

14. Ripert C. Epidémiologie des maladies parasitaires. Réservoirs, vecteurs et transmission (Tome 4): Affections provoquées ou transmises par les arthropodes. Lavoisier. Paris; 2007.
15. Krivokapich SJ, Pozio E, Gatti GM, Prous CL, Ribicich M, Marucci G, La Rosa G, Confalonieri V. *Trichinella patagoniensis* n. sp. (Nematoda), a new encapsulated species infecting carnivorous mammals in South America. *Int J Parasitol.* 2012 Sep;42(10):903–10.
16. Pozio E. The opportunistic nature of *Trichinella*--exploitation of new geographies and habitats. *Vet Parasitol.* 2013 May 20;194(2-4):128–32.
17. Pozio E, Zarlenga DS. Recent advances on the taxonomy, systematics and epidemiology of *Trichinella*. *Int J Parasitol.* 2005 Oct;35(11-12):1191–204.
18. La Rosa G, Marucci G, Rosenthal BM, Pozio E. Development of a single larva microsatellite analysis to investigate the population structure of *Trichinella spiralis*. *Infect Genet Evol.* 2012 Mar;12(2):369–76.
19. Gajadhar AA, Forbes LB. A 10-year wildlife survey of 15 species of Canadian carnivores identifies new hosts or geographic locations for *Trichinella* genotypes T2, T4, T5, and T6. *Vet Parasitol.* 2010 Feb 26;168(1-2):78–83.
20. Reichard MV, Tiernan KE, Paras KL, Interisano M, Reiskind MH, Panciera RJ, Pozio E. Detection of *Trichinella murrelli* in coyotes (*Canis latrans*) from Oklahoma and North Texas. *Vet Parasitol.* 2011 Dec 15;182(2-4):368–71.
21. Hall RL, Lindsay A, Hammond C, Montgomery SP, Wilkins PP, da Silva AJ, McAuliffe I, de Almeida M, Bishop H, Mathison B, Sun B, Largusa R, Jones JL. Outbreak of human trichinellosis in Northern California caused by *Trichinella murrelli*. *Am J Trop Med Hyg.* 2012 Aug;87(2):297–302.
22. Marucci G, La Grange LJ, La Rosa G, Pozio E. *Trichinella nelsoni* and *Trichinella T8* mixed infection in a lion (*Panthera leo*) of the Kruger National Park (South Africa). *Vet Parasitol.* 2009 Feb 23;159(3-4):225–8.
23. La Grange LJ, Govender D, Mukaratirwa S. The occurrence of *Trichinella zimbabwensis* in naturally infected wild crocodiles (*Crocodylus niloticus*) from the Kruger National Park, South Africa. *J Helminthol.* 2013 Mar;87(1):91–6.
24. Hurníková Z, Snábel V, Pozio E, Reiterová K, Hrcková G, Halásová D, Dubinský P. First record of *Trichinella pseudospiralis* in the Slovak Republic found in domestic focus. *Vet Parasitol.* 2005 Mar 10;128(1-2):91–8.
25. Mukaratirwa S, Dzoma BM, Matenga E, Ruziwa SD, Sacchi L, Pozio E. Experimental infections of baboons (*Papio spp.*) and vervet monkeys (*Cercopithecus aethiops*) with *Trichinella zimbabwensis* and successful treatment with ivermectin. *Onderstepoort J Vet Res.* 2008 Jun;75(2):173–80.
26. Kapel CM. Host diversity and biological characteristics of the *Trichinella* genotypes and their effect on transmission. *Vet Parasitol.* 2000 Dec;93(3-4):263–78.

