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

ISSN 1810-0716

Directives relatives à la lutte durable contre les tiques et à la gestion de la résistance aux acaricides dans le secteur de l'élevage

FAO: PRODUCTION ET SANTÉ ANIMALES / **DIRECTIVES 38**

Directives relatives à la lutte durable contre les tiques et à la gestion de la résistance aux acaricides dans le secteur de l'élevage

Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
Rome, 2025

Citer comme suit:
FAO. 2025. *Directives relatives à la lutte durable contre les tiques et à la gestion de la résistance aux acaricides dans le secteur de l'élevage*. FAO: Production et santé animales – Directives, No. 38. Rome.
https://doi.org/10.4060/cd4964fr

Les appellations employées dans ce produit d'information et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) aucune prise de position quant au statut juridique ou au stade de développement des pays, territoires, villes ou zones ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites. Les lignes pointillées sur les cartes représentent des frontières approximatives dont le tracé peut ne pas avoir fait l'objet d'un accord définitif. Le fait qu'une société ou qu'un produit manufacturé, breveté ou non, soit mentionné ne signifie pas que la FAO approuve ou recommande ladite société ou ledit produit de préférence à d'autres sociétés ou produits analogues qui ne sont pas cités.

ISBN 978-92-5-140232-0
© FAO, 2025

Certains droits réservés. Cette œuvre est mise à la disposition du public selon les termes de la licence Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0: https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode.fr).

Selon les termes de cette licence, cette œuvre peut être copiée, diffusée et adaptée, sous réserve que la source soit mentionnée. Lorsque l'œuvre est utilisée, rien ne doit laisser entendre que la FAO cautionne une quelconque organisation ou un quelconque produit ou service. L'utilisation du logotype de la FAO n'est pas autorisée. Si l'œuvre est traduite, la traduction doit obligatoirement être accompagnée de la mention de la source ainsi que de la clause de non-responsabilité suivante: «La traduction n'a pas été réalisée par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). La FAO n'est pas responsable du contenu ni de l'exactitude de la traduction. L'édition originale [en langue anglaise] est celle qui fait foi.»

Tout différend, litige ou réclamation découlant de la présente licence ou y relatif/relative sera réglé(e) de gré à gré par les parties. Si celles-ci ne parviennent pas à s'entendre sur l'une des questions objet du différend ni sur un mode de règlement autre que l'arbitrage, l'une ou l'autre partie est en droit de demander que la question soit tranchée par voie d'arbitrage conformément au Règlement d'arbitrage de la Commission des Nations Unies pour le droit commercial international (CNUDCI). Les parties acceptent d'être liées par la sentence arbitrale rendue conformément au règlement susmentionné, qui réglera définitivement leur différend.

Matériel attribué à des tiers. Il incombe aux utilisateurs souhaitant réutiliser des informations ou autres éléments contenus dans cette œuvre qui sont attribués à un tiers, tels que des tableaux, des figures ou des images, de déterminer si une autorisation est requise pour leur réutilisation et d'obtenir le cas échéant la permission de l'ayant-droit. Toute action qui serait engagée à la suite d'une utilisation non autorisée d'un élément de l'œuvre sur lequel une tierce partie détient des droits ne pourrait l'être qu'à l'encontre de l'utilisateur.

Photographies attribuées à la FAO. Les photographies présentées dans cette œuvre et attribuées à la FAO ne sont pas couvertes par la licence Creative Commons mentionnée ci-dessus. Toute demande relative à l'utilisation de photographies appartenant à la FAO doit être adressée par courriel à photo-library@fao.org.

Ventes, droits et licences. Les produits d'information de la FAO sous forme électronique, ainsi que la liste des distributeurs auprès desquels peuvent être achetés des exemplaires imprimés de ces produits, sont disponibles sur le site web de la FAO (www.fao.org/publications). Pour toute question d'ordre général sur les publications de la FAO, prière d'écrire à publications-sales@fao.org. Les questions relatives aux droits et licences sur les publications doivent être adressées à copyright@fao.org.

Table des matières

Personnes ayant contribué à l'élaboration du document vi
Remerciements viii
Avant-propos x
Sigles et acronymes xii
Glossaire xiii

PARTIE 1
Infestations du bétail par les tiques 1
Biologie des tiques 1
Fardeau des tiques, maladies transmises par les tiques et résistance aux acaricides 1
Répartition et importance 1
Fardeau économique 6

PARTIE 2
Acaricides de synthèse et menace de la résistance aux acaricides 8
Produits acaricides de synthèse 8
Cadre réglementaire 12
Exigences réglementaires pour l'évaluation de la qualité des acaricides 12
Exigences réglementaires pour l'évaluation de la sécurité sanitaire des acaricides 13
Exigences réglementaires pour l'évaluation de l'efficacité des acaricides 14
Exigences spécifiques pour l'enregistrement des acaricides génériques 14
Accès aux acaricides et utilisation sur le terrain 15
Généralités 15
Accès aux acaricides et utilisation en Amérique centrale et en Amérique du Sud 15
Accès aux acaricides et utilisation en Amérique du Nord 16
Accès aux acaricides et utilisation en Europe 16
Accès aux acaricides et utilisation dans l'Union économique et monétaire ouest-africaine (UEMOA) 17
Accès aux acaricides et utilisation en Afrique orientale et australe 18
Accès aux acaricides et utilisation en Afrique du Nord 18
Accès aux acaricides et utilisation en Asie (Inde) 19
Accès aux acaricides et utilisation en Océanie 19
Résistance aux acaricides chez les tiques du bétail 20
Chronologie des introductions d'acaricides et des premiers signalements de tiques résistantes 20
Situation actuelle de la résistance aux acaricides par zone géographique 21
Mécanismes de la résistance aux acaricides 23
Mode de transmission héréditaire de la résistance aux acaricides 23
Facteurs influant sur la vitesse d'apparition de la résistance aux acaricides 24
Méthodes actuelles de diagnostic et de surveillance de la résistance aux acaricides 25
Test du paquet larvaire (larval packet test [LPT]) *25*
Test par immersion de larves (larval immersion test [LIT]) *25*
Test par immersion d'adultes (adult immersion test [AIT]) *25*
Autres méthodes de détection de la résistance *26*
Interprétation des résultats *26*
Futures méthodes de diagnostic et de surveillance de la résistance aux acaricides 26
Test d'intensité de la résistance *26*
Tests moléculaires *27*

Menace présentée par les acaricides pour la santé et le bien-être des animaux, la santé publique et l'environnement 27
Voies et dangers potentiels de l'exposition aux acaricides 27
Danger et toxicité des acaricides pour la santé humaine 28
Santé et bien-être des animaux 29
Incidences sur l'environnement 29

PARTIE 3
Gestion durable des tiques 30
Objectifs de la gestion des tiques 30
Systèmes de production bovine 30
Gestion de la production animale 31
Gestion nutritionnelle 31
Sélection d'hôtes résistants aux tiques et aux maladies transmises par les tiques 31
Biosécurité 32
Pratiques en matière de lutte contre les tiques 32
Traitement suppressif 32
Traitement opportuniste 32
Programmes stratégiques 32
Détermination de seuils de nuisibilité économique et utilisation de traitements sélectifs 33
Stratégies de gestion de la résistance aux acaricides 33
Modération et saturation 34
Rotation des acaricides 34
Mélanges d'acaricides (produits de combinaison) et synergies 35
Lutte non chimique contre les tiques 35
Vaccins anti-tiques 35
Lutte biologique 36
Retrait manuel des tiques 36
Gestion environnementale 36
Gestion des pâturages et intégration ou alternance pâturages/cultures agricoles 37
Brûlage pastoral 37
Futures méthodes alternatives de lutte contre les tiques 38
Espèces végétales défavorables aux tiques 38
Champignons entomopathogènes 38
Nématodes entomopathogènes 38
Produits végétaux et métabolites secondaires 39
Exigences réglementaires pour les produits non chimiques de lutte contre les tiques 40
Gestion intégrée des tiques 40
Facteurs à prendre en compte dans la mise en œuvre 40
Obstacles à la mise en œuvre de la gestion intégrée des tiques et éléments essentiels influant sur son succès ou son échec 40
Intégration des sciences sociales et comportementales dans les stratégies de lutte contre la résistance aux acaricides 42

PARTIE 4
Feuille de route collective pour la lutte durable contre les tiques et la gestion de la résistance aux acaricides dans le secteur de l'élevage 44
Vision, ambitions globales et objectifs clés 44
Agenda de recherche 48

Bibliographie 52

Figures

1. Cartes de la répartition des espèces de tiques du bétail ayant les incidences économiques les plus importantes 2
2. Accès aux acaricides et circuits de leur commercialisation dans la plupart des pays d'Amérique latine 16
3. Accès aux acaricides et circuits de leur commercialisation en Afrique 17
4. Chronologie des premiers signalements de tiques résistantes après la commercialisation de diverses classes chimiques d'acaricides, ou de leurs produits représentatifs, pour traiter du bétail infesté 20
5. Carte de la répartition mondiale des signalements de résistances aux acaricides concernant des tiques du bétail à un hôte *(R. (B.) annulatus*, *R. (B.) decoloratus*, *R. (B.) microplus*, *R. (B.) australis)*, et des tiques du bétail à plusieurs hôtes (*A. hebraeum*, *A. mixtum*, *A. variegatum*, *H. anatolicum*, *H. dromedarii*, *H. marginatum*, *Ha. longicornis*, *R. appendiculatus*, *R. bursa*, *R. evertsi*) 22
6. Principaux facteurs contribuant à accélérer la sélection des tiques résistantes aux acaricides dans une exploitation agricole 24
7. Voies et dangers potentiels de l'exposition aux acaricides 28
8. Connaissances de base pour la conception d'un programme de lutte intégrée contre les tiques 41

Tableaux

1. Complexes espèce de tiques pathogène (maladie) ayant les incidences économiques les plus importantes chez le bétail dans le monde 6
2. Caractéristiques des ingrédients pharmaceutiques actifs (principes actifs) courants dont l'utilisation est actuellement autorisée pour lutter contre les tiques 9
3. Mécanismes moléculaires déjà caractérisés de la résistance aux acaricides chez les tiques du bétail 23
4. Seuils de dommage économique utilisés pour déclencher l'application de traitements sélectifs contre *R. (B.) microplus* dans certains pays 33
5. Périodes de repos des pâturages permettant de lutter efficacement contre *R. (B.) microplus* dans certains pays 37

Un *document technique* fournissant des informations techniques et pratiques complémentaires est joint en supplément.

Personnes ayant contribué à l'élaboration du document

Groupe d'experts international de la FAO:

Renato Andreotti, Société brésilienne de recherche agricole (Embrapa), Brésil
David Kalenzi Atuhaire, Université de Makerere, Ouganda
Adelaide Ayoyi, Alliance mondiale pour les médicaments vétérinaires destinés au bétail (GALVmed), Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord
Abel Biguezoton, Centre international de recherche-développement sur l'élevage en zone subhumide (Cirdes), Burkina Faso
Anica Buckel, FAO, Kenya
Chandra Bhushan, Elanco Santé animale (retraité), Allemagne
Mark Caudell, FAO, Kenya
Jenny Chaparro-Gutierrez, Universidad de Antioquia, Colombie
Cyrille Chevtzoff, Ceva Santé Animale, France
Livio Costa-Junior, Université fédérale de Maranhão, Brésil
José de la Fuente, SaBio, IREC, Conseil supérieur de la recherche scientifique, Espagne
Kululeko Dube, FAO, Sierra Leone
Alec Evans, Clinglobal, Maurice
Souaibou Farougou, École polytechnique d'Abomey-Calavi, Bénin
Andrés García Campos, Organisation mondiale de la santé animale (OMSA), France
Srikanta Ghosh, Institut indien de recherche vétérinaire, Inde
Naftaly Githaka, Institut international de recherches sur l'élevage (ILRI), Kenya
Patricia Golo, Université rurale fédérale de Rio de Janeiro, Brésil
Lenaig Halos, Fondation Gates, États-Unis d'Amérique
Thomas Hue, Institut agronomique néo-calédonien, Nouvelle-Calédonie, France
Frans Jongejan, Université de Pretoria, Afrique du Sud
Nicholas Jonsson, Université de Glasgow, Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord
Guilherme Klafke, Instituto de Pesquisas Veterinárias Desidério Finamor, Governo do Estado do Rio Grande do Sul, Brésil
Laetitia Lempereur, FAO, Italie
Maxime Madder, Clinglobal, la République de Maurice
Suman Mahan, Zoetis, États-Unis d'Amérique
Christine Maritz-Olivier, Université de Pretoria, Afrique du Sud
Ramnosy Mbayimbayi, Centre de santé animale et Livestock Development Trust, Zimbabwe
Robert Miller, Service de recherche agricole du Département de l'agriculture des États-Unis (USDA-ARS), États-Unis d'Amérique
Marcelo Molento, Universidade Federal do Paraná, Departamento de Medicina Veterinária, Brésil
Dennis Muhanguzi, Université de Makerere, Ouganda
Lois Muraguri, Alliance mondiale pour les médicaments vétérinaires destinés au bétail (GALVmed), Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord
Mercy Murigu, Secrétariat d'État à l'élevage, Kenya
Faith Mutavi, Université Kenyatta, Kenya
Yakob Nagagi, Autorité tanzanienne chargée de la santé des végétaux et des pesticides, République-Unie de Tanzanie
Felix Nchu, Université de technologie de la péninsule du Cap, Afrique du Sud
Achille Ouedraogo, Université de Dedougou, Burkina Faso

Adalberto Perez de Leon, USDA-ARS, États-Unis d'Amérique
Roger Ivan Rodríguez-Vivas, Universidad Autonoma de Yucatan, Mexique
Gustavo Sabatini, Boehringer Ingelheim Santé animale, Allemagne
Caryn Shacklock, Afrivet, Afrique du Sud
Nirbhay Kumar Singh, Université Guru Angad Dev des sciences vétérinaires et animales, Inde
Maria Szabo, OMSA, France
Alicja Tabor, Université du Queensland, Australie
Zati Vatansever, Université Kafkas, Türkiye
Patrick Vudriko, Université de Makerere, Ouganda

Cheffe de projet:
Laetitia Lempereur, FAO, Groupe chargé de l'approche «Une seule santé» et de la lutte contre les maladies, Rome (Italie)

Remerciements

Les directives de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) relatives à la lutte durable contre les tiques et à la gestion de la résistance aux acaricides dans le secteur de l'élevage ont été élaborées par un groupe d'experts internationaux qui a travaillé en concertation avec les membres de la communauté de pratique de la FAO sur la gestion de la résistance aux acaricides des tiques du bétail. La Division de la production et de la santé animales de la FAO exprime sa reconnaissance aux nombreuses personnes et institutions ayant participé à l'élaboration des directives, pour les précieux avis et observations qu'elles ont fournis à l'occasion des réunions, entretiens et consultations, et pour leur contribution à la rédaction et à l'examen du document final.

La FAO souhaite saluer l'appui apporté par l'équipe de direction chargée de la résistance aux acaricides:
Junxia Song, Fonctionnaire principale chargée de la santé animale, Rome (Italie)
Keith Sumption, Vétérinaire en chef (retraité), Rome (Italie)
Weining Zhao, Fonctionnaire principal chargé de la santé animale (retraité), Rome (Italie)

L'équipe de la FAO chargée de la communication:
James Edge, Enrico Masci, Giada Semeraro, siège de la FAO, Rome (Italie)

Le Bureau du changement climatique, de la biodiversité et de l'environnement (FAO)
La Division de la production végétale et de la protection des plantes (FAO)
Terres et eaux (FAO)
L'Unité de la sécurité sanitaire et de la qualité des aliments (FAO)
Le Comité mixte FAO/Organisation mondiale de la Santé (OMS) d'experts des additifs alimentaires (JECFA)
La Réunion conjointe sur les résidus de pesticides (JMPR)
Les bureaux de pays et bureaux régionaux de la FAO
L'OMS, Unité de la lutte contre les vecteurs et de la résistance aux insecticides, Équipe chargée des pathogènes d'apparition récente et des pathogènes dangereux, Équipe chargée de la fièvre hémorragique virale, Genève (Suisse)

Les centres collaborateurs de l'OMSA:

- Hicham Ait Lbacha, Laetitia Leletty, Nathalie Bridoux, Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES), France
- Food and Drug Administration (administration des États-Unis chargée des produits alimentaires et pharmaceutiques), Centre des médicaments vétérinaires, États-Unis d'Amérique
- Assiongbon Teko-Agbo, École inter-États des sciences et médecine vétérinaires (EISMV), Sénégal
- Christo Hilan, Université Saint-Esprit de Kaslik, Liban

Health for Animals, Belgique
Louise Achi, Centre suisse de recherche scientifique (CSRS); Marcel Boka, Université Alassane Ouattara, Côte d'Ivoire
Hassane Adakal, Centre régional de santé animale, Communauté économique des États de l'Afrique de l'Ouest (CEDEAO), Mali
Safiou Adehan, Institut national des recherches agricoles du Bénin (INRAB); Roland Eric Yessinou, Université d'Abomey-Calavi, Bénin
Heather Burrow, Université de Nouvelle Angleterre, Australie
Fernando Cardoso, Embrapa, Brésil
Latifa Elhachimi, Johannes Charlier, Kreavet, Belgique

Agustín Estrada-Peña, Consultant principal permanent auprès du ministère de la Santé, Espagne
Oubri Bassa Gbati, EISMV, Sénégal
Mohamed Gharbi, École nationale de médecine vétérinaire de Sidi Thabet, Tunisie
Roaland Jooste, Elanco, Afrique du Sud
Natalie Leo et Ralph Stutchbury, Gouvernement du Queensland, Département de l'agriculture et de la pêche, Australie
Santiago Nava, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Argentine
Ard Nijhof, Freie Universität, Allemagne
Valentin Nicorescu, Agence européenne des médicaments, Royaume des Pays-Bas
Martina Nocerino et Laura Rinaldi, Université de Naples Federico II, Italie
Nkululeko Nyangiwe, College of Agriculture and Environmental Sciences, Université d'Afrique du Sud, Afrique du Sud
James Occi, Rutgers Sebs, États-Unis d'Amérique
Valeria Paucar, Claude Saegerman, Université de Liège, Belgique
Ximena Pérez-Otáñez, Université catholique de Louvain, Belgique; Universidad Central del Ecuador, Équateur
Nick Sangster, Australie
Frédéric Stachurski, Jennifer Pradel, Marlène Dupraz, Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad), France
Muriel Vayssier-Taussat, Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE), France
Richard Wall, Université de Bristol, Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord
Les autorités de réglementation des médicaments à usage vétérinaire de l'Argentine, de l'Australie, du Burundi, de la Colombie, de la Commission de l'Union économique et monétaire ouest-africaine (UEMOA), des États-Unis d'Amérique, de la France, de l'Inde, du Kenya, du Maroc, du Mexique, de la République-Unie de Tanzanie, du Rwanda et de l'Union européenne (Agence européenne des médicaments [EMA]).
Les services vétérinaires nationaux de l'Allemagne, de l'Australie, de l'Autriche, de Chypre, de la Côte d'Ivoire, de la Croatie, du Danemark, de l'Égypte, de l'Équateur, de la Finlande, de la Grèce, du Kenya, du Maroc, du Portugal, de la République-Unie de Tanzanie, de la Roumanie, du Rwanda, de la Slovaquie, de la Slovénie, de la Suède et de l'Uruguay.

Les membres de la communauté de pratique de la FAO sur la gestion de la résistance aux acaricides des tiques du bétail.

La Fondation Gates a apporté un soutien financier à ces travaux.

Avant-propos

Le parasitisme compte au nombre des barrières empêchant la production animale d'être rentable et durable. En 2022, la population bovine mondiale était estimée à 1,5 milliard d'animaux, avec une production de viande bovine et de lait affichant une croissance constante et régulière (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture [FAO], 2023), mais les maladies parasitaires continuent à compromettre la santé et le bien-être du cheptel et à peser sur l'économie du secteur de l'élevage et le commerce des animaux et des produits d'origine animale.

Parmi ces parasites, figurent les tiques. Celles-ci provoquent des pertes importantes dans le secteur de la production animale, et ce, de plusieurs façons. Le plus souvent, elles transmettent des agents pathogènes qui sont à l'origine de maladies aiguës et asymptomatiques susceptibles d'entraîner la mort, de faire baisser la production de lait et de viande, de réduire la production de fumier et d'affaiblir la capacité de traction animale. Les tiques et les maladies qu'elles transmettent sont présentes partout dans le monde, mais plus spécialement dans les régions tropicales et subtropicales, où elles ont des incidences particulièrement marquées sur les moyens de subsistance des petits producteurs. Les modèles laissent prévoir qu'en raison du changement climatique, le fardeau des tiques augmentera à l'échelle mondiale au cours des prochaines décennies, rendant le problème encore plus pressant (Cumming et Van Vuuren, 2006; Marques *et al.*, 2020; Olwoch *et al.*, 2008).

La production animale est soutenue en majeure partie par l'administration de médicaments antiparasitaires, lesquels représentent le deuxième plus grand segment du marché mondial dans le secteur de la santé animale, après les vaccins (Selzer et Epe, 2021). La lutte contre les tiques dépend quasi entièrement d'acaricides de synthèse commerciaux, qui appartiennent à un nombre limité de classes de composés et sont utilisés sous diverses formes sur les animaux infestés. L'exposition généralisée aux acaricides, aggravée par les mauvaises pratiques d'application, l'utilisation de produits de qualité douteuse et l'absence de mise en œuvre de stratégies visant à atténuer la résistance aux acaricides ont favorisé la sélection de souches résistantes dans les populations de tiques. En conséquence, le secteur de l'élevage est confronté à une recrudescence des tiques et des maladies transmises par celles-ci partout où les tiques ont développé une résistance. La résistance des tiques du bétail a été signalée en lien avec quasiment toutes les classes d'acaricides, entraînant des pertes économiques pour les producteurs de bovins dans le monde entier. Outre le bien-être animal, les risques sanitaires et les pertes de production, les autres effets associés potentiels sont les problèmes de sécurité sanitaire des aliments liés à la présence éventuelle de résidus, l'utilisation croissante d'antimicrobiens, la transmission de pathogènes aux humains, l'exposition des utilisateurs à la toxicité et la pollution qui nuit à la santé des écosystèmes et à la biodiversité. Pour être en mesure de mener une action de prévention et de lutte efficace et durable contre, à la fois, les tiques, les maladies transmises par les tiques et la résistance aux acaricides, tout en garantissant par ailleurs une production animale durable et en répondant au besoin d'adaptation éventuel de ce secteur, une approche «Une seule santé» est nécessaire.

Aujourd'hui, la situation est critique. La mise au point de nouveaux produits pharmaceutiques à usage vétérinaire dans le secteur de la production animale est un processus long et onéreux. Dans ce contexte, il est encore plus essentiel de mettre en place un parcours collectif comprenant des programmes de gestion efficaces axés sur la réduction de l'utilisation excessive ou inappropriée de ces produits, permettant le ralentissement de l'apparition de résistances.

L'intérêt de la FAO pour la question de la résistance aux agents antiparasitaires remonte à 1984. En 1997, la FAO a créé un groupe de travail d'experts permanent, qui a été chargé de donner des avis sur la gestion de la résistance et la lutte intégrée contre les parasites. En 2004, la FAO a publié des directives sur la gestion de la résistance et la lutte intégrée contre les parasites des ruminants. Depuis lors, le nombre d'articles scientifiques sur la résistance aux produits antiparasitaires, en particulier ceux contre les tiques, a grimpé en flèche, témoignant de l'intérêt croissant pour cette question et de l'importance de celle-ci. La FAO a organisé une consultation d'experts en ligne les 9 et 10 novembre 2021

(FAO, 2022a; FAO 2022b), sur la gestion durable des parasites du bétail face à l'émergence de résistances partout dans le monde. Les experts ont souligné la gravité de la situation et insisté sur la nécessité de considérer cette question comme un domaine de travail prioritaire. En application des recommandations formulées à l'issue de cette consultation virtuelle, un groupe central d'experts internationaux a été créé pour élaborer des directives actualisées relatives à la lutte durable contre les tiques et à la gestion de la résistance aux acaricides dans le secteur de l'élevage en vue d'harmoniser les recommandations à l'échelle mondiale. De même, l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) et l'Organisation mondiale de la santé animale (OMSA) ont publié des recommandations relatives à la lutte contre la résistance aux insecticides et à la lutte contre la résistance aux anthelmintiques, respectivement. En outre, une communauté de pratique de la FAO sur la gestion de la résistance aux acaricides des tiques du bétail a été créée en 2023. Il s'agit d'une communauté internationale inclusive qui rassemble les parties prenantes compétentes issues de différents secteurs et disciplines pour définir et promouvoir une vision commune fondée sur l'approche «Une seule santé». La communauté contribue à la mise en œuvre d'une gestion intégrée des tiques et de la résistance aux acaricides dans le secteur de l'élevage et appuie l'élaboration des présentes directives.

Nous espérons que ces directives seront utiles en permettant à autant de parties prenantes que possible de soutenir les agriculteurs et les communautés qui subissent les conséquences des tiques du bétail. Le document s'adresse tout particulièrement aux consultants, aux vétérinaires, aux auxiliaires de santé animale, au personnel commercial et technique des entreprises pharmaceutiques vétérinaires et aux fonctionnaires nationaux pour les aider dans leur tâche. Nous sommes persuadés que ces directives contribueront à guider les activités de chacun et à encourager la coopération entre toutes les parties prenantes, à l'appui de la conception conjointe de solutions durables sur les plans économique, social et environnemental, de nature à renforcer l'efficacité et la résilience des systèmes agroalimentaires.