27. Kapel CM, Gamble HR. Infectivity, persistence, and antibody response to domestic and sylvatic *Trichinella* spp. in experimentally infected pigs. *Int J Parasitol.* 2000 Feb;30(2):215–21.
28. BOURÉE P. Aide-mémoire de parasitologie et de pathologie tropicale. MÉDECINE SCIENCES FLAMMARION; 2008.
29. Dupouy-Camet J, Kociecka W, Bruschi F, Bolas-Fernandez F, Pozio E. Opinion on the diagnosis and treatment of human trichinellosis. *Expert Opin Pharmacother.* 2002 Aug;3(8):1117–30.
30. Gamble HR, Bessonov AS, Cuperlovic K, Gajadhar AA, van Knapen F, Noeckler K, Schenone H, Zhu X. International Commission on Trichinellosis: recommendations on methods for the control of *Trichinella* in domestic and wild animals intended for human consumption. *Vet Parasitol.* 2000 Dec 1;93(3-4):393–408.
31. Gajadhar AA, Forbes LB. An internationally recognized quality assurance system for diagnostic parasitology in animal health and food safety, with example data on trichinellosis. *Vet Parasitol.* 2002 Jan 3;103(1-2):133–40.
32. Nöckler K, Hamidi A, Fries R, Heidrich J, Beck R, Marinculic A. Influence of methods for *Trichinella* detection in pigs from endemic and non-endemic European region. *J Vet Med B Infect Dis Vet Public Health.* 2004 Aug;51(6):297–301.
33. Forbes LB, Gajadhar AA. A validated *Trichinella* digestion assay and an associated sampling and quality assurance system for use in testing pork and horse meat. *J Food Prot.* 1999 Nov;62(11):1308–13.
34. Forbes LB, Parker S, Scandrett WB. Comparison of a modified digestion assay with trichinoscopy for the detection of *Trichinella* larvae in pork. *J Food Prot.* 2003 Jun;66(6):1043–6.
35. Beck R, Mihaljević Z, Marinculić A. Comparison of trichinelloscopy with a digestion method for the detection of *Trichinella* larvae in muscle tissue from naturally infected pigs with low level infections. *Vet Parasitol.* 2005 Sep 5;132(1-2):97–100.
36. OIE. terrestrial animal code , 16th edition. chapter 2.2.9. Trichinellosis. Office International des Epizoties, Paris, France. 2007.
37. EFSA. Opinion of the Scientific Panel on biological hazards (BIOHAZ) on the “Request for an opinion on the feasibility of establishing *Trichinella*-free areas, and if feasible on the risk increase to public health of not examining pigs from those areas for *Trichinella* spp.”[Internet].2005.Availablefrom:
<http://www.efsa.europa.eu/fr/efsajournal/doc/277.pdf>
38. Frey CF, Schuppers ME, Nöckler K, Marinculić A, Pozio E, Kihm U, Gottstein B. Validation of a Western Blot for the detection of anti-*Trichinella* spp. antibodies in domestic pigs. *Parasitol Res.* 2009 Jun;104(6):1269–77.
39. Pozio E, Sofronic-Milosavljevic L, Gomez Morales MA, Boireau P, Nöckler K. Evaluation of ELISA and Western Blot Analysis using three antigens to detect anti-*Trichinella* IgG in horses. *Vet Parasitol.* 2002 Sep 10; 108(2):163–78.

40. Yera H, Andiva S, Perret C, Limonne D, Boireau P, Dupouy-Camet J. Development and evaluation of a Western blot kit for diagnosis of human trichinellosis. *Clin Diagn Lab Immunol.* 2003 Sep;10(5):793–6.
41. Ariane Payne et coll. Programme de surveillance de la trichinellose dans la faune sauvage en 2009-2010. Rapport final.
42. Pozio E. World distribution of *Trichinella* spp. infections in animals and humans. *Vet Parasitol.* 2007 Oct 21; 149(1-2):3–21.
43. Liciardi M, Marucci G, Addis G, Ludovisi A, Gomez Morales MA, Deiana B, Cabaj W, Pozio E. *Trichinella britovi* and *Trichinella spiralis* mixed infection in a horse from Poland. *Vet Parasitol.* 2009 May 12; 161(3-4):345–8.
44. Blaga R, Durand B, Antoniu S, Gherman C, Cretu CM, Cozma V, Boireau P. A dramatic increase in the incidence of human trichinellosis in Romania over the past 25 years: impact of political changes and regional food habits. *Am J Trop Med Hyg.* 2007 May;76(5):983–6.
45. Stärk KD, Regula G, Hernandez J, Knopf L, Fuchs K, Morris RS, Davies P. Concepts for risk-based surveillance in the field of veterinary medicine and veterinary public health: review of current approaches. *BMC Health Serv Res.* 2006 Feb 28; 6(20):1–8.
46. Cameron, A.R. Risk-based disease surveillance: a manual for veterinarians. Rome, Italy: The Food and Agriculture Organisation of the United Nations (FAO) Viale delle Terme di Caracalla; 2009.
47. Alban L, Pozio E, Boes J, Boireau P, Boué F, Claes M, Cook AJ, Dorny P, Enemark HL, van der Giessen J, Hunt KR, Howell M, Kirjusina M, Nöckler K, Rossi P, Smith GC, Snow L, Taylor MA, Theodoropoulos G, Vallée I, Viera-Pinto MM, Zimmer IA. Towards a standardised surveillance for *Trichinella* in the European Union. *Prev Vet Med.* 2011 May 1; 99(2-4):148–60.
48. EFSA. Opinion of the Scientific Panel on biological hazards (BIOHAZ) on the on the “Risk assessment of a revised inspection of slaughter animals in areas with low prevalence of *Trichinella*.”2005.
49. Comité Scientifique de l’agence fédérale pour la Sécurité de la Chaîne Alimentaire. Evaluation de risque de *Trichinella* en Belgique. Avis 23. 2009.
50. Gamble HR, Pozio E, Bruschi F, Nöckler K, Kapel CM, Gajadhar AA. International Commission on Trichinellosis: recommendations on the use of serological tests for the detection of *Trichinella* infection in animals and man. *Parasite.* 2004 Mar;11(1):3–13.
51. Vallée I, Macé P, Forbes L, Scandrett B, Durand B, Gajadhar A, Boireau P. Use of proficiency samples to assess diagnostic laboratories in France performing a *Trichinella* digestion assay. *J Food Prot.* 2007 Jul; 70(7):1685–90.
52. Aoun O, Lacour SA, Levieuge A, Marié JL, Vallée I, Davoust B. Screening for *Trichinella britovi* infection in red fox (*Vulpes vulpes*) and wild boar (*Sus scrofa*) in southeastern France. *J Wildl Dis.* 2012 Jan; 48(1):223–5.