Sigles et acronymes

AChE	acétylcholinestérase
AIT	adult immersion test
CL_{50}	concentration létale qui tue 50 pour cent de la population
CVMP	Comité des médicaments à usage vétérinaire
DJA	dose journalière admissible
EMA	Agence européenne des médicaments
EPF	champignon entomopathogène
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
GABA	acide gamma-aminobutyrique
GluCl	canal chlorure glutamate-dépendant
IA	intelligence artificielle
IRAC	comité de lutte contre la résistance aux insecticides (Insecticide Resistance Action Committee)
JECFA	Comité mixte FAO/OMS d'experts des additifs alimentaires
JMPR	Réunion conjointe FAO/OMS sur les résidus de pesticides
kdr	résistance par mutation «knock-down resistance»
LIT	larval immersion test
LMR	limite maximale de résidus
LPT	larval packet test
LTT	larval tarsal test
m-LIT	microcentrifuge tubes-larval immersion test
NPE	nématode entomopathogène
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
OMS	Organisation mondiale de la Santé
OMSA	Organisation mondiale de la santé animale
p.c.	poids corporel
PBO	butoxyde de pipéronyle
PMD	p-menthane-3,8-diol
SIT	syringe immersion test
spp.	espèces
UEMOA	Union économique et monétaire ouest-africaine
USD	dollar des États-Unis
VICH	Coopération internationale pour l'harmonisation des exigences techniques pour l'enregistrement des médicaments vétérinaires
WAAVP	Association mondiale pour l'avancement de la parasitologie vétérinaire (World Association for the Advancement of Veterinary Parasitology)

Glossaire

Acaricide
Composé chimique de synthèse qui tue les membres de la classe des Arachnides appartenant à la sous-classe des Acari, notamment les tiques et les acariens.

Accès
Ensemble des processus, allant de la fabrication jusqu'à l'enregistrement, l'importation, la livraison et la vente du produit à l'utilisateur final. L'accès au marché désigne l'aptitude d'une entreprise à entrer sur un marché spécifique et à s'y mesurer à la concurrence, ainsi que l'aptitude de l'utilisateur à se procurer un produit acaricide. L'accès suppose l'élimination des obstacles au commerce, comme les tarifs douaniers, les quotas et les autres restrictions en matière de réglementation et de distribution, qui limitent l'accès à un marché donné.

Approche «Une seule santé»
Le principe «Une seule santé» est une approche intégrée et unificatrice qui vise à équilibrer et à optimiser la santé des êtres humains, des animaux et des écosystèmes d'une manière durable. Il y est reconnu que la santé des humains, celle des animaux domestiques et sauvages, celle des végétaux et celle de l'environnement en général (notamment les écosystèmes) sont étroitement liées et interdépendantes. Cette approche se caractérise par la mobilisation de nombreux secteurs, disciplines et communautés, à différents niveaux de la société, qui collaborent pour favoriser le bien-être, s'attaquer aux menaces qui pèsent sur la santé et les écosystèmes, et répondre aux besoins collectifs d'eau propre, d'énergie, d'air et d'aliments sûrs et nutritifs, en agissant face au changement climatique et en contribuant au développement durable.

Atténuation
Mesures ciblées visant à surmonter/maîtriser les incidences néfastes d'une évolution ou d'un phénomène.

Autorisation de mise sur le marché
Cette expression désigne le processus par lequel un organisme public de réglementation permet la commercialisation d'un produit ou d'un service. Ce processus comporte généralement la conduite d'un examen approfondi du produit ou du service, visant à vérifier la conformité de celui-ci aux normes de sécurité sanitaire, de qualité et d'efficacité et à toute autre exigence réglementaire.

Autorité compétente
Autorité gouvernementale d'un pays chargée de veiller, dans l'ensemble ou une partie du territoire, à l'application de règles et de normes spécifiques, notamment celles établies par les lois.

Autorité de réglementation
Organisme chargé des activités de réglementation liées aux médicaments, notamment la délivrance des autorisations de mise sur le marché, la surveillance des effets secondaires, les inspections, la réalisation des tests de qualité et le suivi de l'utilisation des médicaments.

Barrière à la mise en œuvre
Obstacle qui empêche ou limite l'exécution d'une décision ou d'un plan. Les barrières à la mise en œuvre les plus fréquentes sont le manque d'informations et la faiblesse des capacités techniques, qui empêchent de comprendre un problème ou de s'y attaquer, l'absence de cadre politique favorable et les facteurs liés à la continuité de la mise en œuvre (c'est-à-dire, un mécanisme de financement stable/un appui technique régulier).

Barrières comportementales
Facteurs tels que les croyances, les attitudes ou les habitudes qui empêchent certaines personnes d'adopter les comportements souhaitables ou d'y adhérer. Ces barrières peuvent être conscientes ou inconscientes et résulter d'un ensemble de facteurs culturels, sociaux ou environnementaux.

Barrières structurelles
Il s'agit des facteurs externes, comme les politiques, les règles, l'accès limité aux ressources ou les environnements physiques, qui entravent ou empêchent toute communication efficace et font qu'il est difficile pour les personnes concernées d'adopter certains comportements ou d'y adhérer.

Biais cognitifs
Il s'agit de schémas cognitifs systématiques de déviation par rapport au raisonnement probabiliste logique et à la plausibilité. Ces tendances intuitives et subconscientes constituent la base du jugement humain, de la prise de décisions et, en dernier ressort, de l'action.

Biocides
Les biocides sont des substances chimiques ou des micro-organismes destinés à détruire, repousser, rendre inoffensif, ou maîtriser tout organisme nuisible, comme des bactéries, des virus, des champignons, des algues ou des arthropodes.

Bonne pratique
Une modalité de travail recommandée dont il a été démontré qu'elle produisait des résultats fiables.

Bonne pratique de fabrication
Pratique de production et d'expérimentation reconnue par une autorité compétente comme étant de nature à garantir la qualité d'un produit: il s'agit d'un ensemble de directives et de réglementations conçues pour assurer que les produits pharmaceutiques, notamment les médicaments, les vaccins et les dispositifs médicaux, sont fabriqués, conditionnés, étiquetés et distribués d'une manière cohérente et contrôlée.

Concentration efficace minimale
La concentration efficace minimale est la concentration minimale de médicament requise pour produire un effet thérapeutique souhaité.

Délai de remanipulation
Le délai de remanipulation (appelé aussi délai de manipulation restreint ou délai de sécurité) est la période minimale qui doit s'écouler entre l'application d'un acaricide et le moment auquel les utilisateurs peuvent recommencer à manipuler l'animal.

Directives
Document produit par un groupe d'experts ou d'organisations, qui contient des recommandations sur les méthodes et la tenue de registres facilitant l'obtention d'autorisations/l'homologation, ou des indications de nature à aider les différentes parties prenantes à mener leurs processus décisionnels. Les directives peuvent également avoir pour objectif de favoriser l'harmonisation entre les pays.

Données comportementales
Connaissances obtenues en appliquant les sciences comportementales pour parvenir à une compréhension exacte et fondée sur des données factuelles de la façon dont les personnes se comportent et prennent des décisions.

Dose discriminante
Concentration d'un acaricide donné, qui est utilisée dans un essai biologique pour distinguer une population résistante d'une population sensible: certains individus de la population résistante survivront à l'exposition à cette concentration, tandis qu'aucun individu de la population sensible ne devrait y survivre.

Éducation
L'éducation est un processus d'enseignement, de formation ou d'apprentissage qui contribue à améliorer les connaissances et la pensée critique, à renforcer les compétences et à encourager les prises de décision raisonnées. L'éducation a trait également à la transmission des valeurs d'une société et de la somme de connaissances que celle ci a accumulée.

Effet résiduel d'un acaricide
Après l'application d'un acaricide, période durant laquelle l'effet de celui-ci persiste.

Efficacité d'un acaricide
Efficacité d'un produit s'agissant d'enrayer une infestation préexistante ou aptitude du produit à empêcher de nouvelles infestations. L'efficacité d'un acaricide contre les tiques est estimée au vu de la réduction de l'infestation de tiques in vivo, de la fécondité des femelles gorgées de sang, et de la fertilité des œufs.

Élimination/éradication des tiques
L'élimination des tiques désigne l'élimination complète de toutes les tiques d'une espèce ciblée dans une zone géographique donnée, résultant d'efforts délibérés; des interventions et/ou mesures de biosécurité doivent être maintenues. L'éradication des tiques est la réduction permanente à zéro de l'incidence mondiale des tiques d'une espèce ciblée, résultant d'efforts délibérés; la prise de mesures d'intervention n'est plus nécessaire.

En vente libre
Les médicaments en vente libre sont les médicaments qui peuvent être achetés sans ordonnance.

Environnement réglementaire
L'environnement réglementaire correspond à l'ensemble des lois, réglementations et politiques qui régissent les activités des individus et des organisations dans un secteur d'activité ou un secteur de l'économie particulier. Cet environnement englobe les règles et les normes établies par les organismes publics et les autres organes de réglementation pour faire en sorte que les entreprises opèrent en toute sécurité, loyalement et conformément aux objectifs des politiques publiques.

Essai biologique
Expérience portant sur un organisme vivant. Lorsqu'un stimulus est appliqué, l'organisme répond et l'essai biologique permet de quantifier la réponse. Dans le contexte de l'évaluation de la résistance aux acaricides, un essai biologique peut être défini comme une expérience dans laquelle des tiques vivantes (adultes ou à des stades immatures) sont exposées à un acaricide afin que la réponse puisse être quantifiée: mortalité ou performance de reproduction.

Étiquette de médicament
Une étiquette de médicament/de produit pharmaceutique est un document joint à un acaricide, généralement sur la bouteille ou la boîte, qui contient les informations essentielles sur l'utilisation, le stockage et l'élimination corrects du médicament. Elle constitue un élément fondamental de tout médicament.

Évolution des comportements
Concept général se rapportant à tout effort qui vise à modifier les comportements et suppose souvent de donner aux personnes concernées les informations nécessaires pour qu'elles modifient leurs attitudes et leurs décisions.

Fabricant de médicaments
Un fabricant de médicaments/de produits pharmaceutiques désigne une entreprise ou une organisation s'occupant de la production, du développement et de la vente de produits pharmaceutiques, notamment les médicaments sur ordonnance, les médicaments en vente libre et les vaccins. Les fabricants de médicaments sont responsables de tous les aspects du développement des médicaments, depuis la recherche préclinique et les essais cliniques jusqu'à la fabrication et la distribution. Cette définition englobe les entreprises qui commercialisent des produits pharmaceutiques et les distribuent aux vétérinaires ou aux utilisateurs finaux.

Facteurs de résistance ou ratios de résistance
Estimation du niveau relatif de résistance phénotypique dans un échantillon de tiques prélevé sur une population de terrain, par rapport à une population de référence dont tous les membres sont sensibles. Le ratio de résistance 50 (RR_{50}) couramment utilisé est le ratio obtenu en divisant la concentration létale qui tue 50 pour cent de la population (CL_{50}) dans les populations analysées, par la CL_{50} d'une souche de référence sensible.

Génomique
Branche de la biotechnologie qui traite de la structure, de la fonction, de l'évolution et de la cartographie des génomes.

Gestion intégrée des organismes nuisibles ou des tiques
Approche de gestion des organismes nuisibles ou des tiques consistant à combiner des mesures de lutte complémentaires pour réduire les besoins en acaricides de synthèse conventionnels tout en préservant la santé et la productivité des animaux.

Innovation
La mise au point et l'adaptation de solutions inédites pour faire face à des problèmes existants.

Lutte biologique
Méthode de lutte contre les organismes nuisibles, tels que les insectes et les acariens, fondée sur l'utilisation d'autres organismes vivants (ennemis naturels).

Lutte contre les tiques
Réduction du fardeau des tiques à un niveau acceptable, résultant d'efforts délibérés; des interventions sont nécessaires pour maintenir la réduction.

Mécanismes de résistance
La résistance aux acaricides résulte d'un processus de sélection naturelle au sein d'une population de tiques, qui favorise la survie des tiques grâce, notamment, aux mécanismes suivants: modifications du site cible, détoxification plus importante de l'acaricide et/ou capacité réduite de l'acaricide à pénétrer et à atteindre son site cible.

Médicament/produit pharmaceutique générique
Médicament à usage vétérinaire qui est identique à un produit de référence déjà commercialisé ou se présente sous la même forme pharmaceutique que celui-ci, et qui a démontré qu'il lui était bioéquivalent.

Médicament à usage vétérinaire
Toute substance ou combinaison de substances (d'origine humaine, animale, végétale ou chimique) qui remplit une au moins des conditions suivantes:

- **a)** Elle est présentée comme dotée des propriétés nécessaires pour traiter ou prévenir une maladie chez les animaux.
- **b)** Elle est destinée à être utilisée chez les animaux ou à leur être administrée pour rétablir, corriger ou modifier les fonctions physiologiques en exerçant une action pharmacologique, immunologique ou métabolique.
- **c)** Elle est destinée à être utilisée chez les animaux pour poser un diagnostic médical.
- **d)** Elle est destinée à être utilisée chez les animaux aux fins d'euthanasie.

Médicament immunologique à usage vétérinaire
Médicament à usage vétérinaire destiné à être administré à un animal pour induire une immunité active ou passive ou pour évaluer son degré d'immunité.

Mise en œuvre
Processus consistant à traduire une décision ou un plan dans la réalité.

Parties prenantes
Une partie prenante est toute partie (personne, groupe ou organisation) qui est directement ou indirectement concernée par la lutte contre les tiques.

Pesticide
Toute substance ou tout mélange de substances qui permet de prévenir, de tuer ou de maîtriser un organisme considéré comme un organisme nuisible pour les intérêts humains.

Pharmacovigilance
Science et activités relatives à la détection, à l'évaluation, à la compréhension et à la prévention des effets indésirables ou de tout autre problème lié à des médicaments/vaccins (y compris la perte d'efficacité). Dans la pratique, le terme désigne un système de surveillance (centralisé) de l'effet des médicaments dont l'utilisation a été autorisée, en vue notamment de détecter et d'évaluer les réactions indésirables non signalées antérieurement.

Pratiques de lutte non chimiques
Il s'agit de toutes les interventions de lutte contre les tiques qui ne reposent pas sur l'utilisation d'acaricides, notamment les stratégies de pâturage continu ou tournant et le recours aux agents de lutte biologique.

Procédures opérationnelles standard
Méthodes établies ou prescrites à appliquer systématiquement pour exécuter les opérations désignées ou intervenir dans les situations désignées. Dans le contexte de la résistance aux acaricides, cette expression peut donc désigner un ensemble de procédures de détection et de gestion tactique de la résistance aux acaricides d'une population de tiques sur le terrain.

Produit acaricide
Formulation d'acaricide approuvée et disponible dans le commerce qui peut être classée dans la catégorie des médicaments à usage vétérinaire, des pesticides vétérinaires, des ectoparasiticides ou des insecticides, selon les différentes réglementations régionales/nationales. Dans le présent document, les termes «acaricide» et «produit acaricide» sont interchangeables.

Produit biologique
Produit médicinal dans lequel l'ingrédient actif est une substance biologique: c'est-à-dire, une substance qui est produite par une source biologique ou en est extraite. Les produits biologiques sont variés mais consistent généralement en grosses molécules complexes. Ils sont tirés de végétaux, nématodes, bactéries, protozoaires, champignons ou virus et sont utilisés pour léser, tuer ou repousser les organismes nuisibles vétérinaires et agricoles.

Produits non autorisés
Produits n'ayant pas obtenu une autorisation de mise sur le marché.

Refuge
Le refuge désigne la sous-population de tiques non exposée aux acaricides lorsque le bétail est traité. La majeure partie de la population refuge se trouve dans les pâturages tandis que le refuge sur les animaux représente généralement une minuscule proportion de la population totale de tiques dans l'exploitation. Théoriquement, plus le refuge est important, moins la résistance aux acaricides se développe rapidement.

Résistance à un acaricide
Modification héréditaire du degré de sensibilité d'une population de tiques, qui se traduit par le fait qu'un principe actif échoue d'une manière répétée à parvenir au niveau de maîtrise attendu lorsqu'il est utilisé aux doses conseillées dans les recommandations d'utilisation figurant sur l'étiquette.

Résistance croisée
La résistance croisée est définie comme la résistance à un acaricide déterminée par un mécanisme qui confère également la résistance à un deuxième acaricide (appartenant généralement, mais pas toujours, au même groupe chimique) même lorsque la population de tiques n'a pas été exposée à ce dernier.

Résistance multiple
Une résistance multiple est observée lorsque des tiques développent une résistance à au moins deux composés appartenant à des groupes chimiques différents.

Rotation des classes d'acaricides
Rotation ou alternance effectuée au fil du temps à l'intérieur des classes chimiques d'acaricides, ou entre elles, en vue de retarder le développement de résistances.

Sciences comportementales
Étude fondée sur des données factuelles de la façon dont les personnes se comportent, prennent des décisions et réagissent face à un contexte donné, comme des programmes, des politiques, des procédures administratives ou des mesures d'incitation.

Seuil de dommage économique
Il s'agit du fardeau de tiques au niveau duquel les pertes économiques entraînées par l'infestation sont égales au coût des méthodes de lutte. Il suppose l'existence d'un niveau acceptable d'infestation par les tiques en dessous duquel le traitement n'est pas rentable.

Stabilité endémique
La stabilité endémique se rapporte à la présence permanente dans le temps d'une maladie ou d'un parasite particulier au sein d'une population, sans que cela provoque de variations importantes de la prévalence ou de la gravité de l'infection. Ce principe s'applique essentiellement au bétail confronté à des tiques infectées par des espèces de Babesia.

Stockistes
Il s'agit notamment des commerçants de produits agricoles et de produits vétérinaires et des autres vendeurs assurant la distribution locale d'acaricides.

Sur ordonnance
Les médicaments sur ordonnance sont les médicaments qui peuvent être obtenus uniquement sur présentation d'une ordonnance délivrée par un prestataire de soins de santé autorisé, comme un vétérinaire ou un paraprofessionnel vétérinaire.

Surveillance
La surveillance désigne la collecte, la compilation et l'analyse permanentes et systématiques de données, ainsi que la communication de l'information en temps voulu aux parties prenantes pertinentes. La surveillance peut être active ou passive.

Système d'élevage hors-sol
Système dans lequel moins de 10 pour cent de la matière sèche dont sont nourris les animaux sont produits sur l'exploitation, et où les taux de charge moyens annuels de bétail sont supérieurs à 10 unités gros bétail par hectare de terre agricole.

Système herbager
Système dans lequel plus de 10 pour cent de la matière sèche dont sont nourris les animaux est produite sur l'exploitation, et où les taux de charge moyens annuels de bétail sont inférieurs à 10 unités gros bétail par hectare de terre agricole.

Systèmes de production
Toute méthode employée dans un secteur économique pour créer des biens et des services à partir de ressources variées. Le système d'élevage bovin est la façon dont un exploitant agricole met à profit les ressources disponibles pour élever de nouveaux animaux ou pour engraisser ou finir de jeunes bovins.

Test «point-of-care»
Il s'agit des tests de diagnostic médical qui sont réalisés «au chevet du patient» ou à proximité, plutôt que dans un laboratoire central. Ces tests sont conçus pour fournir des résultats rapides, susceptibles d'étayer une prise de décision clinique immédiate.

Unité gros bétail
Unité de référence indiquant l'intensité d'utilisation des terres par les herbivores qui pâturent: une unité gros bétail est l'équivalent pâturage d'une vache laitière adulte produisant 3 000 kg de lait annuellement, sans apport de complément alimentaire concentré. Une unité gros bétail est égale aussi à l'équivalent pâturage de 10 moutons ou 10 chèvres.

Partie 1

Infestations du bétail par les tiques

BIOLOGIE DES TIQUES

Les tiques sont des arthropodes hématophages qui se nourrissent exclusivement de sang et parasitent les vertébrés terrestres. Près de 900 espèces de tiques ont été répertoriées, dont environ 10 pour cent ont des incidences sur la santé animale ou humaine. Toutes les espèces de tiques, à l'exception d'une seule (*Nuttalliella namaqua*), sont classées dans l'une des deux familles suivantes: les Ixodidae (tiques dures) et les Argasidae (tiques molles), en fonction de l'exosquelette. La famille des Ixodidae est la plus importante, que ce soit numériquement (762 espèces) ou que ce soit en tant que famille de tiques vectrices de micro-organismes pathogènes (Guglielmone, Nava et Robbins, 2023). Le cycle de vie des tiques compte quatre stades: l'œuf et trois stades actifs (larve, nymphe et adulte), le dimorphisme sexuel n'étant discernable qu'au stade adulte. Selon le nombre d'hôtes requis pour boucler le cycle de vie, les tiques sont également réparties entre les espèces de tiques à un hôte, à deux hôtes ou à trois hôtes. Les tiques dures prennent un unique repas de sang à chaque stade de développement, tandis que les tiques molles se nourrissent à plusieurs reprises sur plusieurs hôtes.

FARDEAU DES TIQUES, MALADIES TRANSMISES PAR LES TIQUES ET RÉSISTANCE AUX ACARICIDES

Les tiques sont présentes partout dans le monde et sont particulièrement fréquentes dans les régions tropicales et subtropicales. Elles provoquent des pertes économiques considérables dans le secteur de l'élevage bovin, soit directement en raison des effets physiques, soit indirectement du fait des organismes pathogènes (essentiellement des bactéries ou des parasites protozoaires) transmis par la morsure des tiques, qui peuvent entraîner des maladies, des baisses de performance et la mort (Heylen *et al.*, 2023; Kasaija *et al.*, 2021; Rodríguez-Vivas *et al.*, 2021).

Répartition et importance

Globalement, il est estimé que 80 pour cent (c'est-à-dire 1,2 milliard) de la population bovine mondiale sont exposés aux risques associés aux tiques et aux maladies qu'elles transmettent (de Castro, 1997; Lew-Tabor et Rodriguez Valle, 2016; Nasirian, 2024). Plusieurs genres de tiques Ixodidae infestent le bétail, notamment *Amblyomma* spp., *Dermacentor* spp., I*xodes* spp., *Haemaphysalis* spp., *Hyalomma* spp., l'espèce à un hôte *Rhipicephalus (Boophilus)* spp., et l'espèce à plusieurs hôtes *Rhipicephalus* spp. (voir la figure 2, Guide pour la différenciation au niveau du genre, des tiques du bétail ayant les incidences économiques les plus importantes, dans le *document technique*, FAO, 2025). Les genres de tiques ayant les incidences économiques les plus importantes peuvent être rencontrés sur le bétail partout dans le monde (figure 1) où des complexes distincts tique-pathogène sont observés (tableau 1). Outre leur degré variable de sensibilité aux acaricides, chaque genre et espèce de tiques se caractérise par un modèle différent de répartition et d'épidémiologie et transmet une ou des maladies(s) spécifique(s).

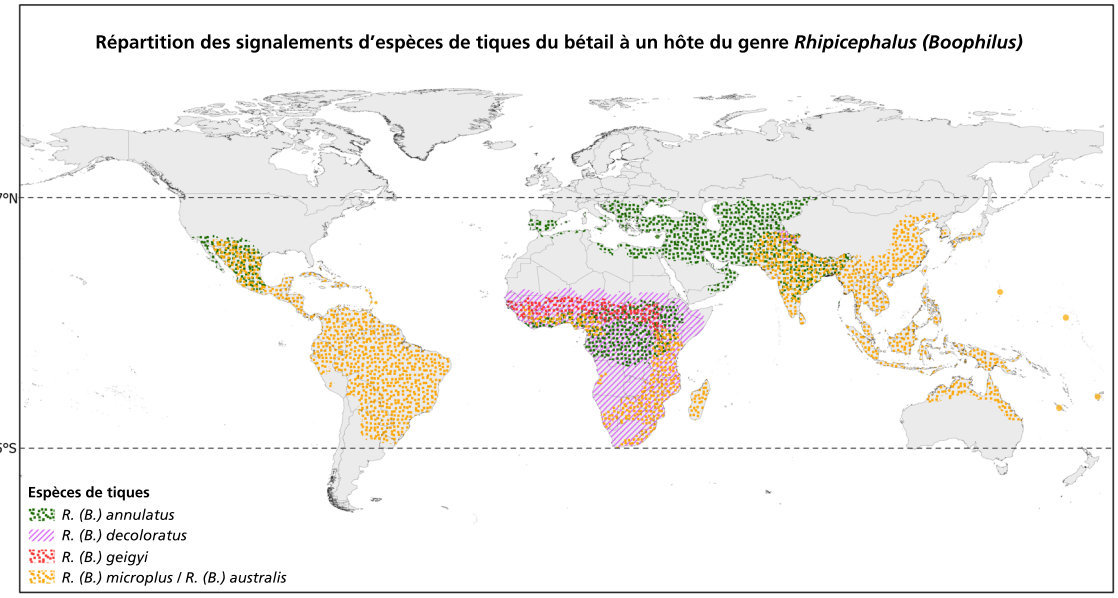
À l'échelle mondiale, le changement climatique, les déplacements et le commerce d'animaux, ainsi que diverses autres évolutions environnementales, influent sur la répartition des tiques, avec un risque de propagation des espèces de tiques et d'évolution de l'épidémiologie des maladies transmises par les tiques (Kivaria *et al.*, 2012; Olwoch *et al.*, 2007). L'introduction récente de *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* en Afrique de l'Ouest, due probablement à l'importation de bovins vivants en provenance de zones infestées (Madder *et al.*, 2007, 2011), et son expansion rapide par la suite, témoignent de la menace que font peser les espèces de tiques invasives dont la propagation est favorisée ensuite par les systèmes d'élevage extensif associés au déplacement des troupeaux (Ouedraogo *et al.*, 2021). La vitesse de développement des tiques est subordonnée à la température et à l'humidité et les modèles laissent prévoir un alourdissement du fardeau des tiques au cours des prochaines décennies en conséquence du changement climatique (Cumming et Van Vuuren, 2006; Marques *et al.*, 2020; Olwoch *et al.*, 2008). *Rhipicephalus (B.) microplus* suscite des préoccupations particulières en raison des conditions environnementales propices à cette espèce de tiques qu'offrent la plupart des zones tropicales partout dans le monde.

FIGURE 1

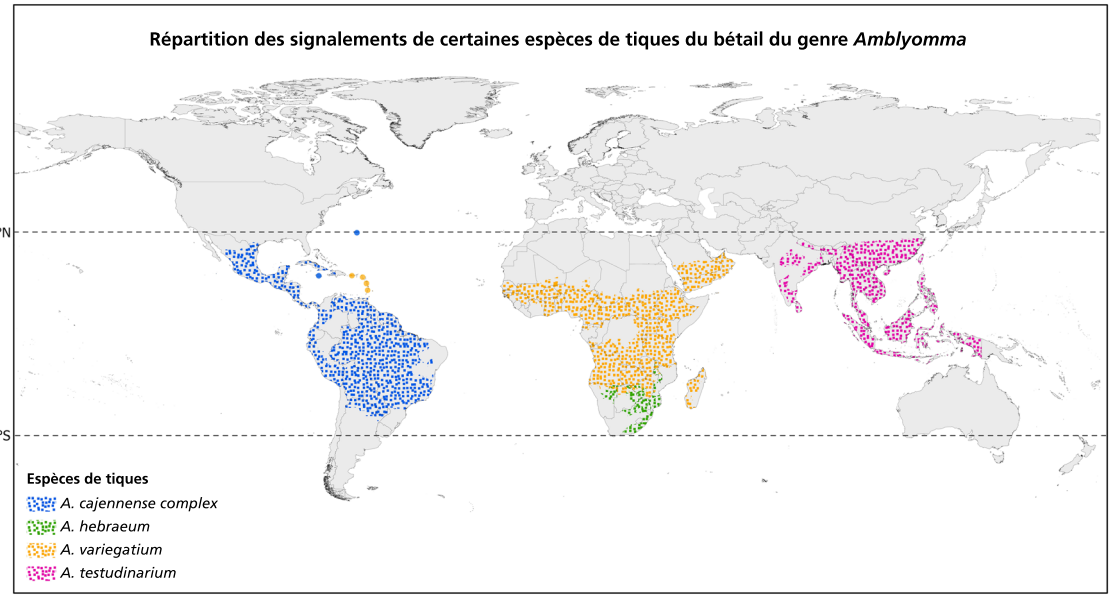
Cartes de la répartition des espèces de tiques du bétail ayant les incidences économiques les plus importantes

Ces cartes sont indicatives et, en aucune façon, exhaustives. Les points colorés ne correspondent pas à des lieux précis mais représentent l'étendue globale de la zone de répartition de l'espèce de tiques considérée.

A) Tiques à un hôte *Rhipicephalus (Boophilus)* spp.



B) *Amblyomma* spp.

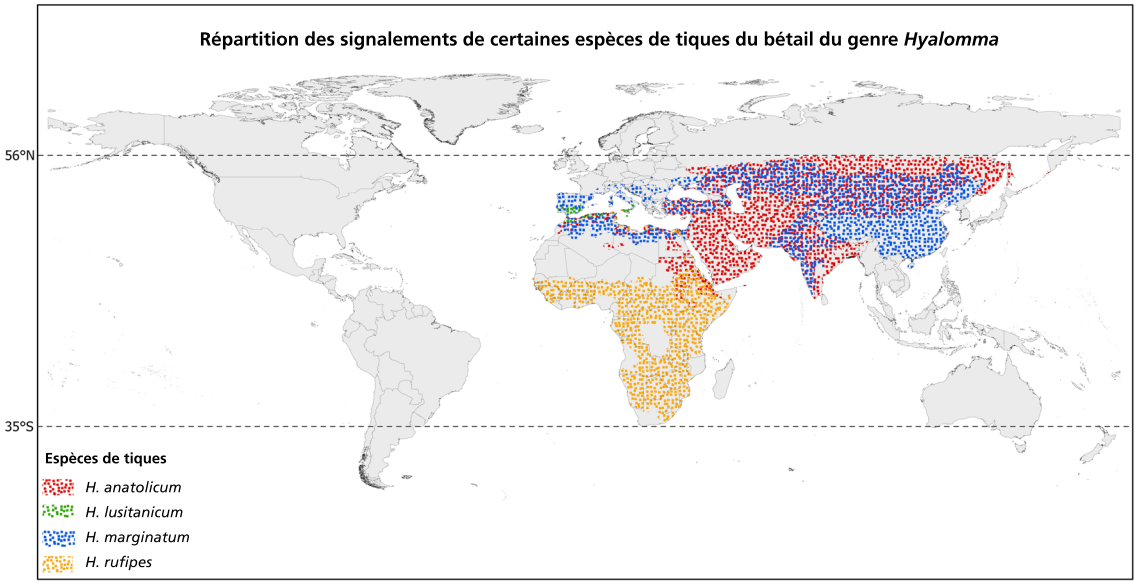


(à suivre)

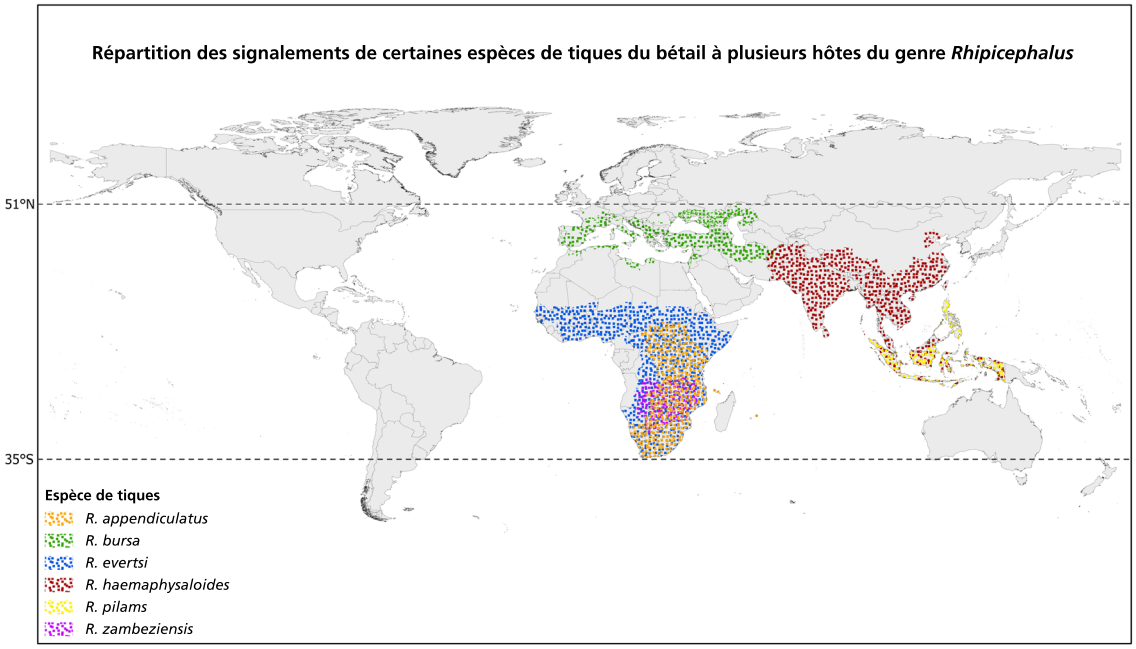
FIGURE 1 (*suite*)

Cartes de la répartition des espèces de tiques du bétail ayant les incidences économiques les plus importantes

C) *Hyalomma* spp.



D) Tiques à plusieurs hôtes *Rhipicephalus* spp.

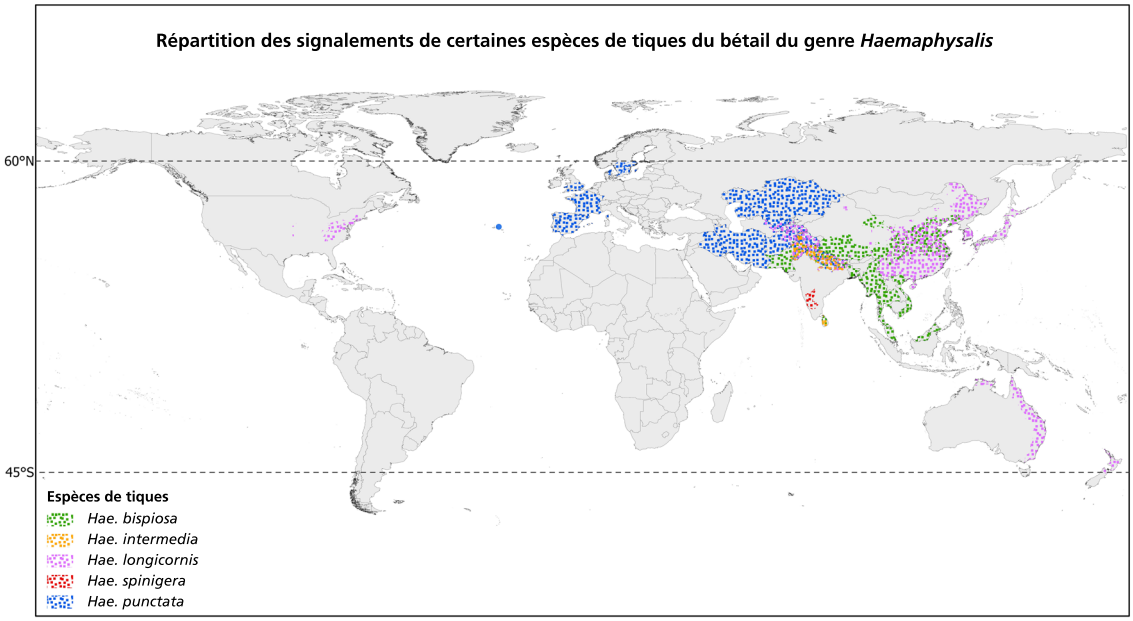


(à suivre)

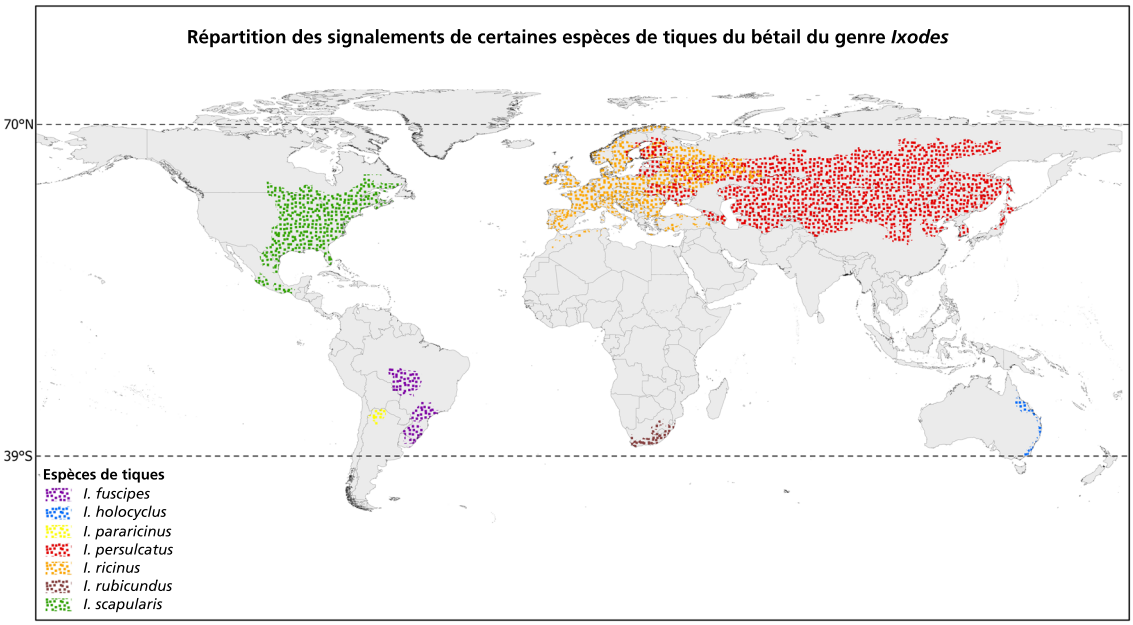
FIGURE 1 (*suite*)

Cartes de la répartition des espèces de tiques du bétail ayant les incidences économiques les plus importantes

E) *Haemaphysalis* spp.



F) *Ixodes* spp.

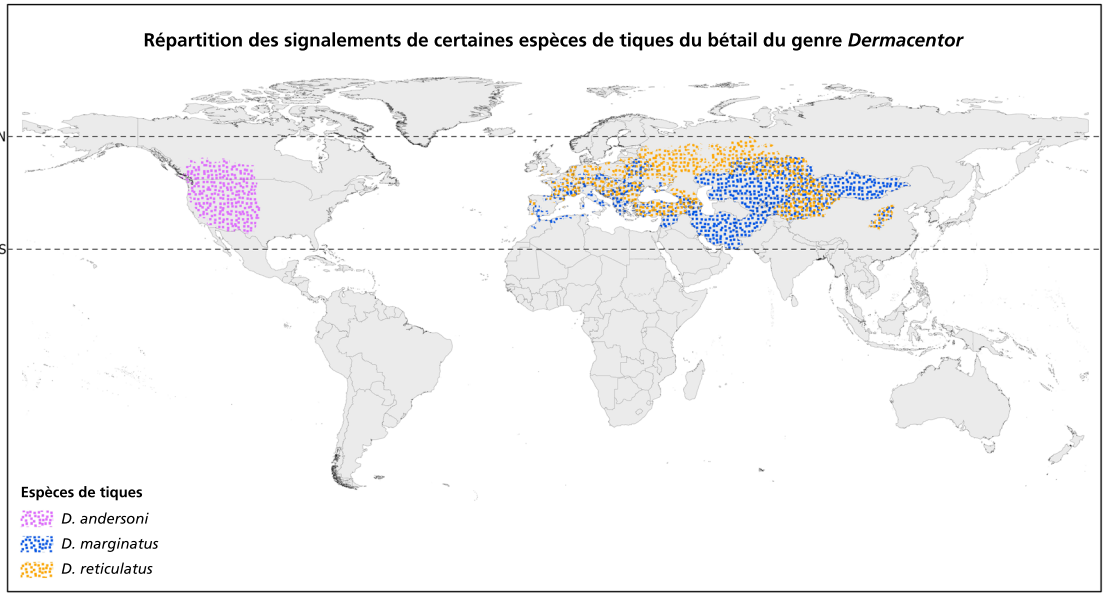


(à suivre)

FIGURE 1 (*suite et fin*)

Cartes de la répartition des espèces de tiques du bétail ayant les incidences économiques les plus importantes

G) *Dermancentor* spp.



Note: Veuillez-vous reporter à la clause de non-responsabilité à la page [ii] relative aux noms et aux frontières qui figurent sur cette carte. Les pointillés correspondent approximativement à la ligne de contrôle au Jammu-et-Cachemire convenue par l'Inde et le Pakistan. Les parties n'ont pas encore réglé la question du statut final du Jammu-et-Cachemire. La souveraineté sur les Îles Falkland (Malvinas) fait l'objet d'un différend entre le Gouvernement de l'Argentine et le Gouvernement du Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord. Le tracé définitif de la frontière entre la République du Soudan et la République du Soudan du Sud n'a pas encore été défini. Le statut définitif de la zone d'Abyei n'est pas encore déterminé.

Source: Auteurs du présent document, à partir des données de référence obtenues par les méthodes décrites[1]. Frontières des pays d'après le **Service d'information géospatiale des Nations Unies**. 2023. Map of the World (Carte du monde). Dans: *Organisation des Nations Unies.* [Consulté le 10 octobre 2024]. https://www.un.org/geospatial/content/map-world-1

[1] Les cartes de répartition des tiques ont été établies sur la base d'une recherche bibliographique systématique (effectuée le 8 février 2024) associée à la consultation d'experts. La recherche bibliographique systématique, réalisée dans la base de données CAB Abstracts, visait l'extraction des articles publiés entre 2003 et 2024. La recherche initiale a été ciblée sur les publications relatives aux tiques du bétail, grâce à l'emploi de mots clés tels que «cattle» (bétail) et «Metastigmata» (métastigmates), ainsi que des variations des expressions «tick control» (lutte contre les tiques) et «tick infestations» (infestations de tiques), permettant d'obtenir 4 176 résultats. Après l'examen systématique, la recherche a été affinée pour retenir uniquement les articles présentant des données sur la répartition des tiques, grâce à l'utilisation de mots clés liés au suivi, à la surveillance, à la prévalence et à la répartition géographique, ce qui a conduit à limiter les résultats à 2 132 articles pertinents. Les données relatives à la répartition spatiale des espèces de tiques concernées ont été extraites et regroupées par genre (*Amblyomma*, *Rhipicephalus [Boophilus]*, *Hyalomma*, et *Rhipicephalus*) avec ChatGPT 4.0, puis les résultats ont été vérifiés manuellement. Lorsque les données relatives à certains pays ont été jugées insuffisantes, une recherche bibliographique supplémentaire couvrant les articles plus anciens (publiés avant 2003) et les articles illustrés de cartes de répartition pour ce pays, a été effectuée. Un ensemble de cartes mondiales montrant la répartition géographique de chacun des sept genres de tiques aux niveaux continental, régional et national a été produit avec le logiciel d'information géographique Arc-GIS Pro 2.7.3 (ESRI, Redland, Californie [États-Unis d'Amérique]). Pour chaque carte relative à un genre de tiques, une palette de couleurs différente a été choisie et une couleur a été assignée à chaque espèce de tiques.

TABLEAU 1
Complexes espèce de tiques pathogène (maladie) ayant les incidences économiques les plus importantes chez le bétail dans le monde

Région du monde	Espèce de tiques	Pathogène transmis par les tiques (maladie)
Afrique subsaharienne	*Rhipicephalus (Boophilus) microplus*	*Babesia bovis, Babesia bigemina* (babésiose); *Anaplasma marginale* (anaplasmose)
	Rhipicephalus (Boophilus) spp.	*Babesia bigemina* (babésiose); *Anaplasma marginale, centrale* (anaplasmose)
	Rhipicephalus appendiculatus	*Theileria parva* (theilériose ou fièvre de la côte orientale)
	Rhipicephalus spp.	/
	Amblyomma variegatum, A. hebraeum, A. lepidum	*Ehrlichia ruminantium* (cowdriose)
Proche-Orient et Afrique du Nord	*Hyalomma* spp.	*Theileria annulata* (theilériose topicale)
	Rhipicephalus (Boophilus) annulatus	*Babesia bigemina* (babésiose); *Anaplasma marginale, centrale* (anaplasmose)
Europe et Amérique du Nord	*Ixodes* spp.	*Babesia divergens* (babésiose); *Anaplasma phagocytophilum* (anaplasmose)
Asie et États-Unis d'Amérique	*Haemaphysalis longicornis*	*Theileria orientalis* (theilériose)
Amériques	*Rhipicephalus (Boophilus) microplus, R. (B.) annulatus*	*Babesia bovis, Babesia bigemina* (babésiose); *Anaplasma marginale* (anaplasmose)
	Amblyomma mixtum (compris dans le complexe *A. cajennense*)	/
Iles des Caraïbes	*Amblyomma variegatum*	*Ehrlichia ruminantium* (cowdriose)
	Rhipicephalus (Boophilus) microplus	*Babesia bovis, Babesia bigemina* (babésiose); *Anaplasma marginale* (anaplasmose)
Asie	*Rhipicephalus (Boophilus) microplus, R. (B.) annulatus*	*Babesia bovis, Babesia bigemina* (babésiose); *Anaplasma marginale, centrale* (anaplasmose)
	Hyalomma spp.	*Theileria annulata* (theilériose tropicale)
Océanie	*Rhipicephalus (Boophilus) australis*	*Babesia bovis, Babesia bigemina* (babésiose); *Anaplasma marginale, centrale* (anaplasmose)
	Haemaphysalis longicornis	*Theileria orientalis* (theilériose)
	Ixodes holocyclus	Toxicose provoquant une paralysie

Source: Auteurs du présent document.

Fardeau économique

Partout dans le monde, la production bovine est une activité économique importante. Le fardeau économique des tiques résulte de la baisse de productivité de l'élevage, notamment le recul de la production de lait et de viande bovine, la réduction de la production de fumier et l'affaiblissement de la capacité de traction animale. En moyenne, chaque tique femelle de *R. (B.) microplus* qui se gorge de sang provoque la perte de 1 gramme de poids corporel par jour et de 1 millilitre de production de lait chez *Bos taurus*, *B. indicus* et les métis issus de leurs croisements. Les charges de tiques peuvent être de l'ordre de 1 000 à 2 000 tiques par animal, avec des pertes attendues susceptibles d'aller jusqu'à 2 litres de lait par jour et 600 litres sur une période de lactation standard de 300 jours (Jonsson, 2006; Jonsson *et al.*, 1998).

Le fardeau économique est encore plus important lorsque les retombées des maladies transmises par les tiques sont prises en compte. Les pertes économiques induites par les tiques et les maladies qu'elles transmettent ont été estimées dans quelques pays (Betancourt, 2017; Grisi *et al.*, 2014; Kivaria, 2006; Rodríguez-Vivas, Jonsson et Bhushan, 2018; Shephard *et al.*, 2022; Singh *et al.*, 2022). En 2016, une nouvelle estimation de ces pertes économiques, effectuée à partir du nombre actualisé de bovins dans le monde (1,5 milliard) et calculée avec les algorithmes de de Castro (1997) a donné des résultats compris entre **22 et 30 milliards d'USD par an à l'échelle mondiale** (Lew-Tabor et Rodriguez Valle, 2016). Cette estimation fait ressortir l'impact économique considérable des tiques et des maladies qu'elles transmettent tout en montrant aussi à quel point il est difficile d'estimer correctement les retombées économiques alors que la plupart des régions ne disposent pas des données analytiques nécessaires pour permettre la réalisation d'estimations mondiales actualisées. S'agissant de la rentabilité

des investissements des éleveurs dans le traitement des bovins infestés, rares sont les études d'évaluation qui tiennent compte du coût de la résistance aux acaricides ou des avantages économiques potentiels d'autres types d'interventions (Paucar-Quishpe *et al.*, 2023), comme les méthodes de gestion intégrée des tiques (voir la partie 3). Les coûts supplémentaires associés à la résistance aux acaricides s'expliquent par la multiplication des traitements, l'utilisation de produits plus coûteux, l'alourdissement de la charge de travail et l'accroissement des pertes de productivité, à quoi il faut ajouter les coûts liés aux risques pour les utilisateurs, à la sécurité sanitaire des aliments et aux effets environnementaux. La complexité du calcul des coûts et des avantages des maladies et des interventions est réelle, mais il n'en reste pas moins que les estimations sont indispensables pour orienter l'allocation des ressources aux niveaux des exploitations, des pays et des régions (Lopes *et al.*, 2016).

Partie 2

Acaricides de synthèse et menace de la résistance aux acaricides

La lutte contre les parasites, notamment les tiques, a énormément évolué au cours des 100 dernières années. Avant les années 1960, l'emploi d'agents chimiothérapeutiques pour améliorer la production et le bien-être des animaux était quasiment inexistant. Les éleveurs comptaient essentiellement sur la résistance génétique ou la résilience de leurs animaux pour maintenir la croissance, la production laitière et la reproduction, souvent au détriment du bien-être et de la performance des animaux. Après les premières utilisations de bains arsénicaux, la chimiothérapie mise au point au XXe siècle a contribué à faire entrer dans les habitudes le traitement et la prévention des infections parasitaires au moyen de médicaments efficaces. Les gains de productivité obtenus facilement et à moindre coût grâce aux traitements parasiticides ont entraîné l'adoption généralisée de la chimiothérapie. De plus, les difficultés soulevées par la mise au point de méthodes non chimiques de lutte contre les parasites d'une efficacité comparable ont contribué un peu plus à accroître la dépendance à ces produits. À l'échelle mondiale, les parasiticides représentent le deuxième plus grand segment du marché du secteur de la santé animale après les vaccins, représentant 23 pour cent des ventes de produits pharmaceutiques à usage vétérinaire, soit quelque 8 milliards d'USD en 2019, dont un tiers destiné à l'élevage (Selzer et Epe, 2021). La diffusion de la chimiorésistance et les risques pour l'utilisateur et l'environnement ont commencé à susciter des préoccupations au début du XXIe siècle (Molento, 2009; Sangster, 2001).

La mise au point de nouveaux produits à usage vétérinaire est un processus long et onéreux. Selon les estimations, l'introduction sur le marché d'un nouveau produit destiné aux animaux d'élevage représentait en 2015 un coût direct pouvant atteindre 75 millions d'USD (Health for Animals, 2015) et demandait en moyenne 8 à 15 ans. Ces chiffres sont dans la fourchette la plus élevée pour ce qui est de la recherche-développement dans le domaine de la santé animale et sont estimés supérieurs à ceux de la mise au point de vaccins. Cette situation s'explique par la rigueur des exigences en matière de sécurité sanitaire de l'utilisateur et de protection environnementale, qui traduit l'application du principe «Une seule santé» au développement des produits pharmaceutiques. Dans la plupart des régions, le processus d'autorisation de nouveaux acaricides exige la présentation d'une grande quantité de données visant à démontrer la qualité, la sécurité sanitaire et l'efficacité des produits (Geary, Conder et Bishop, 2004). Dans ce contexte, il faut mettre en place des programmes de gestion efficace afin d'encourager l'utilisation raisonnable de ce type de produit et d'en réduire la mauvaise utilisation, et ainsi de ralentir l'apparition de chimiorésistances (Rodríguez-Vivas, Jonsson et Bhushan, 2018); c'est ce qui est espéré pour la nouvelle classe d'acaricides (isoxazolines) qui vient d'être introduite dans le secteur de l'élevage en Amérique latine, où elle pourrait changer la donne si elle est utilisée avec discernement.

PRODUITS ACARICIDES DE SYNTHÈSE

Globalement, sept classes d'acaricides et un régulateur de croissance anti-acariens sont proposés sur le marché sous diverses formes pharmaceutiques pour gérer les tiques du bétail (tableau 2). Ces acaricides peuvent être classés en fonction de leurs sites cibles et de leurs modes d'action. La classification par mode d'action, qui peut aider les utilisateurs à sélectionner les acaricides, constitue aussi la base d'une gestion efficace et durable de la résistance, comme l'a souligné le comité de lutte contre la résistance aux insecticides (Insecticide Resistance Action Committee [IRAC], https://irac-online.org). Ces produits sont administrés aux animaux de manières variées selon la formulation: cuves d'immersion ou bains; pulvérisation, application topique sur le dos (à verser (pour-on) ou à appliquer (spot-on) – selon le volume); injection intramusculaire ou sous-cutanée; plaquette auriculaire imprégnée; et saupoudrage sur la peau.