53. More SJ, Cameron AR, Greiner M, Clifton-Hadley RS, Rodeia SC, Bakker D, Salman MD, Sharp JM, De Massis F, Aranaz A, Boniotti MB, Gaffuri A, Have P, Verloo D, Woodford M, Wierup M. Defining output-based standards to achieve and maintain tuberculosis freedom in farmed deer, with reference to member states of the European Union. *Prev Vet Med.* 2009 Aug 1; 90(3-4):254–67.
54. Vanderstichel R, Christensen J, Stryhn H, Hurnik D. Standards for reporting surveillance information in freedom from infection models by example of *Trichinella* in Canadian market hogs. *Prev Vet Med.* 2013 Aug 1;111(1-2):176–80.

**COMMISSION REGULATION (EU) No 216/2014
of 7 March 2014**

**amending Regulation (EC) No 2075/2005 laying down specific rules on official controls for
Trichinella in meat**

(Text with EEA relevance)

THE EUROPEAN COMMISSION,

Having regard to the Treaty on the Functioning of the European Union,

Having regard to Regulation (EC) No 854/2004 of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 laying down specific rules for the organisation of official controls on products of animal origin intended for human consumption⁽¹⁾, and in particular points 6, 8, 10 and 12 of Article 18 thereof,

Whereas:

- (1) Commission Regulation (EC) No 2075/2005 of 5 December 2005 laying down specific rules on official controls for *Trichinella* in meat⁽²⁾ lays down rules for the sampling of carcasses of species susceptible to *Trichinella* infection, for the determination of the status holdings and regions and conditions for import of meat into the Union. It also provides for reference methods and equivalent methods of detection of *Trichinella* in samples of carcasses.
- (2) The European Food Safety Authority (EFSA) adopted on 3 October 2011 a Scientific Opinion on the public health hazards to be covered by inspection of meat (swine)⁽³⁾. In that opinion EFSA identified *Trichinella* as a medium risk for public health related to the consumption of pig meat and concludes that with respect to inspection methods for biological hazards, a pork carcass safety assurance, with a range of preventive measures and controls applied both on-farm and at slaughterhouse in an integrated way is the only way to ensure an effective control of the main hazards.
- (3) EFSA identified certain epidemiological indicators in relation to *Trichinella*. Depending on the purpose and the epidemiological situation of the country the indicators may be applied at national, regional, slaughterhouse or holding level.
- (4) EFSA recognises the sporadic presence of *Trichinella* in the Union, mainly in free-ranging and backyard pigs. EFSA also identified that the type of production system is the single main risk factor for *Trichinella* infections. In addition, available data demonstrate that the risk of *Trichinella* infection in pigs from officially recognised controlled housing conditions is negligible.
- (5) A negligible risk status for a country or region is no longer recognised in an international context by the World Animal Health Organisation (OIE). Instead, such recognition is linked to compartments of one or more holdings applying specific controlled housing conditions.
- (6) For reasons of consistency with international standards, and in order to enhance a control system in accordance with the actual public health risks, the *Trichinella* risk mitigation measures, including import conditions, at slaughterhouses and the conditions for determination of the *Trichinella* infection status of countries, regions or holdings should be adapted, rationalised and simplified.
- (7) Belgium and Denmark notified in 2011 a *Trichinella* negligible risk for their territory in accordance with Regulation (EC) No 2075/2005. Such negligible risk status for a country or region is however no longer recognised. Nevertheless, holdings and compartments in Belgium and Denmark which comply with the conditions for controlled housing at the date of entry into force of this Regulation should be allowed to apply the derogation for such holdings and compartments without additional prerequisites such as further requirements of post-official recognition by the competent authority.
- (8) The EU Reference Laboratory for parasites has recommended clarifying the text of the Regulation in relation to the procedure of certain equivalent methods for *Trichinella* testing.
- (9) It should be provided that the operators must ensure that dead animals are collected, identified and transported without undue delay in accordance with Articles 21 and 22 of Regulation (EC) No 1069/2009 of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 laying down health rules as regards animal by-products and derived products not intended for human consumption and repealing Regulation (EC) No 1774/2002 (Animal by-products Regulation)⁽⁴⁾ and with Annex VIII to Commission Regulation (EU) No 142/2011 of 25 February 2011 implementing Regulation (EC) No 1069/2009 of the European Parliament and of the Council laying down health rules as regards animal by-products and derived products not intended for human consumption and implementing Council Directive 97/78/EC as regards certain samples and items exempt from veterinary checks at the border under that Directive⁽⁵⁾.

⁽¹⁾ OJ L 139, 30.4.2004, p. 206.

⁽²⁾ OJ L 338, 22.12.2005, p. 60.

⁽³⁾ EFSA Journal 2011; 9(10):2351(198 pp.), published 3 October 2011.

⁽⁴⁾ OJ L 300, 14.11.2009, p. 1.

⁽⁵⁾ OJ L 54, 26.2.2011, p. 1.

Résumé

Nous avons évalué le système de surveillance de la trichinellose en France en estimant sa sensibilité (SeSS) au-dessus du seuil de prévalence spécifié de 0,0001% et en déterminant la probabilité que la population porcine soit indemne (PrInd) de *trichinella spp* sur des données historiques de surveillance (1997-2012). Deux scénarios (schémas) de surveillance ont été simulés et comparés : 1) la surveillance recommandée par la commission européenne et découlant du règlement (CE) N° 2075/2005 et 2) la surveillance basée sur le risque. Dans le scénario 1 tous les porcs abattus sont systématiquement testés ; tandis que dans le scénario 2, seuls les porcs plein-air et reproducteurs (plus à risque que les porcs hors-sol et charcutiers) sont testés en totalité. La surveillance basée sur le risque attribue des valeurs risques relatifs (risque d'infection dans la catégorie la plus à risque par rapport au risque d'infection dans la catégorie à faible risque) aux différentes catégories de porcs.

Le scénario de la commission européenne (CE) N° 2075/2005 permet de tester 34 822 695 porcs alors que la surveillance basée sur le risque ne teste que 356 714 porcs (France continentale). Pour le scénario 1 (CE N° 2075/2005), la probabilité d'être indemne de *Trichinella spp* dans la population porcine est en moyenne de 94,5% (IC 95% : 87,4-98,66%) en 2012 avec une SeSS égale à 100% dès 1997 (France continentale). Dans la surveillance basée sur le risque, une SeSS optimale de 98% et une PrInd moyenne de 94,37% (IC95%, 87,01-98,53%) sont atteintes en 2012 pour une combinaison de risques relatifs égale à 5 respectivement pour les porcs plein-air et reproducteurs. En outre, la surveillance basée sur le risque, pour la même probabilité d'être indemne, permet ratio coût bénéfice de 17 393 512 euros sur 17 411 347 euros investis dans le scénario 1 (CE N° 2075/2005) par les analyses des échantillons de viande au laboratoire.

Mots clés : *Trichinella spp*, Commission européenne, surveillance basée sur le risque, sensibilité du système de surveillance, probabilité d'être indemne.