L'efficacité des acaricides, du point de vue de l'effet immédiat et de la persistance de l'effet, est déterminée par la pharmacocinétique de l'ingrédient pharmaceutique actif (le principe actif) et la forme pharmaceutique. L'absorption, la distribution, le métabolisme et l'excrétion du produit dépendront de ces éléments. De ce fait, les acaricides peuvent être répartis entre les catégories à action de courte durée, de moyenne durée ou de longue durée.

Les produits acaricides non systémiques ne sont pas absorbés dans la circulation sanguine de l'animal et sont généralement appliqués directement sur la peau. En conséquence, ils ont un effet choc («knock-down») rapide, le pic d'efficacité étant atteint dans les jours qui suivent le traitement. Cependant, leur efficacité est brève, de sorte qu'ils entrent dans la

catégorie des produits à action de courte durée. C'est le cas des pyréthrinoïdes de synthèse, de l'amitraze et des organophosphorés. La formulation de ces produits peut influer sur l'absorption et la diffusion dans la peau, donc modifier la persistance de leur activité. Les produits appliqués par pulvérisation ou immersion ont en général une durée d'action ne dépassant pas 7 à 10 jours (Davey et Ahrens, 1984; Roy-Smith, 1975), tandis que les formulations versées sur la peau ont une durée d'action de 14 à 42 jours (Bhushan *et al.*, 1999; Mehlhorn *et al.*, 2011; Mekonnen, 2000).

Les acaricides systémiques sont absorbés et entrent dans la circulation sanguine des animaux pour être ensuite ingérés par le parasite. Plus le délai nécessaire pour atteindre la concentration maximale dans le sang (T_{max}) est bref, plus les effets du produit sont rapides. De même, plus l'élimination sera lente, plus longtemps la concentration restera supérieure à la concentration efficace minimale et l'action persistera. C'est le cas des lactones macrocycliques, du fluazuron et des isoxazolines qui sont généralement appliqués sous la forme de formulations à verser ou à injecter. Par conséquent, parmi les acaricides à moyenne durée d'action, figurent les formulations à injecter ou à verser contenant 0,5 à 1,0 pour cent de lactones macrocycliques et le fluazuron injectable. Ces produits peuvent protéger les animaux de deux à quatre semaines (George, Pound et Davey, 2004). La catégorie des produits à action de longue durée, qui assurent une protection pendant 5 à 10 semaines, comprend les isoxazolines, les lactones macrocycliques injectables fortement concentrées (plus de 3,0 pour cent), et la formulation à verser de fipronil et de fluazuron (George, Pound et Davey, 2004).

TABLEAU 2
Caractéristiques des ingrédients pharmaceutiques actifs (principes actifs) courants dont l'utilisation est actuellement autorisée pour lutter contre les tiques

Cible physiologique	Site et mode d'action	Classification par mode d'action[a]	Classe d'acaricide	Principe actif utilisé pour lutter contre les tiques du bétail *(En caractères gras, principes actifs les plus fréquemment rencontrés[b])*	Formes pharmaceutiques généralement disponibles dans le commerce	Résumé du statut commercial *(région où les produits sont utilisés, non autorisés, accessibles)*	Principales caractéristiques *(Indication, pharmacocinétique, sécurité sanitaire/toxicité pour les utilisateurs, les animaux et l'environnement, dose journalière admissible [DJA][c])*
Nerfs et muscles	**Site d'action:** Acétylcholinestérase (AChE) **Mode d'action:** Inhibition de l'action de l'AChE, provoquant une hyperexcitation. (l'AChE est l'enzyme qui dégrade le neurotransmetteur excitateur, l'acétylcholine, au niveau des synapses nerveuses)	1B	Organophosphorés	**chlorfenvinphos, chlorpyrifos[d], coumaphos, diazinon, dichlorvos, éthion,** phoxime, malathion, phosmet	Concentré émulsionnable pour pulvérisation et immersion, et plaquettes d'oreille (diazinon). Souvent en combinaison avec d'autres principes actifs.	Les organophosphorés ne sont pas autorisés en tant que produits vétérinaires pour le bétail dans l'Union européenne et aux États-Unis d'Amérique (sauf dans le cadre du programme d'éradication des tiques (CFTEP) aux États-Unis d'Amérique). Ils sont largement utilisés en Afrique, en Amérique latine, en Australie et en Inde. Lorsque les organophosphorés sont disponibles, leur utilisation est autorisée chez les bovins produisant du lait destiné à la consommation humaine.	Selon le principe actif, les organophosphorés ont un large spectre d'action non systémique contre les nématodes, les insectes et les acariens. Les organophosphorés sont actifs contre les larves et les adultes de mouches, de poux, de tiques et d'acariens présents sur les animaux d'élevage, et leur activité est variable selon les composés et les différentes formulations. Les composés organophosphorés bloquent l'AChE d'une manière irréversible, avec un risque de bioaccumulation, ainsi que de forte toxicité pour les insectes, les végétaux, les animaux et les humains. **Classe de toxicité OMS[e]** **Ib:** coumaphos, chlorfenvinphos, dichlorvos **II:** chlorpyrifos, diazinon, éthion, phoxime, phosmet **III:** malathion **Principe actif:** diazinon: 0-0,003 mg/kg de poids corporel (p.c.) chlorpyrifos: 0 0,01 mg/kg p.c. chlorfenvinphos: 0 0,0005 mg/kg p.c. éthion: 0 0,002 mg/kg p.c. phoxime: 0-0,004 mg/kg p.c.
		1A	Carbamates	**carbaryl, propoxur**	Solution à verser, poudre.	L'utilisation des carbamates dans le secteur de la santé animale pour lutter contre les tiques du bétail a toujours été peu courante.	Les carbamates sont des insecticides et des acaricides non systémiques. Les carbamates sont des inhibiteurs de l'AChE à effet réversible et sont donc moins toxiques que les organophosphorés. **Classe de toxicité OMS: II** **Principe actif:** Propoxur: 0-0,02 mg/kg p.c.

(à suivre)

TABLEAU 2
Caractéristiques des ingrédients pharmaceutiques actifs (principes actifs) courants dont l'utilisation est actuellement autorisée pour lutter contre les tiques *(suite)*

Cible physiologique	Site et mode d'action	Classification par mode d'action[a]	Classe d'acaricide	Principe actif utilisé pour lutter contre les tiques du bétail *(En caractères gras, principes actifs les plus fréquemment rencontrés[b])*	Formes pharmaceutiques généralement disponibles dans le commerce	Résumé du statut commercial *(région où les produits sont utilisés, non autorisés, accessibles)*	Principales caractéristiques *(Indication, pharmacocinétique, sécurité sanitaire/toxicité pour les utilisateurs, les animaux et l'environnement, dose journalière admissible [DJA][c])*
Nerfs et muscles	**Site d'action:** Canal sodique voltage-dépendant **Mode d'action:** Modulation des canaux sodiques afin qu'ils restent ouverts, provoquant ainsi une hyperexcitation, une dépolarisation permanente et l'interruption de la propagation des potentiels d'action le long des axones nerveux.	3A	Pyréthrinoïdes de synthèse	cyfluthrine, **cyperméthrine (= alpha-cyperméthrine), deltaméthrine, fluméthrine,** perméthrine, lambda-cyhalothrine	Solution à verser, pulvérisation, immersion et plaquettes d'oreille. Souvent en combinaison avec d'autres principes actifs.	Les pyréthrinoïdes de synthèse sont largement utilisés dans le monde entier pour lutter contre les tiques et d'autres ectoparasites du bétail. La plupart des pyréthrinoïdes laissent peu, voire pas, de résidus dans la viande et le lait, et leur utilisation est souvent autorisée sur les bovins produisant du lait destiné à la consommation humaine.	Les pyréthrinoïdes de synthèse sont des insecticides et des acaricides non systémiques qui agissent par contact. Ils ont un large spectre d'activité contre les parasites externes, le spectre d'activité variant selon les molécules. Les pyréthrinoïdes de synthèse se caractérisent par une absorption cutanée limitée et sont rapidement métabolisés. Toutefois, les pyréthrinoïdes sont irritants pour la peau, les yeux et le système respiratoire des mammifères. Les pyréthrinoïdes sont hautement toxiques pour les poissons. **Classe de toxicité OMS** **Ib:** cyfluthrine **II:** cyperméthrine, cyhalothrine, deltaméthrine, perméthrine Principe actif: cyperméthrine: 0 0,02 mg/kg p.c. cyfluthrine: 0-0,02 mg/kg p.c. lambda-cyhalothrine: 0 0,02 mg/kg p.c. deltaméthrine: 0 0,01 mg/kg p.c. fluméthrine: 0 0,004 mg/kg p.c.
	Site d'action: Canal chlorure GABA-dépendant **Mode d'action:** Blocage du canal chlorure GABA-dépendant, provoquant ainsi une hyperexcitation et des convulsions (l'acide gamma-aminobutyrique [GABA] est le principal neurotransmetteur inhibiteur chez les insectes)	2B	Phénylpyrazoles	**fipronil**	Solution à verser.	Le fipronil est utilisé sur les bovins dans certains pays d'Amérique latine et en Afrique du Sud. Son utilisation n'est pas autorisée sur les vaches produisant du lait destiné à la consommation humaine.	Le fipronil est utilisé pour le traitement et la lutte contre les infestations d'ectoparasites du bétail. Le fipronil est hautement toxique pour les invertébrés terrestres et aquatiques. **Classe de toxicité OMS: II** **Principe actif:** 0 0,0002 mg/kg p.c.
	Site d'action: Canal chlorure glutamate-dépendant **Mode d'action:** Modulateurs allostériques des canaux chlorure glutamate-dépendants (GluCl). Activation allostérique des GluCl, provoquant la paralysie (le glutamate est un important neurotransmetteur inhibiteur chez les insectes)	6	Lactones macrocycliques	Sous-groupe de l'avermectine: abamectine, **doramectine, éprinomectine, ivermectine** Sous-groupe des milbémycines: **moxidectine**	Injection, drenches, solution à verser.	Les lactones macrocycliques sont largement utilisées pour lutter contre les endoparasites et les ectoparasites. L'utilisation de certaines lactones macrocycliques est autorisée chez les bovins produisant du lait destiné à la consommation humaine.	Les lactones macrocycliques sont également des médicaments antiparasitaires à large spectre d'action. Elles sont actives contre les insectes, les acariens et les nématodes. Toutes les lactones macrocycliques ont un mode d'action systémique. L'efficacité contre les ectoparasites varie selon le composé. L'efficacité contre les acariens atteint le seuil standard uniquement contre les tiques à un hôte. Les résidus provenant des animaux traités avec des lactones macrocycliques ont des effets toxiques potentiels chez certains organismes non ciblés dans les pâturages et les sols (par exemple, les diptères, les lombrics, les collemboles, les acariens, les nématodes et les bousiers). **Classe de toxicité OMS** **Ib:** abamectine **Principe actif: éprinomectine, ivermectine:** 0-0,01 mg/kg p.c. abamectine, doramectine: 0,001 mg/kg p.c. moxidectine: 0 0,002 mg/kg p.c.

(à suivre)

TABLEAU 2

Caractéristiques des ingrédients pharmaceutiques actifs (principes actifs) courants dont l'utilisation est actuellement autorisée pour lutter contre les tiques *(suite et fin)*

Cible physiologique	Site et mode d'action	Classification par mode d'action[a]	Classe d'acaricide	Principe actif utilisé pour lutter contre les tiques du bétail *(En caractères gras, principes actifs les plus fréquemment rencontrés[b])*	Formes pharmaceutiques généralement disponibles dans le commerce	Résumé du statut commercial *(région où les produits sont utilisés, non autorisés, accessibles)*	Principales caractéristiques *(Indication, pharmacocinétique, sécurité sanitaire/toxicité pour les utilisateurs, les animaux et l'environnement, dose journalière admissible [DJA][c])*
Nerfs et muscles	**Site d'action:** Canaux chlorure GABA-dépendants et canaux chlorure glutamate-dépendants **Mode d'action:** Modulateurs allostériques qui inhibent les canaux chlorure GABA-dépendants et les canaux chlorure glutamate-dépendants.	30	Isoxazolines	**fluralaner** **umifoxolaner**[f]	Solution à verser, injection.	Actuellement disponible uniquement dans certains pays d'Amérique latine pour lutter contre les tiques du bétail. Il n'existe pas de limite maximale de résidus (LMR) dans le lait et il n'est pas prévu que ces produits soient utilisés chez les bovins produisant du lait destiné à la consommation humaine.	Les isoxazolines ont des effets insecticides et acaricides et sont actuellement homologuées comme des produits de lutte contre les tiques, les acariens et les mouches. **Principe actif:** Fluralaner: 0-0,01 mg/kg p.c.[g]
	Site d'action: Récepteurs de l'octopamine **Mode d'action:** Agonistes des récepteurs de l'octopamine qui diminuent le calcium Ca2+ intracellulaire et l'activation de l'efflux K+, interrompant la transmission nerveuse et provoquant la mort	19	Formamidines	**amitraze** cymiazole	Concentré émulsionnable pour immersion et pulvérisation. Souvent en combinaison avec d'autres principes actifs.	L'amitraze est largement employée pour lutter contre les tiques et d'autres acariens chez les bovins mais n'est quasiment plus utilisée dans l'Union européenne. Son utilisation est autorisée chez les bovins laitiers et les bovins de boucherie.	L'amitraze est efficace contre les acariens et les tiques chez les animaux d'élevage. La formamidine a une activité agoniste alpha2-adrénergique centrale, provoquant un effet sédatif et neurotoxique chez les mammifères. Les chevaux ne tolèrent pas les formamidines, qui sont également toxiques pour les chats et les rongeurs. **Classe de toxicité OMS** **II:** amitraze **Principe actif: amitraze:** 0-0,01mg/kg p.c.
Growth	**Site d'action:** Chitine synthase 1 (CHS1) **Mode d'action:** Inhibition de la biosynthèse de la chitine. Le produit inhibe l'enzyme qui catalyse la polymérisation de la chitine.	15	Benzoylphényl urée	**fluazuron**	Solution à verser, injection.	It is used only in cattle against cattle ticks (*Rhipicephalus* (*B.*) spp.). No formulations are authorized for use on cattle-producing milk for human consumption.	Les régulateurs de croissance anti-acariens constituent un groupe de composés chimiques qui agissent sur la croissance et le développement des parasites. Au dosage habituel, le fluazuron ne perturbe pas les insectes mais est particulièrement efficace contre les larves de tiques. Les effets nocifs sur les tiques sont la réduction quasi totale de la fécondité et de la fertilité des femelles gorgées de sang et la mortalité des tiques immatures car celles-ci ne parviennent pas à muer au stade suivant. Étant donné qu'ils agissent sur le développement, ces produits n'auront pas un effet choc («knock-down») sur les tiques adultes infestant les animaux. **Classe de toxicité OMS: IV** **Principe actif:** 0 0,04 mg/kg p.c.

Notes:

[a] Groupe de la classification par mode d'action: https://irac-online.org/mode-of-action/classification-online.

[b] Principes actifs les plus fréquemment disponibles dans le commerce selon une enquête effectuée auprès des services de réglementation et des services vétérinaires (voir la partie intitulée «Accès aux acaricides et utilisation sur le terrain»). Les médicaments à usage vétérinaire dont l'utilisation est autorisée dans des pays sont énumérés dans des bases de données nationales (voir le *document technique* – partie consacrée aux exigences réglementaires, intitulée *Regulatory requirements*).

[c] La dose journalière admissible (DJA) est utilisée pour calculer d'autres limites maximales de résidus (LMR) dans les différents tissus comestibles. Les DJA figurant dans le présent tableau correspondent aux valeurs disponibles les plus récentes, établies par le Comité mixte FAO/OMS d'experts des additifs alimentaires (JECFA) ou la Réunion conjointe FAO/OMS sur les résidus de pesticides (JMPR). Les DJA relatives à certains produits n'ont plus lieu d'être puisque ces produits sont interdits dans certaines régions.

[d] N'a plus de LMR fixée dans le Codex en ce qui concerne les résidus de pesticides dans les aliments.

[e] Classification OMS recommandée des pesticides en fonction des dangers qu'ils présentent et Lignes directrices pour la classification, édition 2019.

[f] Ce produit sera mis sur le marché dans les mois qui suivent la publication du présent document.

[g] DJA relative au fluralaner calculée dans le rapport public européen d'évaluation des LMR (EPMAR) pour le fluralaner (volaille) – 15 février 2017 – EMA/CVMP/567262/2016 – Comité des médicaments à usage vétérinaire.

Sources: Adapté de **Junquera, P.** 2021. Ectoparasiticides. Dans: *PARASITIPEDIA*. [Consulté le 7 mars 2024]. https://parasitipedia.net; **Rodríguez-Vivas, R. I., Pérez-Cogollo, L. C., Rosado-Aguilar, J. A., Ojeda-Chi, M. M., Trinidad-Martinez, I., Miller, R. J., Li, A. Y., *et al.*** 2014. *Rhipicephalus (Boophilus)* microplus resistant to acaricides and ivermectin in cattle farms of Mexico. *Brazilian Journal of Microbiology*, 23(2): 113-122; **Rodríguez-Vivas, R. I., Jonsson, N. N., et Bhushan, C.** 2018. Strategies for the control of *Rhipicephalus microplus* ticks in a world of conventional acaricide and macrocyclic lactone resistance. *Parasitology Research*, 117: 3-29.

Les produits acaricides de synthèse sont habituellement efficaces contre un spectre plus large d'ectoparasites et peuvent être utilisés à d'autres fins que la lutte contre les tiques. La famille des lactones macrocycliques est celle dont le spectre d'activité est le plus large, puisqu'elle est efficace non seulement contre les arthropodes (acariens et insectes) mais aussi contre les helminthes (nématodes). En conséquence, dans la plupart des cas, il est difficile d'élaborer et d'appliquer des mesures spécifiques de lutte contre les tiques sans agir aussi contre d'autres parasites.

Il peut exister des contre-indications et, par ailleurs, des effets indésirables sont susceptibles de se produire pendant ou après le traitement des animaux. Une réaction indésirable à un médicament (appelée aussi événement indésirable médicamenteux) est définie comme un effet inattendu ou involontaire associé à l'utilisation du médicament, comme des réactions de sensibilité, l'absence d'efficacité ou des lésions (Hsu, 2013). Les effets indésirables peuvent se manifester de diverses façons selon l'acaricide utilisé et la réponse de l'animal. Il est donc essentiel de suivre les instructions données sur la notice du produit avant l'utilisation de celui-ci, et de signaler au système de pharmacovigilance établi toute réaction indésirable.

Il est recommandé d'utiliser uniquement les produits vétérinaires autorisés pour les espèces indiquées. Même si des produits non destinés à un usage vétérinaire (par exemple un produit agrochimique) contiennent le même principe actif, les différences dans la formulation, la concentration ou l'utilisation prévue peuvent rendre ces produits inefficaces, voire même toxiques pour les animaux. De plus, la mauvaise utilisation de produits non destinés à un usage vétérinaire peut favoriser la résistance aux acaricides, diminuant l'efficacité globale de ces derniers pour lutter contre les parasites. Il est également recommandé de ne pas appliquer à l'environnement, que ce soient les pâturages ou les bâtiments, les produits acaricides approuvés uniquement pour une application sur les animaux.

CADRE RÉGLEMENTAIRE

Le cadre réglementaire applicable aux produits homologués pour lutter contre les tiques du bétail diffère selon les pays et les régions. Les acaricides peuvent être classés dans la catégorie des médicaments à usage vétérinaire ou dans la catégorie des pesticides, et la nomenclature et la réglementation associée varient sensiblement. La plupart des pays sont dotés d'une législation visant à assurer que les acaricides soient autorisés exclusivement après que les fabricants ou les distributeurs de ces produits aient fourni des éléments qui en démontrent la qualité, la sécurité sanitaire et l'efficacité. Cependant, les processus d'approbation spécifiques peuvent varier considérablement d'un pays à l'autre (on trouvera des descriptions régionales détaillées dans le *document technique* – partie consacrée aux exigences réglementaires, intitulée *Regulatory requirements* [FAO, 2025]).

Une autorisation de mise sur le marché (appelée aussi «enregistrement» ou «agrément») désigne l'approbation à obtenir auprès de l'autorité compétente du pays concerné, pour être en mesure de vendre et d'utiliser un produit. Cette autorisation est délivrée à la partie requérante par les autorités compétentes nationales ou régionales, sur la base des informations relatives à la qualité, à la sécurité sanitaire et à l'efficacité qui sont fournies (Coopération internationale pour l'harmonisation des exigences techniques pour l'enregistrement des médicaments vétérinaires [VICH], 2016). L'objectif est de démontrer que les avantages apportés par un produit l'emportent sur les risques qu'il présente.

La partie requérante doit soumettre un ensemble complet de données concernant les éléments ci-dessus pour permettre cette évaluation. Cet ensemble de données est souvent appelé «dossier». Le dossier doit contenir des informations détaillées sur les caractéristiques du produit (comme le nom de la substance active, les espèces ciblées, les instructions d'utilisation, le dosage et la durée du traitement), les conditions d'utilisation (notamment les conditions de stockage, la durée de conservation, le délai d'attente, et les instructions pour une utilisation sans danger et pour l'élimination des déchets en toute sécurité) ainsi que toutes les précautions d'emploi et tous les avertissements pour une utilisation sans danger, en particulier les contre-indications et événements indésirables potentiels. Cette information et les instructions d'utilisation du produit figurent sur l'étiquette et sur la notice de l'emballage du produit lorsque celui-ci est commercialisé (Agence européenne des médicaments [EMA], 2021a; VICH, 2016).

Les données rassemblées dans le dossier doivent être conformes aux indications techniques spécifiques relatives à la qualité, à la sécurité sanitaire et à l'efficacité, telles que déterminées par les autorités compétentes. L'un des programmes de référence ayant trait à l'enregistrement des produits vétérinaires est la Coopération internationale vétérinaire pour l'harmonisation (VICH), un programme trilatéral (États-Unis d'Amérique/Japon/Union européenne) visant à harmoniser les exigences techniques applicables à l'enregistrement des produits vétérinaires. D'autres directives existent, comme celles de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE).

En dernier ressort, le processus de mise sur le marché dépendra des réglementations en vigueur dans le pays concerné.

Exigences réglementaires pour l'évaluation de la qualité des acaricides

La qualité fait partie des attributs essentiels d'un acaricide à usage vétérinaire, au même titre que la sécurité sanitaire et l'efficacité. La composition chimique, la fabrication et le contrôle sont les principales caractéristiques qui sont évaluées pour juger de la qualité d'un médicament. L'objectif

est de garantir qu'un produit est convenablement fabriqué, c'est-à-dire que le produit médicinal final est systématiquement conforme aux normes requises. Il convient de définir des procédés de fabrication spécifiques, ainsi que les caractéristiques du produit et les essais à réaliser sur celui-ci, et d'en démontrer l'uniformité au fil du temps. Le dossier d'enregistrement comporte des descriptions de la composition qualitative et quantitative, de la méthode de préparation, des contrôles effectués sur les matières premières, des vérifications réalisées pendant la fabrication et sur le produit fini, et des tests de stabilité. S'agissant des pays qui appliquent les directives du VICH, il est demandé dans la législation que la fabrication du produit conformément aux bonnes pratiques de fabrication soit certifiée.

Après la mise sur le marché, les produits doivent faire l'objet d'un suivi, assuré au moyen d'inspections régulières des sites de fabrication. Il faut établir des systèmes garantissant un suivi permanent une fois que le produit est mis sur le marché. Les exigences relatives à la qualité peuvent différer selon les autorités de réglementation.

Exigences réglementaires pour l'évaluation de la sécurité sanitaire des acaricides

La partie du dossier d'enregistrement relative à la sécurité sanitaire comporte des données sur le profil de sécurité sanitaire du produit, établi à partir de diverses études précliniques et cliniques. Il s'agit d'une évaluation approfondie des dangers potentiels liés au produit en cours de développement et des risques d'exposition pour l'environnement, l'animal traité et l'utilisateur – notamment le consommateur d'aliments provenant de l'animal traité (comme la viande et le lait) – et les mesures à prendre pour atténuer ces effets y sont définies (on trouvera une description détaillée de l'évaluation de la sécurité sanitaire des acaricides dans le *document technique* – partie consacrée aux exigences réglementaires, intitulée *Regulatory requirements* [FAO, 2025]).

La sécurité sanitaire de l'animal ciblé se rapporte à l'évaluation de la toxicité, de la pharmacocinétique et de la pharmacodynamique et au recensement des effets indésirables potentiels du produit chez l'animal traité.

La sécurité sanitaire de l'utilisateur a trait à l'évaluation du danger d'exposition pour la santé humaine et des risques en la matière. Les utilisateurs peuvent également être exposés à un acaricide lorsqu'ils manient le produit et traitent des animaux ou manipulent des animaux traités antérieurement avec un acaricide. Il peut s'avérer nécessaire de fixer un délai de remanipulation afin que l'acaricide ait le temps de se dégrader à des niveaux qui ne présentent pas un risque inacceptable pour les utilisateurs.

La sécurité sanitaire du consommateur est garantie par le respect du délai d'attente, qui est le délai à respecter après le traitement avant de collecter la viande, les abats ou le lait destinés à la consommation humaine. Ce délai est calculé sur la base de la détermination de la limite maximale de résidus (LMR), c'est-à-dire le niveau auquel aucun effet indésirable n'est attendu pour les consommateurs du produit, compte tenu des rations prévues des différents types d'aliments dans les diverses régions. Cela signifie donc, qu'après le délai d'attente, les concentrations de principe actif dans la viande ou le lait sont toutes inférieures à la LMR. La détermination de la LMR et du délai d'attente correspondant repose sur un calcul complexe et peut varier d'un organisme à un autre, étant donné que les autorités de réglementation ne se conforment pas aux mêmes normes de sécurité sanitaire partout. Il incombe aux autorités compétentes d'établir les LMR et d'en tenir la liste à jour. Les LMR peuvent être différentes de celles fixées par le Codex ou le Comité mixte FAO/OMS d'experts des additifs alimentaires (JECFA) si des LMR nationales n'ont pas été établies. Le JECFA est un comité international d'experts scientifiques qui gère la procédure de détermination des valeurs des LMR. S'agissant des «pesticides» qui englobent les acaricides employés chez les animaux, le Codex Alimentarius a notamment pour mission d'établir, en tenant compte des conseils de la Réunion conjointe FAO/OMS sur les résidus de pesticides (JMPR), les LRM relatives aux résidus de pesticides présents dans certains aliments ou groupes d'aliments destinés à la consommation humaine ou animale qui font l'objet d'un commerce international.

La sécurité sanitaire pour l'environnement se rapporte à l'évaluation des impacts environnementaux possibles du produit, y compris son potentiel d'accumulation dans l'environnement et sa toxicité pour des organismes non ciblés. S'agissant des produits destinés à l'élevage et aux animaux productifs, divers types et quantités de données doivent être fournis, en fonction du profil de toxicité du composé pour diverses flores et faunes et selon les niveaux attendus d'utilisation et d'excrétion dans l'environnement. La démarche suivie s'articule en étapes, de sorte que les valeurs à haut risque éventuellement issues des calculs effectués aux premières étapes déclenchent la réalisation obligatoire d'essais et d'évaluations supplémentaires.

Il convient de savoir que la plupart des acaricides actuellement employés sont des produits génériques qui ont été homologués sur la base de leur bioéquivalence à des produits parfois très anciens. La partie du dossier relative à la sécurité sanitaire ne fait pas l'objet d'une réévaluation intégrale dans toutes les juridictions lors des renouvellements de l'autorisation. Or, certaines normes relatives à la sécurité sanitaire de l'environnement ont évolué relativement récemment, si bien que les exigences décrites ci-dessus ne sont pas toujours respectées pour tous les produits actuellement utilisés.

Exigences réglementaires pour l'évaluation de l'efficacité des acaricides

(Adapté de EMA, 2021b, 2023a; Holdsworth et al.*, 2022.)*

Étant donné qu'il n'existe pas de directive VICH fournissant des indications sur l'examen et l'évaluation de l'efficacité des produits ectoparasiticides, diverses autres directives sont actuellement employées. L'édition 2022 des directives de l'Association mondiale pour l'avancement de la parasitologie vétérinaire (World Association for the Advancement of Veterinary Parasitology [WAAVP]) relatives à l'évaluation de l'efficacité des parasiticides contre les ectoparasites des ruminants fournit des indications sur les données à soumettre pour justifier la délivrance d'une autorisation réglementaire à un produit (ces directives servent de référence en Australie, par exemple). Il existe des directives de l'Agence européenne des médicaments (EMA) portant sur l'évaluation de l'efficacité des ectoparasiticides et établissant aussi des seuils d'efficacité globale et des méthodes de calcul. Ces directives sont en cours d'actualisation, compte tenu de l'évolution des exigences réglementaires (voir le *document technique* – partie consacrée aux exigences réglementaires, intitulée *Regulatory requirements* [FAO, 2025]).

L'approbation d'une demande ayant trait à l'efficacité repose sur les résultats: des études pharmacocinétiques et pharmacodynamiques, de la détermination des doses, de la confirmation des doses obtenue dans le cadre d'essais précliniques, et des études de terrain pour chaque espèce de tiques. L'extrapolation nécessaire à la présentation d'une demande pour d'autres espèce de tiques exige une démonstration scientifique.

Le résumé complet de l'ensemble des données relatives à la qualité, à la sécurité sanitaire et à l'efficacité comprend une évaluation du rapport risques-avantages et permet aux autorités de réglementation de prendre des décisions éclairées s'agissant d'approuver ou non la mise sur le marché d'un produit et son utilisation chez les animaux.

Exigences spécifiques pour l'enregistrement des acaricides génériques

La plupart des acaricides actuellement employés dans le secteur de l'élevage partout dans le monde sont homologués comme des médicaments à usage vétérinaire génériques. À l'instar des autres produits médicinaux destinés aux êtres humains ou aux animaux, les médicaments à usage vétérinaire génériques doivent respecter les réglementations et être approuvés par les autorités compétentes locales. Par rapport au processus de demande d'autorisation concernant de nouveaux principes actifs, celui relatif aux produits génériques consiste souvent en une procédure simplifiée ou abrégée. Un médicament vétérinaire générique doit en général avoir la même concentration en principe actif et la même forme médicamenteuse ou pharmaceutique que le produit de référence pour obtenir l'autorisation.

Un produit médicinal générique doit avoir un étiquetage analogue à celui du produit de référence, en ce qui concerne les espèces cibles autorisées, les indications, le régime de dosage, les durées d'attente, les avertissements et les informations relatives à la sécurité sanitaire. Les autorités compétentes nationales peuvent demander des études supplémentaires, comme des études ayant trait à la présence de résidus sur le site où le produit est administré. Il est généralement demandé aux parties présentant une demande d'enregistrement d'un médicament à usage vétérinaire générique de démontrer que celui-ci est bioéquivalent *in vivo* au produit de référence, ce qui signifie que le produit générique doit avoir une biodisponibilité comparable, en apportant la même quantité de principe actif dans la circulation sanguine pendant le même laps de temps. Ce résultat est généralement démontré par des études pharmacocinétiques réalisées chez chaque espèce pour laquelle le produit est indiqué. Cette démarche ne s'applique pas aux acaricides à application topique car, dans leur cas, les concentrations dans le sang peuvent ne pas être représentatives de la présence du principe actif.

La présentation de nouvelles données sur la sécurité sanitaire de l'animal cible, sur l'efficacité du médicament et sur la sécurité sanitaire des aliments destinés à la consommation humaine n'est généralement pas requise pour les produits génériques, mais des études relatives à l'efficacité peuvent être réalisées pour les produits tels que les acaricides à activité topique. La fabrication des médicaments vétérinaires génériques respecte les mêmes normes que celle des produits de référence afin de garantir la qualité des produits, avec notamment des méthodes, des procédés et des contrôles de qualité rigoureux et une stabilité garantie pendant la durée de conservation du produit. Tant les produits vétérinaires de référence que les produits vétérinaires génériques doivent satisfaire aux normes associées aux bonnes pratiques de fabrication en vigueur, et les inspections de leurs installations de fabrication devraient être conduites de manière identique.

ACCÈS AUX ACARICIDES ET UTILISATION SUR LE TERRAIN

Généralités

L'accès aux acaricides et leur utilisation sont très variables au sein des régions et entre elles[2]. Dans certaines régions, l'accès à des produits de santé animale de qualité est assuré, tandis que dans d'autres, les éleveurs se heurtent à des problèmes tels qu'une distribution limitée ou la prolifération de produits de mauvaise qualité et des produits de contrefaçon. Dans de nombreux pays, les systèmes de réglementation, de même que les systèmes de pharmacovigilance sont, soit faibles, soit dysfonctionnels (WOAH [OMSA], 2022). La façon dont les acaricides sont utilisés est aussi extrêmement variable: dans certaines régions, les agriculteurs respectent strictement les instructions et les délais d'attente figurant sur les étiquettes, tandis que dans d'autres, la mauvaise utilisation des produits et la dépendance à l'égard de produits non autorisés sont fréquentes. La formation continue des vétérinaires et des paraprofessionnels vétérinaires sur le choix, l'utilisation et l'administration des acaricides varie, mais dans toutes les régions, il est fait état de lacunes de connaissances concernant le diagnostic de résistance, la situation effective de la résistance dans le pays, l'épidémiologie des parasites, et l'utilisation raisonnée des acaricides.

Les éclairages suivants, relatifs à des régions spécifiques, illustrent la situation dans certains pays, étant entendu que la description n'est pas exhaustive. On trouvera des informations plus précises sur les réglementations, l'accès et l'utilisation des acaricides, dans le *document technique* – partie consacrée aux exigences réglementaires, intitulée *Regulatory requirements* (FAO, 2025).

Accès aux acaricides et utilisation en Amérique centrale et en Amérique du Sud

Accès aux produits acaricides: Le Brésil et l'Argentine sont d'importants fabricants nationaux de médicaments à usage vétérinaire et, par ailleurs, des acaricides sont fabriqués localement en Uruguay, en Équateur, en Colombie et au Mexique. Il n'est pas particulièrement difficile d'accéder aux acaricides dans la plupart des pays d'Amérique latine, cependant, des barrières à l'accès aux médicaments de qualité sont observées dans certains pays, comme le Mexique, la Colombie ou l'Équateur. Les acaricides sont le plus souvent en vente libre. Néanmoins, dans certains pays (par exemple, la Colombie, l'Équateur, le Mexique et l'Uruguay), la présentation d'une ordonnance est requise pour obtenir des molécules et/ou des formes pharmaceutiques spécifiques. Les acaricides sont vendus principalement par les coopératives agricoles et les commerçants de produits agricoles, mais les vétérinaires peuvent aussi jouer un rôle dans certains pays (figure 2). En général, les ventes d'acaricides ne sont pas surveillées.

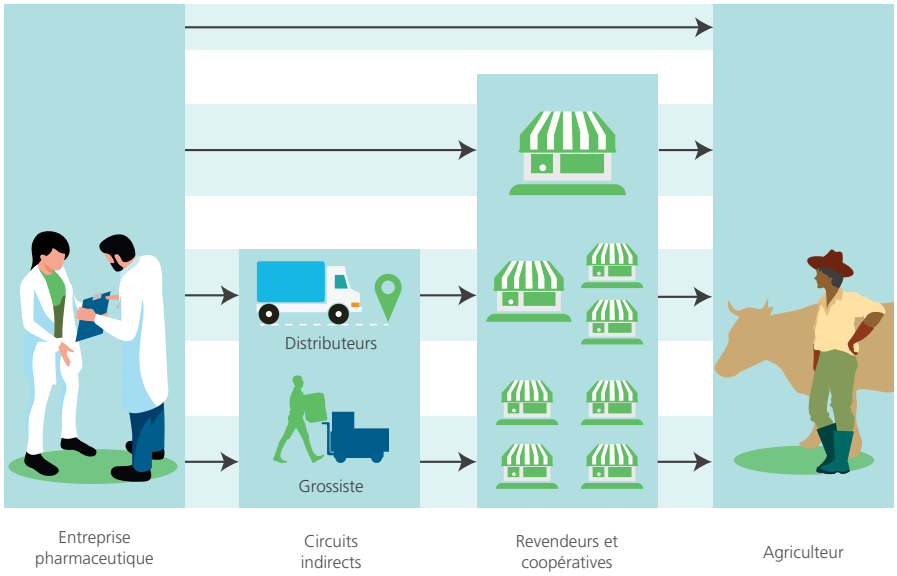
Utilisation sur le terrain: Les conseils aux agriculteurs concernant le choix des acaricides sont dispensés par les vétérinaires ou les commerçants de produits agricoles et, parfois, par des vendeurs non autorisés. En général, les agriculteurs eux-mêmes administrent les produits. Les acaricides sont employés pour prévenir et traiter les infestations de tiques et sont habituellement utilisés conformément aux instructions figurant sur l'étiquette et en fonction du contexte local et du système d'exploitation du bétail. Les petits éleveurs privilégient la pulvérisation manuelle, les formulations à verser et les acaricides injectables. Dans les grandes exploitations d'élevage bovin brésiliennes, des arroseurs sont utilisés pour traiter l'ensemble du troupeau régulièrement (tous les deux à trois mois). Il est souvent fait usage de combinaisons d'acaricides (deux ou trois familles chimiques). La rotation de différents groupes chimiques d'acaricides est une pratique courante. Les délais d'attente sont généralement respectés selon le système d'élevage bovin, et des méthodes garantissant l'analyse régulière de la présence de résidus d'acaricides dans les aliments sont disponibles et sont appliquées dans la plupart des pays. Cependant, l'emploi de produits non autorisés (par exemple, produits agrochimiques ou huile de moteur) pour traiter les infestations de tiques est aussi signalé lorsque le phénomène de résistance est prévalent (Villar *et al.*, 2020). En Argentine, en Colombie et en Uruguay, les producteurs doivent consigner dans un registre l'utilisation d'acaricides sur les exploitations.

Pharmacovigilance: Dans certains pays, les systèmes de pharmacovigilance centralisés sont parfois absents ou, s'il en existe, peuvent être mal connus des praticiens.

Collecte et élimination des acaricides: Des procédures réglementées de collecte et d'élimination ou de destruction des acaricides inutilisés ou périmés peuvent exister en Colombie, au Mexique et en Uruguay, mais il n'en existe ni en Argentine ni en Équateur. En Colombie et en Uruguay, un système de collecte a été mis en place.

[2] Une enquête a été conduite auprès des autorités de réglementation et des services vétérinaires dans huit régions, avec des contributions de spécialistes externes (comme des spécialistes des questions réglementaires issus d'entreprises pharmaceutiques et de centres collaborateurs de l'OMSA pour les produits vétérinaires) afin de dégager un aperçu exhaustif de l'accès aux acaricides et de leur utilisation sur le terrain. Le questionnaire portait sur des aspects tels que la disponibilité, l'utilisation, la pharmacovigilance, la gestion de l'élimination et les connaissances. Des réponses ont été collectées auprès des autorités de réglementation des médicaments à usage vétérinaire en Argentine, en Australie, au Burundi, en Colombie, au sein de la Commission de l'Union économique et monétaire ouest-africaine (UEMOA), aux États-Unis d'Amérique, en France, en Inde, au Kenya, au Maroc, au Mexique, en République-Unie de Tanzanie, au Rwanda et dans l'Union européenne (EMA), et auprès des services vétérinaires nationaux en Allemagne, en Australie, en Autriche, à Chypre, en Côte d'Ivoire, en Croatie, au Danemark, en Égypte, en Équateur, aux États-Unis d'Amérique, en Finlande, en Grèce, au Kenya, au Maroc, au Portugal, en République-Unie de Tanzanie, en Roumanie, au Rwanda, en Slovaquie, en Slovénie, en Suède et en Uruguay..

FIGURE 2
Accès aux acaricides et circuits de leur commercialisation dans la plupart des pays d'Amérique latine



Source: Auteurs du présent document.

Accès aux acaricides et utilisation en Amérique du Nord

Accès aux produits acaricides: Des acaricides sont fabriqués localement aux États-Unis d'Amérique et les exploitants agricoles accèdent régulièrement à des produits de qualité. Le nombre limité d'acaricides autorisés pour le bétail, par rapport aux pays d'Amérique centrale et d'Amérique du Sud, est signalé. L'administration des États-Unis chargée des produits alimentaires et pharmaceutiques (Food and Drug Administration [FDA]), l'Agence de protection de l'environnement (Environmental Protection Agency [EPA]) et/ou le Ministère de l'intérieur/service des douanes et de la protection aux frontières (Department of Homeland Security [DHS]/Customs and Border Protection [CBP]) contrôlent les produits non autorisés, d'ailleurs peu fréquents dans le pays. Chacune des autorités compétentes exerce un contrôle sur les importations. Les vétérinaires, les coopératives agricoles ou les commerçants de produits agricoles vendent les acaricides aux agriculteurs, selon la nécessité ou non de présenter une ordonnance.

Utilisation sur le terrain: Les conseils et recommandations concernant l'utilisation correcte des produits acaricides sont dispensés par un large éventail de parties prenantes, allant des vétérinaires aux voisins. D'une manière générale, il semble que les acaricides soient administrés par l'utilisateur final ou le vétérinaire conformément aux instructions de l'étiquette, que les délais d'attente soient respectés et que des systèmes d'analyse régulière des résidus d'acaricides présents dans les aliments soient établis.

Pharmacovigilance: Des manquements à la pharmacovigilance et des suspicions de résistance aux acaricides sont signalés par les vétérinaires, les paraprofessionnels vétérinaires et les propriétaires d'animaux. Les raisons pour lesquelles les événements indésirables ne sont pas toujours signalés au système de pharmacovigilance centralisé sont que, soit les mécanismes de transmission de l'information sont peu connus, soit les événements indésirables touchant des animaux destinés à l'alimentation humaine sont indécelables, soit les responsables des animaux n'associent pas ces événements au produit ou les considèrent comme un aléa normal des activités.

Collecte et élimination des acaricides: Il existe des procédures de collecte et d'élimination ou de destruction des acaricides inutilisés ou périmés. Des entreprises privées peuvent proposer ce service qui n'est pas soumis à une réglementation fédérale.

Accès aux acaricides et utilisation en Europe

Accès aux produits acaricides: Des acaricides sont fabriqués localement dans certains pays de l'Union européenne, et l'importation des médicaments à usage vétérinaire est du ressort de chaque État membre. Les exploitants agricoles accèdent à des produits de qualité, mais le nombre limité d'acaricides autorisés pour le bétail est souligné. L'emploi de produits non autorisés n'est pas permis, sauf conditions exceptionnelles ayant fait l'objet d'une déclaration préalable, et les importations illégales doivent être notifiées sur

le terrain. L'emploi d'acaricides de contrefaçon ou de produits non autorisés (par exemple, produits agrochimiques) n'est pas signalé dans le contexte de la lutte contre les tiques. À l'heure actuelle, aucun acaricide pour le bétail n'est autorisé dans le cadre d'une procédure centralisée au niveau de l'Union européenne, c'est pourquoi, tous les acaricides sont autorisés au titre, soit de procédures décentralisées, soit de procédures de reconnaissance mutuelle, soit de procédures nationales. En général, ces produits sont vendus exclusivement sur ordonnance, principalement par des vétérinaires et parfois par des pharmacies ou des revendeurs.

Utilisation sur le terrain: Les conseils aux agriculteurs concernant le choix des acaricides sont dispensés généralement par les vétérinaires et, plus rarement, par des auxiliaires de santé animale ayant reçu une formation ou par les coopératives agricoles ou les commerçants de produits agricoles. Les acaricides sont principalement administrés par les vétérinaires ou les agriculteurs, conformément aux instructions figurant sur l'étiquette, et leur utilisation dans les exploitations fait l'objet d'une enregistrement dans tous les pays ayant répondu à l'enquête. Sur le terrain, les délais d'attente sont respectés et des analyses régulières de la présence de résidus d'acaricides dans les aliments sont effectuées.

Pharmacovigilance: Un processus de pharmacovigilance permettant de signaler les événements indésirables (y compris le manque d'efficacité) a été mis en place dans tous les pays ayant répondu à l'enquête. Les principales raisons pour lesquelles les événements indésirables liés à des acaricides, observés sur le terrain, ne sont pas toujours signalés au système de pharmacovigilance centralisé sont les suivantes: manque de temps et de ressources, trop grande complexité ou caractère bureaucratique des procédures, informations insuffisantes sur l'obligation de signalement et la procédure correspondante, et difficulté à reconnaître le rôle exact du produit dans le contexte d'un manque d'efficacité ou de l'apparition d'effets secondaires.

Collecte et élimination des acaricides: Actuellement, la majorité des pays de l'Union européenne disposent de procédures adaptées de collecte et d'élimination ou de destruction sans danger des acaricides inutilisés ou périmés et sont tenus de respecter les nouvelles réglementations. Des pharmacies ou des établissements spécialisés s'occupent de la collecte dans quasiment tous les pays.

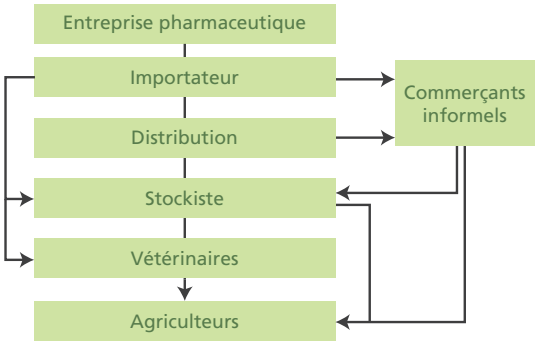
Accès aux acaricides et utilisation dans l'Union économique et monétaire ouest-africaine (UEMOA)

Accès aux produits acaricides: Il n'y a pas de fabrication locale d'acaricides dans les pays de l'Union économique et monétaire ouest-africaine (UEMOA) et les autorités compétentes locales contrôlent l'importation des acaricides et leur stock aux frontières. Néanmoins, la présence de produits non autorisés et d'acaricides de contrefaçon, de même que des importations illégales, sont signalées. Dans la région, l'un des principaux problèmes entravant l'accès aux produits de qualité est, premièrement, la couverture limitée de la distribution et, deuxièmement, le prix élevé de ces produits.

Les distributeurs locaux de médicaments et les commerçants informels sont les principaux vendeurs. Le flux de distribution, illustré à la figure 3, montre la fragmentation entre les intermédiaires, qui fait qu'il est difficile d'accéder à des médicaments de qualité et d'obtenir des recommandations valides. Les acaricides sont vendus sur ordonnance et les ventes libres sont interdites, cependant le manque de vétérinaires complique l'application effective de la réglementation.

Utilisation sur le terrain: Les conseils aux agriculteurs concernant le choix des acaricides sont dispensés

FIGURE 3
Accès aux acaricides et circuits de leur commercialisation en Afrique



Source: Auteurs du présent document.

par diverses parties prenantes, y compris les vendeurs informels. Les acaricides utilisés pour prévenir et traiter les infestations de tiques sont généralement administrés par les agriculteurs et, parfois, par des vétérinaires, des paraprofessionnels vétérinaires ou des auxiliaires de santé animale ayant reçu une formation. Les acaricides permettent de prévenir et de traiter les infestations de tiques mais, souvent, ne sont pas utilisés conformément aux instructions figurant sur l'étiquette. De plus, l'utilisation de produits non autorisés (par exemple, produits agrochimiques) pour traiter les tiques est signalée. Il est légalement obligatoire d'enregistrer l'emploi d'acaricides sur les exploitations mais, la plupart du temps, cette obligation n'est pas respectée. Les délais d'attente ne sont que partiellement respectés et aucun système n'est établi pour procéder à l'analyse réglementaire des résidus d'acaricides présents dans les aliments. Les acaricides habituellement employés sont à base d'amitraze et d'alphacyperméthrine et l'élimination manuelle des tiques reste une pratique courante. L'utilisation de pyréthrinoïdes de synthèse contribue aussi à la lutte contre les mouches tsé-tsé (Adehan *et al.*, 2018; Okello *et al.*, 2021).

Pharmacovigilance: Les vétérinaires ou préprofessionnels vétérinaires détectent des suspicions de résistance aux acaricides dans certains pays. Cependant, faute de système de pharmacovigilance opérationnel, il s'avère extrêmement difficile de faire état des événements indésirables liés à des acaricides, observés sur le terrain.

Collecte et élimination des acaricides: Il n'existe pas de procédure réglementée de collecte et d'élimination ou de destruction des acaricides inutilisés ou périmés.

Accès aux acaricides et utilisation en Afrique orientale et australe

Accès aux produits acaricides: Certains acaricides sont fabriqués localement en Afrique orientale et australe et l'importation d'acaricides et leur stock sont contrôlés aux frontières par les autorités. Cependant, la présence de produits de contrefaçon ou non autorisés, de même que des importations illégales, sont fréquemment signalées. La couverture limitée de la distribution et le prix élevé des produits de qualité freinent l'accès aux acaricides. Les circuits de distribution sont décrits à la figure 3. Les exploitants agricoles se procurent des acaricides en s'adressant aux vétérinaires, aux auxiliaires de santé animale ayant reçu une formation et aux commerçants de produits agrovétérinaires ou en recourant à des vendeurs non spécialisés. Les acaricides sont en vente libre. En République-Unie de Tanzanie, les pouvoirs publics réglementent la distribution des acaricides et mettent en œuvre un système de zonage pour différentes classes d'acaricides. Un échantillonnage aléatoire des médicaments à usage vétérinaire déjà autorisés est analysé périodiquement afin de vérifier que les lots mis en vente satisfont aux spécifications en matière de qualité.

Utilisation sur le terrain: Les conseils aux agriculteurs concernant le choix des acaricides sont dispensés par les vétérinaires, les paraprofessionnels vétérinaires ou des auxiliaires de santé animale ayant reçu une formation, les commerçants de produits agricoles ou des vendeurs informels. Les acaricides anti-tiques sont pulvérisés, administrés par immersion ou versés sur les animaux, la pulvérisation étant privilégiée dans les petites et moyennes exploitations en raison du coût prohibitif de l'installation de cuves d'immersion. L'élimination manuelle des tiques est une pratique fréquente dans les communautés pastorales. En Afrique du Sud, des cuves d'immersion communales ont été construites par le Ministère de l'agriculture il y a de nombreuses années afin d'appuyer la lutte contre les infestations et les populations de tiques. Des problèmes administratifs, structurels et financiers ont entraîné l'abandon de certaines cuves un peu partout dans le pays mais, dans de nombreuses autres zones, les cuves d'immersion communales font encore partie intégrante de la stratégie des pouvoirs publics en matière de soins primaires de santé animale. Outre la lutte contre les parasites, les immersions hebdomadaires supervisées permettent d'évaluer la santé des troupeaux et d'aider les propriétaires à répondre à d'autres besoins en matière de soins primaires de santé animale comme la vaccination. Par ailleurs, les lieux d'immersion servent de sites sentinelles pour la détection rapide des maladies animales.

Les acaricides sont souvent mal utilisés, mélangés à d'autres produits, ou remplacés par des produits agrochimiques destinés aux cultures, et les délais d'attente sont inégalement respectés. L'analyse réglementaire des résidus d'acaricide présents dans les aliments n'est pas toujours effectuée. L'utilisation d'acaricides doit être consignée sur un registre par les responsables de l'exploitation, et la surveillance des ventes est obligatoire dans certains pays, notamment la République-Unie de Tanzanie, mais limitée.

Pharmacovigilance: Les vétérinaires et les paraprofessionnels vétérinaires détectent des suspicions de résistance aux acaricides dans les pays mais, faute de système de pharmacovigilance, n'ont guère la possibilité d'en rendre compte concrètement.

Collecte et élimination des acaricides: Des procédures réglementées de collecte et d'élimination ou de destruction des acaricides inutilisés ou périmés, et des directives en la matière, existent dans plusieurs pays mais ne sont pas appliquées (par exemple, des directives sur la gestion des déchets de médicaments à usage vétérinaire sont disponibles au Kenya [Veterinary Medicines Directorate, 2022]).

Accès aux acaricides et utilisation en Afrique du Nord

Accès aux produits acaricides: Des acaricides sont fabriqués localement au Maroc et en Égypte, et il est relativement facile d'accéder aux parasiticides. Le prix élevé

des produits de qualité est toutefois considéré comme un obstacle à leur accès au Maroc. Les ventes sans ordonnance sont interdites au Maroc où tous les acaricides exigent la présentation d'une ordonnance, tandis qu'en Égypte, ils sont en vente libre. Au Maroc, les acaricides sont vendus par les vétérinaires et les pharmaciens, et des inspections sont effectuées dans les marchés aux bestiaux et les souks afin de déceler la présence de produits non autorisés, notamment acaricides.

Utilisation sur le terrain: Les conseils aux agriculteurs concernant le choix des acaricides sont dispensés par les vétérinaires. Ces produits sont généralement administrés par les vétérinaires et les exploitants agricoles, et sont fréquemment utilisés conformément aux instructions figurant sur l'étiquette. L'utilisation de produits non autorisés (par exemple, produits agrochimiques) pour traiter les infestations de tiques n'a pas été signalée. Au Maroc, aux termes de la loi, il est obligatoire de consigner sur un registre l'emploi d'acaricides dans les exploitations, ce qui n'est pas le cas en Égypte. Cependant, en pratique, cette loi est appliquée essentiellement dans les grands élevages. Il existe de nombreux petits troupeaux de bovins difficiles à inspecter. Au Maroc, les délais d'attente sont respectés principalement dans les grands élevages et des méthodes d'analyse régulière des résidus d'acaricides présents dans les aliments sont disponibles mais rarement employées.

Pharmacovigilance: Le Maroc dispose d'une procédure de pharmacovigilance qui permet de rendre compte des événements indésirables (y compris le manque d'efficacité). Mais, en Égypte, faute de système de pharmacovigilance opérationnel, il est extrêmement difficile de faire état des événements indésirables liés au acaricides, observés sur le terrain.

Collecte et élimination des acaricides: Actuellement, le Maroc dispose de procédures réglementées de collecte et d'élimination ou de destruction sans danger des acaricides inutilisés ou périmés, mais ces procédures ne sont pas encore appliquées.

Accès aux acaricides et utilisation en Asie (Inde)

Accès aux produits acaricides: En Inde, des acaricides sont fabriqués localement. Les produits acaricides sont en vente libre. Le choix des propriétaires d'animaux concernant les acaricides dépend de la disponibilité des produits et des conseils des paraprofessionnels vétérinaires, des commerçants et des voisins, les vétérinaires et autres professionnels du secteur de la santé animale n'intervenant que d'une manière limitée. Compte tenu de la facilité d'accès aux produits acaricides sur le marché local, sous différentes marques et dans des emballages de toutes les tailles, il est impossible de surveiller l'utilisation effective des acaricides. Des produits de contrefaçon sont parfois rencontrés sur le terrain.

Utilisation sur le terrain: Le produit est appliqué par les propriétaires des animaux, et les instructions figurant sur l'étiquette ne sont pas toujours respectées (concernant notamment le délai d'attente). Exception faite des grandes exploitations commerciales, au niveau des villages, l'utilisation d'acaricides sur les exploitations n'est pas enregistrée systématiquement. Les pyréthrinoïdes de synthèse, les lactones macrocycliques et l'amitraze sont largement utilisés tandis que le recours aux composés organophosphorés a reculé (Sharma *et al.*, 2012). Les acaricides à pulvériser ou à injecter sont les plus utilisés. L'utilisation stratégique des acaricides à l'appui de la gestion des étapes de développement des tiques sur les hôtes est quasiment inexistante et le dosage et la fréquence d'utilisation des acaricides sont largement du ressort des propriétaires d'animaux, qui se reportent aux instructions des fabricants comme informations de référence.

Collecte et élimination des acaricides: Les étiquettes donnent des informations sur la procédure à suivre pour la collecte et l'élimination sans danger des produits inutilisés ou périmés. Dans la pratique, les procédures ne sont pas suivies rigoureusement et il n'existe pas de système de surveillance ou d'application.

Pharmacovigilance: Il ne semble pas y avoir de système de pharmacovigilance spécifiquement établi pour les médicaments à usage vétérinaire. Cependant, les vétérinaires rendent compte du degré d'efficacité des acaricides disponibles et des chercheurs travaillent à la création d'une base de données sur la résistance aux acaricides.

Accès aux acaricides et utilisation en Océanie

Accès aux produits acaricides: Des acaricides sont fabriqués localement et le principal obstacle à leur accès est le nombre limité de points de vente. Les produits acaricides sont en vente libre et ne nécessitent pas la présentation d'une ordonnance.

Utilisation sur le terrain: Les vétérinaires, les commerçants de produits agricoles, les prestataires de services de vulgarisation relatifs à la gestion des parasites et les voisins des éleveurs représentent d'importantes sources de conseils sur l'emploi des acaricides. Les exploitants agricoles appliquent les acaricides qu'ils achètent à des commerçants de produits agricoles. Les produits sont utilisés conformément aux instructions figurant sur l'étiquette. Les délais d'attente sont respectés et des analyses sont effectuées pour contrôler la présence de résidus. L'utilisation de produits non autorisés est inconnue mais semble être limitée car, en Australie, des mesures efficaces sont prises pour surveiller l'importation, la fabrication et la vente d'acaricides non autorisés. En Nouvelle-Calédonie, les bovins sont traités essentiellement par pulvérisation ou immersion. Un seul acaricide est commandé chaque année pour l'ensemble du territoire et est utilisé jusqu'à l'apparition d'une résistance.

Il est alors progressivement remplacé par un nouvel acaricide. Par exemple, l'éthion a été utilisé de 1973 à 1986, puis a été remplacé par la deltaméthrine qui a été utilisée de 1982 à 2003, et enfin l'amitraze a été commandée en 1996. Aujourd'hui, dans les exploitations confrontées à une résistance à l'amitraze, des acaricides à action de longue durée (lactones macrocycliques et fluazuron) sont utilisés une ou deux fois par an dans le cadre d'un programme de lutte intégrée (Thomas Hüe, communication personnelle, 2024).

Pharmacovigilance: Une procédure de pharmacovigilance permettant de rendre compte des événements indésirables a été mise en place en Australie. Quiconque peut faire état d'un problème rencontré avec un produit chimique. Les responsables des produits (les entreprises pharmaceutiques) sont tenus de rendre compte des événements iatrogènes à l'autorité de réglementation. En Australie, les rapports de pharmacovigilance comprennent les rapports sur le manque d'efficacité. Les rapports concernant des effets indésirables sont suivis avec attention par l'autorité de réglementation. En Australie, les autorités compétentes procèdent à des échantillonnages aléatoires des produits pour en contrôler la qualité et rendent compte des événements indésirables médicamenteux.

Collecte et élimination des acaricides: En Australie, des programmes de gestion permettent de proposer aux utilisateurs de produits chimiques du secteur agricole et du secteur vétérinaire un moyen de recycler les conteneurs vides de produits chimiques agrovétérinaires remplissant certaines conditions et d'éliminer les produits chimiques agrovétérinaires devenus inutiles.

RÉSISTANCE AUX ACARICIDES CHEZ LES TIQUES DU BÉTAIL

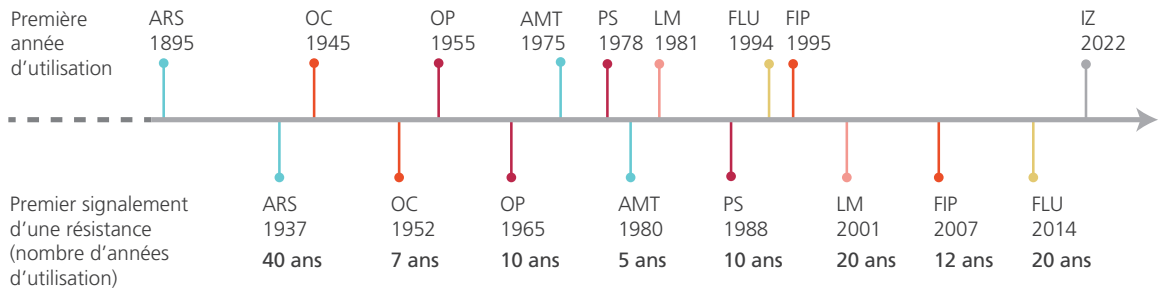
La résistance aux acaricides désigne la modification héréditaire du degré de sensibilité d'une population de tiques, qui se traduit par le fait qu'un principe actif échoue d'une manière répétée à parvenir au niveau de maîtrise attendu lorsqu'il est utilisé aux doses conseillées sur son étiquette et conformément à toutes les recommandations d'utilisation (FAO, 2004). La résistance croisée est définie comme la résistance à un acaricide déterminée par un mécanisme qui confère également la résistance à un acaricide appartenant à la même classe chimique, ou à une autre, même lorsque la population de tiques n'a pas été sélectionnée en étant exposée au deuxième acaricide. La résistance multiple est observée lorsque des tiques développent une résistance à au moins deux composés en exprimant des mécanismes de résistance multiple dans des groupes chimiques différents (Rodríguez-Vivas, Jonsson et Bhushan, 2018).

Chronologie des introductions d'acaricides et des premiers signalements de tiques résistantes

Le premier acaricide employé sur du bétail a été l'arsenic en 1895. Il a été largement utilisé partout dans le monde pendant 40 ans jusqu'à ce qu'un phénomène de résistance soit observé en 1937 (Newton, 1967). Au fil du temps, d'autres classes chimiques ont été mises sur le marché, suscitant l'apparition de résistances après 5 à 20 ans (figure 4).

FIGURE 4

Chronologie des premiers signalements de tiques résistantes après la commercialisation de diverses classes chimiques d'acaricides, ou de leurs produits représentatifs, pour traiter du bétail infesté



Note: AMT: amitraze, ARS: produits arsénicaux, FLU: fluazuron, FIP: fipronil; IZ: isoxazolines, LM: lactones macrocycliques, OC: organochlorés, OP: organophosphorés, PS: pyréthrinoïdes de synthèse.

Source: Compilations de données tirées de: **Agwunobi, D. O., Yu, Z., et Liu, J.** 2021. A retrospective review on ixodid tick resistance against synthetic acaricides: Implications and perspectives for future resistance prevention and mitigation. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 173; **George, J. E., Pound, J. M., et Davey, R. B.** 2004. Chemical control of ticks on cattle and the resistance of these parasites to acaricides. Parasitology, 129(S1): S353-S366; **Obaid, M. K., Islam, N., Alouffi, A., Khan, A. Z., da Silva Vaz Jr, I., Tanaka, T., et Ali, A.** 2022. Acaricides resistance in ticks: Selection, diagnosis, mechanisms, and mitigation. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 12; **Rodríguez-Vivas, R. I., Hodgkinson, J. E., et Trees, A. J.** 2012. Acaricide resistance in *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*: Current status and mechanisms of resistance. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 3: 9-24.

Situation actuelle de la résistance aux acaricides par zone géographique

Des résistances aux acaricides sont signalées chez des tiques du bétail à un hôte ou à plusieurs hôtes dans différentes parties du monde. Les informations fournies ci-dessous et à la figure 5 rendent compte des données actuellement disponibles et ne donnent qu'une image partielle car, dans certaines régions, la surveillance est limitée, voire inexistante. De plus, cette représentation est particulièrement évolutive, compte tenue de l'arrivée permanente de nouvelles données.

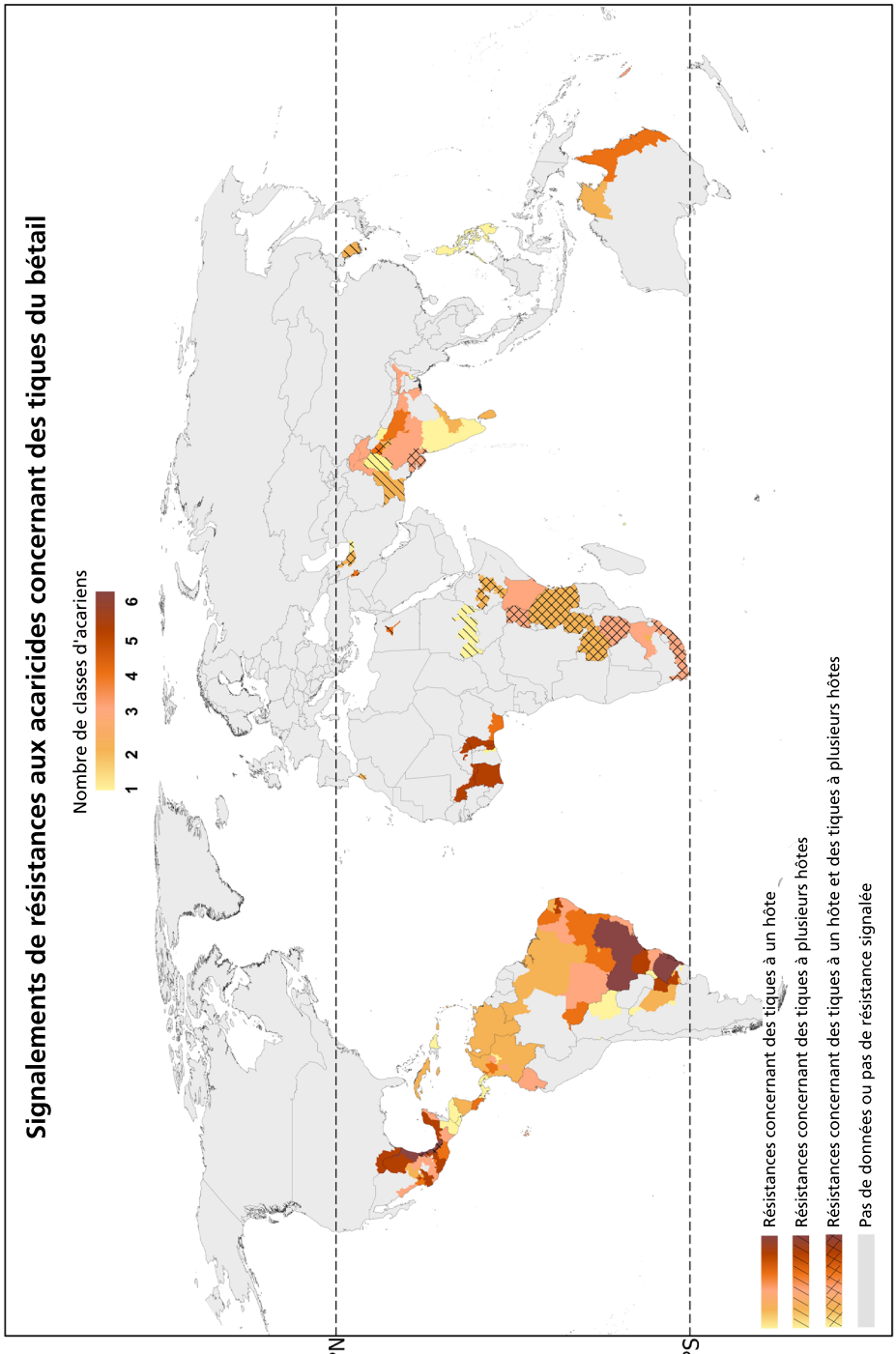
- Les tiques à un hôte sont éradiquées aux États-Unis d'Amérique, exception faite d'une étroite zone de quarantaine située le long du Rio Grande, au Texas, près de la frontière du Mexique, dans laquelle elles persistent. Dans cette zone, la situation de la résistance des populations de tiques est surveillée et contrôlée. Le niveau de résistance aux acaricides chez les tiques à plusieurs hôtes infestant le bétail aux États-Unis d'Amérique n'est pas connu.
- Dans les pays d'Amérique latine, la résistance aux acaricides de la tique à un hôte *R. (B.) microplus* a été abondamment décrite en Amérique centrale et en Amérique du Sud ainsi que dans les Caraïbes, des résistances étant signalées pour toutes les classes d'acaricides dans le sud du Brésil et le nord de l'Argentine et le long de la côte Atlantique mexicaine.
- En Europe, aucune résistance au sein des populations de tiques infestant le bétail n'est signalée. Cependant, le phénomène de résistance chez les tiques du bétail peut être présent dans les régions méditerranéennes et les territoires européens tropicaux[3].
- Au Proche-Orient, les données sont rares et celles qui sont actuellement disponibles proviennent de la République islamique d'Iran et de l'Iraq, où *R. (B.) annulatus* manifeste une résistance aux principales classes d'acaricides utilisées. Un phénomène de résistance chez H. anatolicum a également été signalé en Iraq.
- En Asie, les informations relatives à la résistance sont essentiellement fournies par l'Inde et le Pakistan, mais des signalements concernent aussi Sri Lanka et les Philippines. La résistance de la tique à un hôte *R. (B.) microplus* à la majeure partie des acaricides disponibles est signalée en particulier dans le nord de l'Inde et du Pakistan. Il est également fait état de la résistance de la tique à plusieurs hôtes *H. anatolicum*. Cependant, compte tenu du faible nombre de rapports, la situation de la résistance à l'échelle du continent n'est connue que partiellement.
- En Afrique du Nord, la situation de la résistance aux acaricides est peu étudiée. *R. (B.) annulatus* est la tique à un hôte prédominante dans la région méditerranéenne et, jusqu'à aujourd'hui, la résistance aux acaricides chez cette espèce a été signalée en Égypte. Un phénomène de résistance a aussi été signalé chez la tique à plusieurs hôtes *H. marginatum* au Maroc.
- En Afrique de l'Ouest, les signalements de résistances aux acaricides se multiplient, notamment depuis l'introduction de la tique à un hôte *R. (B.) microplus*. Des résistances à toutes les classes d'acaricides disponibles dans la région sont décrites. Elles concernent les zones côtières de la Côte d'Ivoire, du Ghana, du Togo, du Bénin et du Nigéria et s'étendent jusqu'au sud du Mali et au Plateau central du Burkina Faso. Cependant l'amplitude de la résistance n'est pas surveillée avec attention.
- En Afrique orientale et australe, la résistance aux acaricides est abondamment décrite dans de nombreuses études, en Ouganda, au Kenya, en République-Unie de Tanzanie et en Afrique du Sud. Les souches résistantes sont caractérisées essentiellement pour l'espèce de tiques à un hôte *R. (B.) decoloratus* et l'espèce de tiques à plusieurs hôtes *R. appendiculatus*.
- En Océanie, des populations de tiques à un hôte *R. (B.) australis*[4] résistantes aux acaricides les plus utilisés sont présentes dans le Queensland et en Nouvelle-Galles du Sud (Australie) et, dans une moindre mesure, dans le Territoire du Nord, ainsi qu'en Nouvelle-Calédonie. Dans le Queensland, des tiques du bétail résistantes sont fréquemment observées, notamment sur les hauts plateaux centraux et dans le sud-est et moins souvent vers le golfe septentrional et dans les parties occidentales (Gouvernement du Territoire du Nord, 2022).

[3] Aucune résistance aux acaricides n'est actuellement signalée dans cette région. Cependant, il a été décidé de faire figurer l'Europe dans la présente publication par souci d'exhaustivité.

[4] Dans la littérature, *R. australis* a été longtemps mentionnée sous le nom de R. microplus avant d'être rétablie dans sa qualité d'espèce distincte en 2012 (Estrada-Peña ***et al.***, 2012).

FIGURE 5

Carte de la répartition mondiale des signalements de résistances aux acaricides concernant des tiques du bétail à un hôte (*R. (B.) annulatus, R. (B.) decoloratus, R. (B.) microplus, R. (B.) australis*), et des tiques du bétail à plusieurs hôtes (*A. hebraeum, A. mixtum, A. variegatum, H. anatolicum, H. dromedarii, H. marginatum, Ha. longicornis, R. appendiculatus, R. bursa, R. evertsi*)



Frontières des pays d'après le **Service d'information géospatiale des Nations Unies**. 2023. Map of the World (Carte du monde). Dans: *Organisation des Nations Unies*. [Consulté le 10 octobre 2024]. https://www.un.org/geospatial/content/map-world-1

Note: Veuillez-vous reporter à la clause de non-responsabilité à la page [ii] relative aux noms et aux frontières qui figurent sur cette carte.. Les pointillés correspondent approximativement à la ligne de contrôle au Jammu-et-Cachemire convenue par l'Inde et le Pakistan. Les parties n'ont pas encore réglé la question du statut final du Jammu-et-Cachemire.
La souveraineté sur les îles Falkland (Malvinas) fait l'objet d'un différend entre le Gouvernement de l'Argentine et le Gouvernement du Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord.
Le tracé définitif de la frontière entre la République du Soudan et la République du Soudan du Sud n'a pas encore été défini. Le statut définitif de la zone d'Abyei n'est pas encore déterminé.
Source: Auteurs du présent document, à partir des données de référence obtenues par les méthodes décrites*.

* ALes signalements de résistances aux acaricides ont été recensés sur la base d'une recherche bibliographique systématique associée à la consultation d'experts. Une recherche spécifique sur la chimiorésistance a été réalisée dans les articles publiés entre 2003 et 2024, avec des mots-clés comme «drug resistance» (chimiorésistance) et les noms des acaricides pertinents, permettant d'extraire 460 articles. Pour parvenir à une couverture exhaustive des données relatives à la résistance aux acaricides, des articles plus anciens (14) publiés entre 1978 et 2002 ont également été examinés. Les données ont ensuite été structurées par pays et par région, ou par lieux spécifiques, comme indiqué dans les publications. De plus, nos résultats ont été complétés par des données non publiées recueillies par des experts de terrain. Toutes les données rassemblées ont été soigneusement recoupées et vérifiées par les experts de terrain. Enfin, une carte illustrant les résistances aux acaricides signalées a été produite au niveau régional 2, avant d'être combinée à une carte mondiale. Les régions choisies pour illustrer la présence de résistances aux acaricides ont été classées et colorées en fonction du nombre de classes d'acaricide concernées par les signalements. Les zones apparaissant en gris sur la carte sont celles où, soit les données sont insuffisantes, soit il n'y a pas de résistance.

Mécanismes de la résistance aux acaricides

Le *génotype* de la chimiorésistance est la composition génétique de la tique, qui entraîne l'expression du phénotype de résistance (Guerrero *et al.*, 2014; Rodríguez-Vivas, Jonsson et Bhushan, 2018). L'expression de la résistance *phénotypique* est déterminée en mesurant le degré de sensibilité des tiques exposées à un acaricide aux doses ou concentrations thérapeutiques recommandées, *in vivo* ou dans le cadre d'essais biologiques.

Les principaux mécanismes de la résistance aux acaricides se classent habituellement en trois catégories: a) mutation du site cible (résistance par altération du site cible), b) intensification de la détoxification métabolique (résistance métabolique), et c) réduction de la pénétration cuticulaire (résistance liée à la pénétration) (Chouaïbou *et al.*, 2014; Guerrero, Lovis et Martins, 2012) (tableau 3).

La *résistance par altération du site cible* se développe lorsque le gène codant pour le site cible de la molécule subit une substitution nucléotidique simple ou multiple entraînant des mutations des acides aminés, qui contribuent à affaiblir la liaison avec l'acaricide (Guerrero *et al.*, 2014).

La *résistance métabolique* suppose une intensification de la détoxification métabolique de l'acaricide, résultant de l'intensification de l'expression ou de l'activité d'enzymes de détoxification. La résistance métabolique est généralement déterminée par certaines familles d'enzymes, en particulier les mono-oxygénases (cytochrome P450), les estérases, les glutathion S-transférases, et les transporteurs ABC P-glycoprotéines (Guerrero *et al.*, 2014; Waldman, Klafke et da Silva, 2023).

La *réduction de la pénétration cuticulaire* est considérée comme un mécanisme mineur de résistance aux acaricides chez les tiques du bétail (Schnitzerling, Nolan et Hughes, 1983). Il n'existe pour l'heure aucun élément démontrant un lien direct entre la résistance aux acaricides et la pénétration cuticulaire.

D'une manière générale, on ne s'attend pas à une réversion à la sensibilité après l'apparition d'une résistance aux acaricides. Cependant, quelques rares cas ont été signalés pour l'amitraze ainsi que pour la cyperméthrine (Jonsson *et al.*, 2010b; Petermann *et al.*, 2016; Rodríguez-Vivas, 2008; Corley *et al.*, 2013; Foil *et al.*, 2004).

Mode de transmission héréditaire de la résistance aux acaricides

Les traits héréditaires comme la résistance aux acaricides sont parfois mentionnés comme ayant un mode de transmission dominant, partiellement dominant ou récessif. Théoriquement, le mode de transmission héréditaire (déterminé par la valeur sélective [«fitness»] relative des génotypes résistants homozygotes, hétérozygotes, et sensibles homozygotes) est un facteur important de la

TABLEAU 3
Mécanismes moléculaires déjà caractérisés de la résistance aux acaricides chez les tiques du bétail

Acaricide	Site cible	Mécanismes de résistance décrits	
		Mécanisme	Références bibliographiques
Pyréthrinoïdes de synthèse	Canal sodique voltage-dépendant	Mutations du canal sodique Para (ou mutations «knock-down resistance» [kdr]) (M57T; G72V; L64I; F1550I; F1550L; C190A)	Kumar, Klafke et Miller (2020)
		Résistance déterminée par le cytochrome P450	Cossío-Bayúgar *et al.* (2018); Nagar *et al.* (2021)
		Résistance déterminée par des estérases	Guerrero, Li et Hernandez (2002)
Organophosphorés	Acétylcholinestérase	Mutations des acétylcholinestérases	Temeyer, Pruett et Olafson (2010)
Amitraze	Récepteurs de l'octopamine	Mutations du récepteur de l'octopamine/de la tyramine(T8P; L22S)	Baron *et al.* (2015); Jyoti *et al.* (2021)
		Mutations du récepteur de l'octopamine de type bêta 2-adrénergique (T60P; I61F; I62T; Y88S)	Corley *et al.* (2013); Jonsson *et al.* (2018)
		Résistance déterminée par le cytochrome P450	de La Canal *et al.* (2021)
Fipronil	Canal chlorure GABA-dépendant	Mutations des canaux chlorures GABA-dépendants (A286S; A286L)	Castro-Janer *et al.* (2019)
Lactones macrocycliques	Canal chlorure glutamate-dépendant	Résistance déterminée par des transporteurs ABC	Le Gall, Klafke et Torres (2018); Pohl *et al.* (2011)
Fluazuron	Synthase de la chitine	Inconnu	-
Isoxazolines	Canal chlorure glutamate-dépendant et GABA-dépendant	Inconnu	-

Source: Auteurs du présent document, d'après des données de référence.

vitesse d'apparition du phénomène de résistance mais, dans la pratique, son utilité n'a pas été démontrée. La mesure dans laquelle une résistance peut être déclarée dominante ou récessive est vraisemblablement influencée par les conditions sur le terrain – les profils de résistance *in vitro* ne correspondent pas toujours exactement à ceux observés *in vivo* sur le terrain. De plus, dans la littérature, les études qui traitent du mode de transmission héréditaire sont contradictoires.

Facteurs influant sur la vitesse d'apparition de la résistance aux acaricides

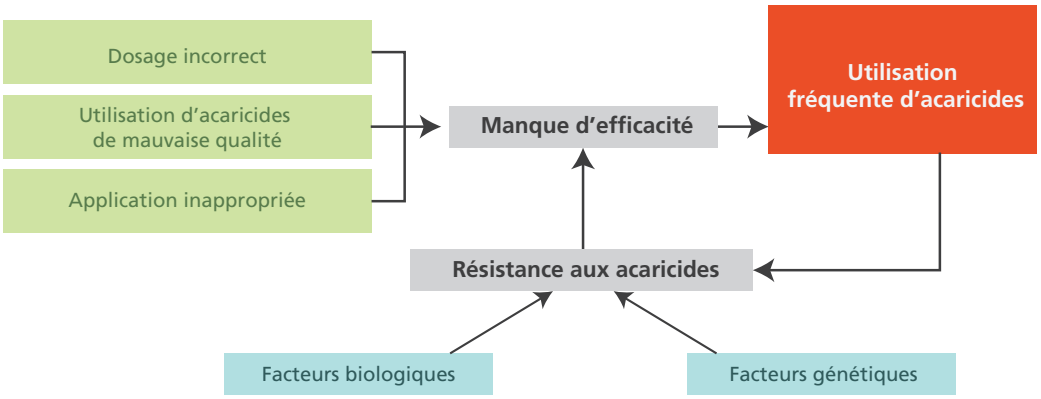
La sélection du phénotype de résistance résulte de l'exposition de la population de tiques résistantes à des composés acaricides. La résistance aux acaricides est difficile à prévenir, mais le principal facteur influant sur son apparition et sa progression dans une exploitation est l'utilisation particulièrement fréquente d'acaricides, notamment de produits ayant le même mode d'action. Les facteurs associés sont indiqués à la figure 6 (Abbas *et al.*, 2014; Aguilar-Tipacamú *et al.*, 2011; Githaka *et al.*, 2022). La pression de sélection favorisant la résistance aux acaricides est également fortement dépendante de la proportion de tiques non exposées aux traitements lorsque ceux-ci sont administrés (Kunz et Kemp, 1994), et de la proportion de générations soumises aux traitements (Rodríguez-Vivas, Jonsson et Bhushan, 2018).

Le refuge désigne la proportion de tiques dans n'importe quelle population, qui ne sont pas exposées aux traitements acaricides – les tiques en phase libre. Généralement, la majeure partie de la population refuge se trouve dans les pâturages tandis que le refuge sur les animaux ne représente qu'une petite proportion de la population vivant dans l'environnement. Cette population refuge, principalement sensible au début, déterminera la vitesse à laquelle la résistance deviendra visible pour l'agriculteur. Selon l'espèce de tiques qui est traitée et la période de l'année à laquelle les acaricides sont administrés, le refuge peut correspondre à une proportion très variable de la population. En général, quel que soit le moment considéré, la proportion de tiques en phase libre dans les populations de tiques à plusieurs hôtes est sensiblement plus élevée que dans les populations de tiques à un hôte. Avec les tiques à un hôte, le refuge peut représenter une faible proportion de la population au début de la saison des tiques. C'est l'une des raisons les plus plausibles qui explique que la sélection favorisant la résistance soit plus rapide chez les tiques à un hôte.

Le nombre de générations de tiques requis pour produire une population résistante varie selon la classe chimique (mode de transmission héréditaire des allèles de résistance), la fréquence des applications, l'efficacité des acaricides et les erreurs commises dans l'application des acaricides (Rodríguez-Vivas, Jonsson et Bhushan, 2018).

Les pratiques opérationnelles et certains facteurs biologiques favorisent la sélection des traits de résistance présents naturellement dans les populations de tiques, avec les activités humaines exerçant une pression de sélection. Parallèlement, des conditions climatiques favorables accélèrent l'émergence de générations résistantes en raison du raccourcissement des cycles de développement (Githaka *et al.*, 2022).

FIGURE 6
Principaux facteurs contribuant à accélérer la sélection des tiques résistantes aux acaricides dans une exploitation agricole



Source: Auteurs du présent document.

Méthodes actuelles de diagnostic et de surveillance de la résistance aux acaricides

Lorsque les traitements recommandés ne semblent pas être efficaces sur le terrain, la première étape consiste à vérifier que le produit est utilisé correctement. Ensuite, il est conseillé d'étudier la situation de la résistance en effectuant des tests de diagnostic. Nous avons vu que les résultats des essais réalisés *in vitro* ne correspondent pas toujours exactement à ceux des essais réalisés *in vivo*, cependant, l'évaluation *in vitro* des profils de résistance dans le cadre d'essais biologiques est recommandée principalement et avant tout parce qu'elle permet d'extrapoler les résultats à l'échelle d'une population et à un vaste éventail de composés tout en restant réalisable.

Les souches de tiques résistantes aux acaricides peuvent être diagnostiquées au moyen de protocoles d'essais reconnus sur le plan international, et les procédures de diagnostic doivent être normalisées pour permettre une surveillance permanente et faciliter la comparaison des résultats des tests au fil du temps et en différents lieux. Conformément aux avis d'experts, depuis 1971, la FAO promeut l'utilisation du test du paquet larvaire *larval packet test* (LPT) pour les enquêtes de terrain relatives à la résistance aux acaricides (FAO, 1971, 1977, 2004). Cependant, d'autres méthodes ont été mises au point et continuent à être utilisées et modifiées (par exemple, le *larval immersion test* (LIT) et le *adult immersion test* (AIT)[5].

Le choix de la technique d'analyse biologique dépend de plusieurs facteurs, notamment la quantité de tiques femelles gorgées de sang disponibles, le délai entre la collecte de l'échantillon et son arrivée au laboratoire, le nombre d'acaricides et de concentrations à examiner, et l'aptitude du laboratoire à utiliser certaines techniques, compte tenu du matériel à disposition et de l'accès aux réactifs et aux acaricides. La fiabilité des tests de résistance aux acaricides dépend de la qualité des échantillons recueillis sur le terrain. Il peut s'avérer nécessaire de conseiller les vétérinaires, les agents de vulgarisation et les exploitants agricoles sur la façon de recueillir, de manipuler et de soumettre correctement les échantillons de tiques afin que les laboratoires de diagnostic reçoivent des échantillons d'essai adaptés. Les barrières à l'utilisation de tests de diagnostic existent et varient d'une région à l'autre. Il peut s'agir notamment de l'accès difficile aux laboratoires d'analyse, de la procédure de collecte et d'envoi des tiques ou encore du coût des tests.

On trouvera une description détaillée des protocoles d'échantillonnage des tiques et des essais biologiques disponibles pour détecter une résistance aux acaricides, dans le *document technique* – partie consacrée au diagnostic et à la surveillance de la résistance aux acaricides, intitulée *Diagnosis and monitoring of acaricide resistance* (FAO, 2025).

Larval packet test (LPT)

Le LPT est fondé sur les protocoles établis et publiés par Stone et Haydock (1962). Il s'agit de l'essai biologique le plus apte à être répété pour de nombreux acaricides courants, mais le temps qu'il demande en limite l'utilisation. Il n'en reste pas moins le test de choix pour les enquêtes et les diagnostics de résistance. La réalisation du LPT visant la détection de résistances chez des tiques à un hôte demande approximativement six semaines, depuis la collecte des femelles gorgées de sang jusqu'à l'exposition des larves à des papiers filtres imprégnés de substances chimiques et à la quantification de la mortalité provoquée après une période donnée (dépendante du principe actif). Des protocoles existent pour toutes les classes chimiques d'acaricides, exception faite des régulateurs de croissance anti-acariens, comme le fluazuron, car les composés de ce type agissent sur le processus de mue des tiques qui n'est pas pris en compte dans le LPT.

Larval immersion test (LIT)

Cet essai biologique réalisé sur des larves a été initialement mis au point par Shaw (1966), puis a été modifié pour les lactones macrocycliques par Sabatini *et al.* (2001), avec l'immersion des larves de tiques dans des tubes de microcentrifugation (m-LIT). Cette technique est plus sensible que le LPT s'agissant de détecter la résistance aux lactones macrocycliques (Klafke *et al.*, 2006, 2012; Sabatini *et al.*, 2001). Le LIT fournit un résultat en approximativement six semaines, soit le même délai que le LPT. Comme le LPT, le LIT ne permet pas de diagnostiquer une résistance potentielle au fluazuron.

Adult immersion test (AIT)

L'AIT est un essai biologique réalisé sur des tiques femelles adultes gorgées de sang. L'AIT a été décrit par Drummond *et al.* (1973) et a été utilisé comme un essai biologique de sélection permettant de déterminer l'efficacité relative de nouvelles classes d'acaricides contre plusieurs espèces de tiques. Dans ce test, l'efficacité *in vitro* d'un acaricide est évaluée en mesurant la performance de reproduction de femelles gorgées de sang traitées, et plus particulièrement la réduction de la production d'œufs et la viabilité des œufs. Les résultats sont généralement obtenus deux semaines après la réalisation du test. Les acaricides peuvent être appliqués à des concentrations définies par le laboratoire (essais concernant la réaction à une dose donnée ou essais

[5] En 2023, un questionnaire envoyé aux membres de la communauté de pratique de la FAO sur la gestion de la résistance aux acaricides des tiques du bétail a fait apparaître que la méthode la plus fréquemment utilisée dans 33 laboratoires participant au diagnostic de la résistance aux acaricides dans le monde entier était le LPT (48 pour cent), suivi par le AIT (33 pour cent) et le LIT (18 pour cent).

concernant les doses discriminantes) ou aux concentrations recommandées sur l'étiquette. Pour l'AIT, il faut collecter un nombre de tiques femelles adultes plus important que pour les tests effectués sur des larves. À ce jour, l'AIT représente la seule méthode disponible pour diagnostiquer la résistance au régulateur de croissance anti-acariens, le fluazuron.

Autres méthodes de détection de la résistance

Larval tarsal test (LTT)

Le LTT représente une méthode efficace et rapide d'évaluer un vaste éventail de composés et de dosages, ce qui le rend particulièrement utile pour étudier les résistances dans les populations de terrain (Lovis *et al.*, 2011, 2013). Les comparaisons avec le LPT montrent que le LTT produit des ratios de résistance similaires mais avec des concentrations létales jusqu'à 150 fois inférieures. Ce test vise à simplifier le processus grâce à l'utilisation de plaques multipuits et il élimine la nécessité de manipuler des larves en mouvement.

Syringe immersion test (SIT)

Le SIT est une adaptation du m-LIT, consistant à exposer les larves en les plaçant dans des seringues à injection couvertes d'un filet ou d'un morceau de tissu. Le principal avantage de cette technique est qu'elle nécessite une manipulation minimale des larves vivantes, puisque des œufs en quantités égales (10 mg) sont mis à éclore à l'intérieur de seringues. Le test effectué avec des seringues a été d'abord proposé pour évaluer l'activité des acaricides (de Souza *et al.*, 2008) puis a été adapté pour tester des extraits de plantes contre les tiques *R. (B.) microplus* (Sindhu, Jonsson et Iqbal, 2012). Une comparaison directe du LPT, du m-LIT et du SIT a montré que, au moins pour l'amitraze, le LPT était le test de diagnostic de résistance aux acaricides le plus fiable (Santos *et al.*, 2013). La technique est aussi fiable que le m-LIT s'agissant de déterminer la toxicité des lactones macrocycliques pour *R. (B.) microplus* (Robaina, Caballero et Suárez, 2023).

Test in vivo

Les tests d'efficacité *in vivo* sont utiles pour les études visant à confirmer une résistance détectée au moyen d'essais biologiques (Evans *et al.*, 2024; Torrents *et al.*, 2020). De plus, associés à des tests *in vitro*, ils sont fondamentaux s'agissant de décrire et de caractériser une résistance à des composés acaricides lorsque celle-ci se manifeste pour la première fois face à un acaricide particulier (Reck *et al.*, 2014). Le test consiste à compter directement les tiques présentes sur les animaux infestés, avant et après le traitement acaricide. Cette méthode peut permettre de mesurer l'efficacité des produits à leur dose thérapeutique.

En pratique, la réalisation du test sur le terrain consiste à sélectionner des animaux représentatifs avec des infestations de tiques analogues pour chaque groupe testé, puis à administrer les acaricides conformément aux instructions du fabricant, en respectant le dosage adapté au poids de l'animal et à son espèce. Après le traitement, les tiques présentes sur chaque animal traité sont comptées. La différence entre le nombre de tiques présentes sur les animaux de contrôle et le nombre de tiques présentes sur les animaux traités déterminera l'efficacité du produit. Pour en savoir plus sur les protocoles complets d'évaluation *in vivo* de l'efficacité dans le cadre d'études contrôlées comme des essais en enclos ou en étable, on trouvera des procédures détaillées dans les directives du WAAVP (Holdsworth *et al.*, 2006).

Interprétation des résultats

Les essais biologiques d'acaricides réalisés sur des tiques peuvent être utilisés pour estimer la fréquence des tiques résistantes dans une population. Deux formes d'analyse peuvent être effectuées:

a) Dans les tests concernant la réaction à un dosage donné, la réponse au traitement (généralement exprimée par la CL_{50}) d'une population suspectée d'être résistante est comparée à la réponse d'une souche de référence sensible. Le ratio de la CL_{50} de l'échantillon analysé sur la CL_{50} de la souche de référence sensible fournit le facteur de résistance (FR) ou le ratio de résistance (RR).

b) Dans les tests concernant la dose discriminante, la mortalité des tiques (s'il s'agit du LPT ou du LIT) ou la réduction de la fertilité des femelles adultes (s'il s'agit de l'AIT) est quantifiée à une concentration critique prédéterminée (déterminée expérimentalement), à laquelle une mortalité de 100 pour cent est attendue dans une population sensible. On trouvera des informations plus détaillées sur l'interprétation des résultats d'un essai biologique dans le *document technique* (FAO, 2025).

Futures méthodes de diagnostic et de surveillance de la résistance aux acaricides

D'autres méthodes de diagnostic sont en cours de mise au point, notamment celles qui sont évoquées ci-après.

Test d'intensité de la résistance

Le test d'intensité de la résistance est une variante du LPT, dans laquelle, des papiers filtres sont imprégnés de formulations commerciales à la concentration recommandée par les fabricants et à des concentrations cinq fois et 10 fois supérieures. Cette méthode est adaptée du protocole d'évaluation de l'intensité de la résistance décrit dans les directives de l'OMS les plus récentes sur la détection de la résistance chez les vecteurs du paludisme, qui prévoit l'utilisation de la concentration exacte et des concentrations cinq fois et 10 fois supérieures, de manière à déterminer le degré d'intensité faible, modéré ou élevé, respectivement, de la résistance (Bagi *et al.*, 2015; Jongejan *et al.*, 2024).

Tests moléculaires

Quelques polymorphismes nucléotidiques simples associés à la résistance aux acaricides ont été trouvés dans les gènes codants des sites cibles des acaricides chez les tiques. L'existence de ce type de marqueur a été signalée sur le canal sodique voltage-dépendant (pour les pyréthrinoïdes de synthèse), les acétylcholinestérases (pour les organophosphorés), le récepteur bêta-adrénergique de l'octopamine et les récepteurs de l'octopamine/la tyramine (pour l'amitraze), et les canaux chlorure GABA-dépendants (pour le fipronil) (Castro-Janer *et al.*, 2021; Corley *et al.*, 2013; Fular *et al.*, 2018; He *et al.*, 1999; Heylen *et al.*, 2024; Jonsson *et al.*, 2010a; Jyoti *et al.*, 2016; Kumar *et al.*, 2013; Nagar *et al.*, 2016; Rodríguez-Vivas *et al.*, 2012; Vudriko *et al.*, 2022).

L'utilité du génotypage utilisant ces marqueurs apparaît dans l'exemple suivant: la présence de mutations dans le gène du canal sodique (mutations «kdr») permet de détecter précocement les gènes associés à la résistance aux pyréthrinoïdes à faible fréquence dans les populations de tiques *R. (B.) microplus*, (Guerrero, Li et Hernandez, 2002; Stone *et al.*, 2014) et, lorsque le nombre de tiques collectées ou leur étape de développement ne permet pas de réaliser des essais biologiques, le génotypage demeure réalisable (Thomas *et al.*, 2020).

Cependant, la corrélation entre la fréquence des allèles conférant la résistance (essai moléculaire) dans les échantillons de tiques et leur phénotype de résistance (analyse par essais biologiques-*in vivo*) n'existe pas toujours, ce qui limite l'intérêt pratique des essais moléculaires actuels pour poser un diagnostic.

MENACE PRÉSENTÉE PAR LES ACARICIDES POUR LA SANTÉ ET LE BIEN-ÊTRE DES ANIMAUX, LA SANTÉ PUBLIQUE ET L'ENVIRONNEMENT

Les réglementations mises en place dans la plupart des pays et les instructions d'utilisation figurant sur les étiquettes et les notices des acaricides visent à réduire autant que possible les risques pour la santé et le bien-être des animaux, la sécurité sanitaire des utilisateurs et l'environnement. Cependant, malgré l'existence de réglementations et de mesures de contrôle et leur durcissement, la non-conformité aux réglementations et aux instructions ainsi que l'utilisation intensive des acaricides peuvent compromettre la sécurité sanitaire des aliments et avoir des effets toxiques touchant les espèces hôtes, les animaux non ciblés et la santé publique. Il peut également y avoir des conséquences environnementales négatives sous la forme de pollutions de l'eau et des sols (Bolognesi et Morasso, 2000; Molento et Brandão, 2022; Obaid *et al.*, 2022; Silva *et al.*, 2019; Songa et Okonkwo, 2016). Aucune donnée n'est disponible pour évaluer l'utilisation des acaricides dans le secteur de l'élevage bovin ou encore la proportion de produits finissant dans l'environnement, mais des estimations ont été faites au Brésil. Il a été indiqué que, chaque année, 15 tonnes d'ivermectine (lactone macrocyclique) étaient éliminées dans les déjections des bovins et quelque 200 millions de litres d'acaricides topiques (organophosphorés et pyréthrinoïdes de synthèse) finissaient dans l'environnement (Molento, 2020).

La perte d'efficacité des acaricides a eu des répercussions sur la lutte contre les tiques en encourageant l'utilisation plus fréquente des produits, l'augmentation des concentrations, la multiplication des combinaisons de médicaments et le recours à des produits agrochimiques non autorisés, aggravant ainsi ces scénarios.

La présente partie se rapporte aux incidences que les acaricides pourraient avoir sur la santé publique, les animaux et l'environnement et aux dangers potentiels en la matière. On trouvera une description des mesures pratiques visant à réduire autant que possible les conséquences indésirables des acaricides, dans le *document technique* – partie consacrée aux meilleures pratiques d'utilisation et d'application des acaricides, intitulée *Best practice for acaricide use and application* (FAO, 2025).

Voies et dangers potentiels de l'exposition aux acaricides

Le port de matériel de protection individuel et la prise de mesures de sécurité sanitaire générales sont recommandés afin de limiter les risques pour l'utilisateur et doivent être adaptés aux produits utilisés. Faute d'application de ces mesures de protection, des personnes peuvent être exposées aux acaricides par voie cutanée, oculaire, orale et respiratoire pendant le transport, la préparation, la dilution et l'application des produits (Siriwat *et al.*, 2021; Tudi *et al.*, 2022). Un délai d'attente pour le lait et la viande est fixé en vue de limiter le risque d'exposition du consommateur aux résidus de produits éventuellement présents dans ces aliments. Le non-respect du délai d'attente est susceptible d'exposer le consommateur à des aliments contaminés.

L'information croissante sur les incidences environnementales, de même que les réglementations mises en place, contribuent à réduire les risques potentiels des produits acaricides pour nos écosystèmes et la biodiversité. Cependant, les réglementations environnementales n'existent pas partout et le risque qu'une pollution environnementale touche les ressources naturelles (cours d'eau, étendues d'eau, sol) et la faune non ciblée demeure bien réel, en particulier lorsque les produits sont employés d'une manière intensive. La pollution environnementale associée aux différentes méthodes d'application des acaricides dans le secteur de l'élevage résulte du ruissellement des liquides lorsque les animaux sortent de la cuve d'immersion ou sont aspergés, du lessivage des formulations liquides par l'eau de pluie, des fuites d'eaux usées des cuves d'immersion, de leur évacuation, ou de leur rejet dans les sources d'eau, y

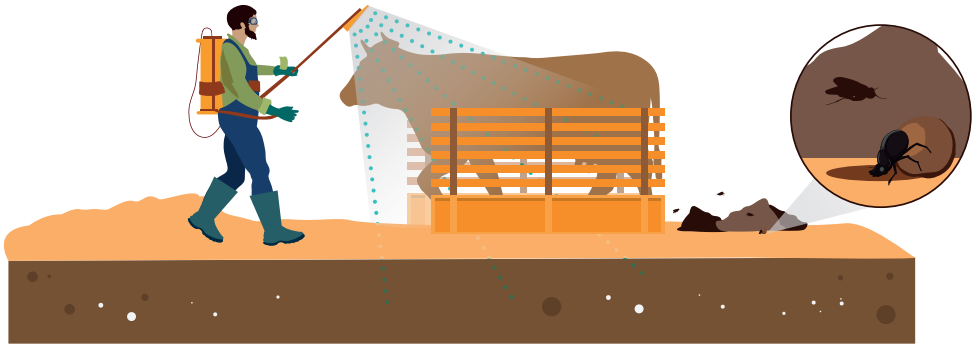
compris les eaux souterraines et les sols, et de l'élimination dans l'urine et les excréments (figure 7).

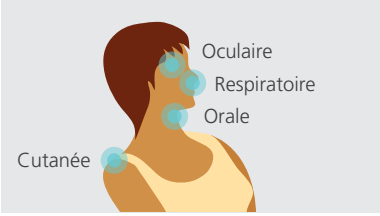
Danger et toxicité des acaricides pour la santé humaine

La toxicité d'un acaricide est la capacité de celui-ci à produire une maladie aiguë ou chronique ou la mort, tandis que le risque (danger) est une combinaison de la toxicité et de l'exposition des êtres humains (ou des animaux). Le risque de toxicité d'un acaricide dépend du mécanisme d'action, de la durée d'exposition et de la dose d'exposition (Avsarogullari *et al.*, 2006; Sarwar, 2015).

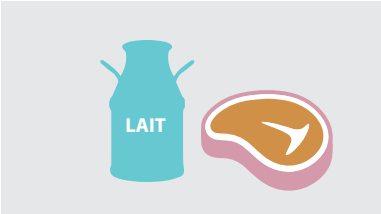
L'empoisonnement aigu involontaire par un pesticide survient de quelques minutes à plusieurs heures après l'intoxication par ce produit. Aujourd'hui, les avertissements figurant sur l'étiquette se conforment à la classification des produits commerciaux établie par l'OMS (2019) en fonction de leur toxicité aiguë, à savoir, extrêmement dangereux (Ia), fortement

FIGURE 7
Voies et dangers potentiels de l'exposition aux acaricides

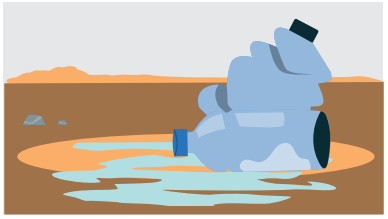


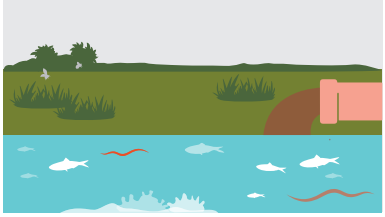


Les utilisateurs de produits acaricides peuvent être exposés aux acaricides par voie cutanée, oculaire, orale et respiratoire pendant le transport, la préparation, la dilution et l'application des produits.



Le non-respect du délai d'attente est susceptible d'exposer le consommateur à des aliments contaminés (viande et lait).





La pollution environnementale associée aux différentes méthodes d'application des acaricides dans le secteur de l'élevage résulte du ruissellement des liquides lorsque les animaux sortent de la cuve d'immersion ou sont aspergés, du lessivage des formulations liquides par l'eau de pluie, des fuites d'eaux usées des cuves d'immersion, de leur évacuation, ou de leur rejet dans les sources d'eau, y compris les eaux souterraines et les sols, et de l'élimination dans l'urine et les excréments. Cette pollution peut toucher des organismes aquatiques et terrestres, comme les insectes (bousiers, abeilles, mouches), les arthropodes et les acariens non ciblés vivant en liberté.

Source: Auteurs du présent document.

dangereux (Ib), modérément dangereux (II), légèrement dangereux (III) et peu susceptibles de présenter un danger aigu (IV) (voir au tableau 2). Cependant, chez les personnes travaillant dans des élevages intensifs, une exposition de longue durée aux acaricides est généralement observée (Mathews, 2016), ce qui peut être nocif pour la santé humaine (Villar et Schaeffer, 2022). Les cas d'intoxication sont nombreux parmi les exploitants agricoles et les travailleurs ruraux, ainsi que dans leurs familles, en particulier dans les pays à revenu faible ou intermédiaire, où la capacité à satisfaire aux exigences en matière de sécurité sanitaire applicables aux produits les plus dangereux est insuffisante. Ces cas d'empoisonnements sont étroitement liés à l'utilisation intensive et inappropriée des acaricides, à des pratiques dangereuses, à l'absence de mesures de protection et au manque de connaissances sur l'utilisation des acaricides (Graf *et al.*, 2004).

Santé et bien-être des animaux

Mal utilisés ou administrés à des doses excessives, les acaricides peuvent nuire à la santé et au bien-être des animaux. Les acaricides les plus récemment développés sont généralement moins dangereux que les anciens, mais certains de ces derniers sont encore largement employés dans les pays à revenu faible ou intermédiaire. Les effets nocifs potentiels peuvent être les suivants: irritation de la peau, salivation, convulsions et mort des animaux. Cependant, les principaux risques pour les animaux et leur bien-être sont les risques liés à l'utilisation de produits interdits chez les animaux, comme les produits agrochimiques autorisés exclusivement à des fins agricoles. Le problème se pose tout particulièrement dans les situations de résistance à plusieurs acaricides, lorsque les agriculteurs sont contraints de trouver des solutions inédites en l'absence de produits homologués efficaces ou d'autres options.

Incidences sur l'environnement

Tous les produits acaricides sont, par définition, des biocides et ont donc potentiellement des effets toxiques sur l'environnement. L'utilisation d'acaricides entraîne inévitablement une forme de contamination environnementale susceptible de toucher des organismes aquatiques et terrestres, notamment les insectes, les arthropodes et les acariens non ciblés vivant en liberté. Ce risque dépendra du degré d'exposition et des propriétés des produits acaricides employés, ainsi que des caractéristiques de leurs métabolites (toxicité, accumulation, dégradation). Divers facteurs, comme les conditions climatiques, notamment la température et l'humidité, l'intensité lumineuse, le pH et les facteurs microbiologiques influeront sur la persistance, la dégradation et la possibilité de distribution du produit acaricide dans le sol et l'eau.

Les principales caractéristiques et les effets connus les plus importants des produits acaricides sont énumérés au tableau 2.

Il convient d'accorder une attention particulière aux effets sur les organismes non ciblés, notamment en raison de l'utilisation répandue des lactones macrocycliques dont il a été démontré, études à l'appui, qu'elles avaient des incidences nocives sur des organismes non ciblés dans les pâturages et les sols. Les résidus présents dans les déjections des animaux traités avec des lactones macrocycliques (comme l'ivermectine, la doramectine, etc.) sont susceptibles de nuire aux organismes se développant en contact avec les excréments (diptères, lombrics, collemboles, acariens, nématodes et bousiers) (Lumaret *et al.*, 2012; Pérez-Cogollo *et al.*, 2018; Rodríguez-Vivas *et al.*, 2020), qui jouent un rôle essentiel dans les écosystèmes des pâturages et des sols (Ambrožová *et al.*, 2021). Il est donc recommandé d'utiliser les lactones macrocycliques pour lutter contre les endoparasites et les ectoparasites (les tiques à un hôte) avec prudence, notamment s'il s'agit de formulations à action de longue durée, afin de réduire autant que possible les incidences sur les organismes non ciblés. Il est également recommandé d'administrer le traitement pendant les saisons sèches, qui sont des périodes de faible activité pour les bousiers, ou d'appliquer le traitement seulement à une partie des animaux à la fois, et de garder les animaux dans de petits enclos pendant au moins deux semaines après le traitement. Le fipronil est un autre acaricide largement utilisé dans le secteur agricole, sur les animaux domestiques (Villar et Schaeffer, 2022) et dans les troupeaux. Les effets nocifs sur les invertébrés terrestres et aquatiques et les retombées indirectes sur les chaînes trophiques ont entraîné des interdictions ou des restrictions strictes de son utilisation dans l'Union européenne, en Chine, en Inde et aux États-Unis d'Amérique. Certaines espèces particulièrement sensibles au fipronil, comme les écrevisses, les crevettes brunes et les abeilles, revêtent une importance économique et écologique non négligeable (Holder *et al.*, 2018).

Des mesures réglementaires d'évaluation des risques ont été adoptées et les conséquences potentielles de l'utilisation d'acaricides dans le secteur de l'élevage sont de mieux en mieux comprises mais les connaissances sont encore trop lacunaires pour permettre d'évaluer correctement le risque environnemental. Faute de données (concernant l'utilisation des acaricides, ainsi que leur devenir et leurs effets dans l'environnement) et de modèles permettant d'évaluer l'exposition environnementale, la possibilité de procéder à cette évaluation est fortement limitée (EMA, 2023b). Il conviendra d'en tenir compte lorsque des réglementations seront élaborées à l'avenir.

Partie 3
Gestion durable des tiques

La gestion durable des tiques passe sans équivoque par des programmes de gestion efficaces assurant l'utilisation raisonnable des acaricides, ainsi que la réduction de leur mauvaise utilisation, ainsi que par une bonne gestion de la production (nutrition, génétique, biosécurité, etc.) comme prérequis indispensable.

De plus, on ne peut parvenir à la durabilité de la lutte contre les tiques qu'en associant différentes techniques adaptées aux contextes environnemental, productif, économique, social, culturel et individuel.

OBJECTIFS DE LA GESTION DES TIQUES

L'élimination des tiques et la lutte contre les tiques constituent deux stratégies épidémiologiques de gestion des populations de tiques qui se distinguent par leurs objectifs et leurs conséquences.

La *lutte contre les tiques* consiste à réduire la charge parasitaire chez le bétail de sorte à atteindre un niveau d'infestation où la santé, le bien-être et la production ne sont pas affectés de manière inacceptable; des interventions régulières, y compris en termes de biosécurité, sont nécessaires pour atteindre ces objectifs. L'*élimination* des tiques consiste en l'élimination totale de l'espèce ciblée, à tous les stades de développement des individus, dans une zone géographique définie, sous l'effet d'actions délibérées. Après l'élimination, une biosécurité renforcée doit être maintenue par des mesures actives de quarantaine aux frontières de la zone définie, et par une surveillance de celle-ci, mais il n'est théoriquement pas nécessaire de réaliser des traitements répétés contre les tiques dans la zone en question. Le terme *éradication des tiques* renvoie à l'élimination totale et permanente de l'incidence mondiale des tiques d'une espèce spécifique sous l'effet d'actions menées à l'échelle internationale, après lesquelles plus aucune mesure d'intervention n'est nécessaire. Ce terme a fréquemment été utilisé, et l'est toujours, pour décrire les programmes d'élimination mis en place dans des régions spécifiques. Afin d'éviter toute confusion, nous retiendrons les noms originaux donnés à ces programmes.

Plusieurs programmes régionaux d'élimination ont été menés pour *R. (B.) microplus*, notamment en Argentine, en Australie, en Colombie, aux États-Unis d'Amérique, au Mexique et à Puerto Rico. Le programme sur l'*Amblyomma* dans les Caraïbes (CAP), qui a été déployé entre 1994 et 2006, a constitué l'une des très rares tentatives régionales d'éliminer une tique à hôtes multiples (Pegram, Wilson et Hansen, 2000). Il est à noter que ces programmes d'élimination ont nécessité d'associer les éléments suivants: I) l'application systématique de traitements pleinement efficaces sur 100 pour cent des animaux; II) l'application de restrictions de déplacement pour les animaux; III) la révision et la mise à jour de l'inventaire du bétail; IV) l'échantillonnage et le suivi de l'infestation du bétail, le diagnostic des maladies hémoparasitaires, et la réalisation de tests de résistance aux acaricides; V) une législation et un soutien gouvernemental très solides; VI) la coopération des éleveurs; et VII) une formation adéquate du personnel. Bien que l'élimination de la tique du bétail d'une zone ainsi que son maintien soient difficiles et coûteux, les bénéfices à long terme dépassent généralement l'investissement initial.

Cependant, dans la plupart des autres régions du monde, la lutte contre les tiques représente l'approche la plus adaptée et la plus réalisable s'agissant d'assurer la gestion des populations de tiques ainsi qu'une production bovine durable en tenant compte de la sécurité sanitaire des utilisateurs, ainsi que des aspects sociaux, économiques et environnementaux.

Les conséquences potentielles de la réduction des tiques sur l'épidémiologie des maladies transmises par les tiques, telles que la babésiose, doivent aussi être prises en compte. Une fois les tiques éliminées d'une zone, l'immunité de la population aux agents pathogènes transmis par les tiques tend à diminuer, voire à disparaître, ce qui veut dire qu'une population autrefois très résistante aux maladies transmises par les tiques peut devenir vulnérable à celles-ci, avec une mortalité élevée, si les tiques sont réintroduites dans la zone. **Les objectifs de réduction des tiques dépendront donc de la situation géographique, de la situation épidémiologique, des ressources disponibles, ainsi que des besoins des éleveurs et de leur volonté de participer aux actions menées.**

SYSTÈMES DE PRODUCTION BOVINE

Le risque d'infestation par les tiques et la manière dont il est contrôlé dépendent non seulement de facteurs environnementaux liés au contexte géographique local, mais aussi des systèmes de production en place.

Les systèmes de production bovine sont déterminés en fonction de la finalité de l'élevage, des contraintes externes entourant la production et des pratiques de gestion mises

en œuvre pour y faire face. Ils varient considérablement selon le type d'animal, la finalité de l'élevage (production de lait ou de viande bovine), la taille du troupeau, la disponibilité de l'eau et des aliments pour animaux, l'utilisation des cultures et des prairies, les pratiques culturelles et les réglementations locales.

Partout dans le monde, l'élevage bovin est pratiqué à des fins diverses: production économique, subsistance et objectifs sociaux (Odubote, 2022; Ramírez-Rivera *et al.*, 2019; Robinson *et al.*, 2018). La plupart des bovins élevés à des fins économiques sont destinés à la production de viande et de lait, tandis que les fonctions relatives à la force de traction, à la production de fumier, à la réalisation d'une forme d'investissement et aux échanges sociaux sont importantes dans les systèmes moins axés sur le commerce. Les systèmes de production bovine peuvent être spécialisés dans la production laitière, la production bouchère ou les deux. Les méthodes d'élevage, la source d'alimentation du bétail, ainsi que la quantité et le type d'utilisation des prairies sont la conséquence de cette spécialisation. Celle-ci a aussi une incidence sur les déplacements du bétail, ainsi que sur les méthodes de lutte contre les tiques utilisées, dans le respect de la sécurité sanitaire des produits alimentaires d'origine animale (lait et viande). **Le système de production a donc une influence significative sur l'ampleur et la nature des problèmes posés par les tiques** (voir le *document technique* – partie consacrée à la planification d'une stratégie de lutte contre les tiques, intitulée *Planning a tick control strategy* [FAO, 2025]).

GESTION DE LA PRODUCTION ANIMALE

Gestion nutritionnelle

La nutrition est un facteur majeur de renforcement de la résistance et de la résilience des animaux aux parasites. Un système immunitaire robuste nécessite un bon état nutritionnel. Les animaux sous-alimentés sont susceptibles de devoir combattre une plus forte charge parasitaire que ceux qui sont bien nourris. L'alimentation dans des pâturages de bonne qualité et une supplémentation stratégique en ce qui concerne l'apport énergétique et protéique renforcent la résilience immunitaire acquise aux tiques du bétail (Sutherst *et al.*, 1983).

Sélection d'hôtes résistants aux tiques et aux maladies transmises par les tiques

Les bovins hôtes naturellement résistants à *R. (B.) microplus* et à d'autres espèces de tiques ont évolué par coexistence avec les tiques ou par sélection artificielle sur plusieurs générations visant à obtenir une plus grande résistance. Les races *Bos taurus* sont plus sensibles aux tiques que *Bos indicus*, *Bos javanicus* et leurs croisements. Ainsi, dans les régions du monde où les tiques sont endémiques, il est recommandé aux éleveurs d'utiliser des races d'élevage plus résistantes/résilientes aux tiques et de participer à des programmes intégrés de lutte contre ces dernières. Par ailleurs, la résistance aux tiques et aux maladies transmises par les tiques varie d'un animal à l'autre; la sélection au sein d'une même race et entre les races ouvre donc une autre perspective d'amélioration génétique. La résistance de l'hôte aux tiques est modérément héréditaire (Burrow, 2015; Burrow et Henshall, 2014), ce qui signifie qu'elle répond à la sélection génétique. Cependant, la résistance aux tiques des bovins, et d'autres caractères adaptatifs (par exemple, la résistance aux parasites gastro-intestinaux et aux insectes piqueurs, ou la tolérance aux fortes températures et aux taux d'humidité élevés) sont souvent génétiquement corrélés, et ce négativement, aux caractères productifs. Par conséquent, la sélection visant à améliorer la résistance aux tiques doit reposer sur un indice de sélection multicaractères intégrant aussi des caractères de productivité qui jouent un rôle important sur le plan économique. La principale limite à la sélection sur des critères de résistance de l'hôte aux tiques est la nécessité de mesurer le phénotype de résistance aux tiques, qui demande une forte intensité de main-d'œuvre et dépend beaucoup de facteurs temporels et spatiaux.

La réduction des traitements acaricides sous l'effet de la sélection et de la reproduction des bovins visant une résistance accrue de l'hôte aux tiques n'est pas négligeable (Rodríguez-Vivas, Jonsson et Bhushan, 2018). Les larves de tiques qui se fixent sur les bovins de type zébus ont une probabilité bien plus faible de se développer jusqu'à l'âge adulte et de produire des œufs que les larves femelles qui se fixent sur les bovins taurins, comme les Holstein-Frisons. Sur les bovins de type zébus, entre 0,1 et 1 pour cent des larves atteignent la maturité (résistance de 99 à 99,9 pour cent), contre plus de 10 pour cent sur les races à faible résistance (résistance inférieure à 90 pour cent) (Jonsson, Piper et Constantinoiu, 2014). **Ainsi, dans les régions du monde concernées, les améliorations les plus rapides de la résistance de l'hôte peuvent être obtenues en remplaçant les bovins taurins par des races ou croisements de type zébus**. Des progrès considérables ont été réalisés dans l'identification des marqueurs génétiques de la résistance aux tiques, et l'on espère que la sélection génomique, qui a transformé la production laitière dans les pays à revenu élevé (Guinan *et al.*, 2023), pourra bientôt être appliquée à la sélection des bovins sur des critères de résistance de l'hôte aux tiques (Burrow *et al.*, 2019; Cardoso *et al.*, 2021). La sélection génomique offre pour les éleveurs un fort potentiel en termes de productivité, d'adaptation et de rentabilité des troupeaux, tout en répondant dans le même temps au besoin d'amélioration de la résilience au changement climatique et d'atténuation de ses effets.

Biosécurité

De manière générale, l'objectif de la biosécurité est de réduire le risque d'introduction et de propagation de maladies au sein des troupeaux ou groupes d'animaux et entre eux. Les mesures de biosécurité qui sont appliquées dans le cadre de la lutte contre les tiques et les maladies transmises par les tiques sont notamment: la quarantaine active et le traitement adapté des animaux nouveaux arrivants; la surveillance au sein des troupeaux et de la zone désignés; et la gestion de l'utilisation des aiguilles, le but étant d'éviter la transmission iatrogène d'agents pathogènes transmissibles par le sang. Les mesures d'hygiène d'ordre général (propreté, lavage des bottes et des mains, gestion du fumier et des mangeoires, désinfection des locaux, etc.) seront également importantes pour la santé globale des troupeaux.

PRATIQUES EN MATIÈRE DE LUTTE CONTRE LES TIQUES

Il est reconnu que la méthode la plus courante de lutte contre les tiques est l'application d'acaricides de synthèse. Outre une bonne gestion du troupeau, des programmes de gestion efficaces devraient prévoir l'application des meilleures pratiques en matière d'utilisation et d'application d'acaricides (voir le *document technique* – partie consacrée à la gestion des tiques, intitulée *Tick management* [FAO, 2025]). Les traitements peuvent être appliqués dans le cadre de différentes stratégies, dont certaines visent à gérer la résistance aux acaricides. Des solutions de remplacement non chimiques peuvent aussi contribuer à une stratégie durable de lutte contre les tiques, en complément, afin de former un système de gestion intégrée. La gestion intégrée des tiques doit être pensée de manière à assurer une lutte contre les tiques durable à long terme et être adaptée aux besoins spécifiques de chaque exploitation bovine (Perez de León *et al.*, 2014). Les enjeux écologiques et socioéconomiques doivent être évalués au niveau local avant que des stratégies spécifiques de lutte contre les tiques soient arrêtées. De plus, la compréhension de la dynamique nuancée du comportement humain est essentielle à la conception et à la mise en œuvre d'interventions efficaces et à l'adoption de politiques visant à atténuer l'augmentation de la résistance (Githaka *et al.*, 2022; Tesfaye et Abate, 2023). Il convient par ailleurs de noter qu'en fonction de l'acaricide utilisé, celui-ci peut agir sur d'autres espèces parasitaires et donc interagir avec les stratégies de lutte contre ces autres espèces.

Traitement suppressif

La lutte absolue contre les tiques est une stratégie de tolérance zéro mise en œuvre dans les zones exemptes de tiques ou dans le cadre des programmes d'élimination/d'éradication, tels que décrits précédemment. Les traitements sont administrés à intervalles courts, généralement de 21 jours au maximum pour les espèces de *Rhipicephalus (B.)*. Cette approche nécessite un engagement à long terme et repose sur un approvisionnement constant en acaricides efficaces pour lesquels la résistance est minimale, voire nulle. Il est donc essentiel d'assurer une surveillance régulière de la résistance aux acaricides.

Traitement opportuniste

Lorsque le bétail est rassemblé dans le cadre des tâches de gestion générale, telles que le sevrage, l'écornage ou le changement de pâturage, les éleveurs mènent souvent des actions préventives de routine, notamment des mesures de vaccination et de lutte contre les tiques et les vers. En général, les éleveurs déterminent le moment de ces traitements en fonction de leur évaluation des seuils économiques d'infestation par les tiques, du temps dont ils disposent, des conditions climatiques, et de la disponibilité du personnel, des acaricides et des infrastructures de base.

Prérequis: Cette stratégie ne nécessite pas de réunir des conditions particulières, bien qu'elle soit mieux adaptée aux infestations légères à modérées.

Elle est plus efficace lorsque l'acaricide choisi offre une protection de longue durée et que les traitements coïncident avec une période où une proportion plus élevée de tiques est présente sur l'hôte. Cette approche diminue la fréquence à laquelle les animaux doivent être rassemblés, ce qui réduit les besoins en main-d'œuvre. Bien qu'une moindre fréquence des traitements et un mode de gestion saisonnier puissent réduire la charge parasitaire des tiques, ils ne réduisent pas nécessairement suffisamment le nombre de tiques sur les bovins pour prévenir la transmission des agents responsables des maladies transmises par les tiques. L'efficacité de cette stratégie pour réduire les populations de tiques est variable, car les intervalles entre les traitements sont généralement trop longs pour perturber le cycle de vie des parasites.

Programmes stratégiques

Des programmes stratégiques de lutte contre *R. (B.) microplus* ont été mis au point, notamment dans les zones subtropicales où la saison des tiques, bien définie, est marquée par l'éclosion synchrone des larves au printemps à partir d'œufs pondus en automne et en hiver, connue sous le nom d'émergence printanière. Le principe de ces programmes est de commencer un traitement intensif des bovins dès le début de l'émergence printanière, à des intervalles inférieurs à la durée de persistance de l'efficacité du produit utilisé, en faisant en sorte que toutes les larves émergentes se fixant aux animaux soient exposées à une concentration létale d'acaricides. Pour une lutte efficace, les traitements doivent être poursuivis suffisamment longtemps pour que la totalité ou la plus grande partie des larves au stade libre meurent d'autres causes, ce qui correspond généralement à une période de

16 à 20 semaines dans les régions subtropicales. Cette première génération de tiques est déterminante: faire baisser le nombre d'individus qui la compose a une nette incidence sur le nombre d'individus des générations suivantes. Le nombre total de traitements acaricides dépend de la tolérance/résistance des bovins aux tiques et de la menace larvaire à laquelle ils sont confrontés.

Prérequis: Connaissance de l'écologie et de l'épidémiologie locales des tiques.

Les programmes stratégiques permettent de diminuer le nombre total de traitements annuels, ce qui fait faire des économies de ressources tant économiques qu'humaines et entraîne une réduction du risque de résistance aux acaricides (Jonsson *et al.*, 2010b). Cependant, en théorie, si un programme stratégique est exécuté efficacement et appliqué sur plusieurs générations de tiques, il est susceptible de réduire le nombre de refuges, ce qui se traduirait par une forte pression sélective et par un développement rapide de la résistance aux acaricides. Cette hypothèse pourrait se vérifier dans le cas d'autres stratégies de lutte (par exemple, le traitement sélectif avec application de seuils). De plus, les traitements effectués pendant cette période pourraient interférer avec la fin de la gestation et le vêlage.

Détermination de seuils de nuisibilité économique et utilisation de traitements sélectifs

Un seuil prédéterminé de tiques femelles gorgées de sang par animal est établi afin de décider du moment où il est nécessaire de traiter (Molento *et al.*, 2013). Ce seuil varie en fonction de facteurs tels que la localisation, la saison, le système de production, l'espèce de tique et le risque de maladies transmises par les tiques (Heesterbeek et Roberts, 1995; Schafaschek *et al.*, 2021; Sutherst et Comins, 1979). Le nombre de tiques à considérer pour décider de traiter le bétail est variable d'un pays à l'autre (tableau 4). Il doit être choisi en fonction du coût du traitement et du prix du produit (viande, lait) en l'absence de maladie transmise par les tiques dans l'exploitation agricole. Toutefois, Smith (1983) a estimé que le taux d'infestation optimal se situait entre 10 et 40 tiques gorgées de sang par jour et par animal pour assurer la stabilité enzootique de Babesia bovis, avec des pertes économiques minimales.

La notion de traitement sélectif est similaire à celle d'un traitement appliqué à partir d'un certain seuil, où seule une partie du troupeau, lorsqu'elle est infestée par des tiques au-delà d'un seuil prédéterminé, est traitée (Molento *et al.*, 2013). Centenaro *et al.* (2022) ont évalué deux modalités de lutte contre une population de *R. (B.) microplus* résistante à de multiples acaricides chez les bovins en conditions de terrain: a) une approche par rotation avec six traitements par an (de printemps à printemps) utilisant quatre classes différentes d'acaricides; et b) un protocole de traitement sélectif et de rotation où seule la moitié des animaux présentant le plus grand nombre de tiques a été traitée. L'étude a révélé que les deux modalités de traitement entraînaient une diminution du nombre de tiques par rapport au groupe non traité, sans différence significative entre les deux modalités.

Prérequis: Des études locales sont nécessaires pour déterminer les seuils d'infestation appropriés en fonction des espèces de tiques, de leur impact, du système de production, du risque de transmission de maladies par les tiques, de l'état nutritionnel des animaux, de la valeur du produit et du coût des traitements acaricides (qui comprend le rassemblement des bovins).

Réduire le nombre de traitements peut faire baisser les coûts et la pression de sélection. Toutefois, un suivi régulier et des traitements supplémentaires occasionnels de l'ensemble du troupeau peuvent être nécessaires jusqu'à ce que des seuils sûrs et adaptés soient établis pour chaque situation spécifique.

Stratégies de gestion de la résistance aux acaricides

La résistance aux acaricides est omniprésente, bien que la prévalence de la résistance à certains acaricides spécifiques ne soit pas la même selon les régions. Des stratégies pragmatiques de gestion de la résistance aux acaricides doivent être conçues en tenant compte du fait que, dans certaines

TABLEAU 4
Seuils de nuisibilité économique utilisés pour les traitements sélectifs de lutte contre *R. (B.) microplus* dans certain pays

Pays	Climat	Seuil (tiques ≥ 4,5 mm/animal)	Références bibliographiques
Mexique	Tropical	30–50	Rodríguez-Vivas *et al.* (2014b)
Brésil	Tropical	≥30	Nicaretta *et al.* (2020)
Paraguay	Subtropical	53–54	Brizuela *et al.* (1996)
Australie*	Tropical	158	Sutherst *et al.* (1983)

* L'espèce signalée était *R.* (*B.*) *australis*.

Source: Voir les références bibliographiques.

régions, il pourrait être trop tard pour retarder la résistance, et que le seul objectif réalisable est d'utiliser une autre classe d'acaricides. Les stratégies de gestion de la résistance reposent traditionnellement sur les principes de modération (recourir au plus faible nombre de traitements possible), de saturation (utilisation d'une dose efficace élevée) et d'attaque multiple (utilisation de plusieurs classes de principes actifs) (Madgwick et Kanitz, 2024). L'attaque multiple, le plus souvent obtenue par rotation des classes chimiques, est fortement recommandée par l'IRAC (Madgwick et Kanitz, 2024). Les mélanges d'acaricides permettent également d'obtenir des attaques multiples, mais les conditions à réunir pour que les mélanges soient efficaces sont plus limitées que les conditions d'efficacité des rotations (Tabashnik, 1990).

Modération et saturation

La modération, dans un contexte de gestion de la résistance, consiste simplement à utiliser le moins d'applications possible, réduisant ainsi la pression de sélection pour les génotypes résistants. Elle est reconnue depuis longtemps comme un élément important de la lutte durable contre les tiques (Madgwick et Kanitz, 2024). Sutherst et Comins (1979) ont recommandé de modérer le nombre de traitements, en utilisant des races bovines résistantes et en veillant à ce que le calendrier des traitements soit optimisé en fonction de critères économiques rationnels afin de faire un usage efficace des refuges (Georghiou, 1971). Ils ont également recommandé une saturation avec un acaricide à des concentrations supérieures à celles requises pour tuer tous les hétérozygotes (en cas de mutation unique conférant une résistance).

Les recommandations concernant l'utilisation de races résistantes dans le but de parvenir à la modération sont simples, universellement applicables et incontestées. Les recommandations de Sutherst et Comins (1979) concernant le calendrier d'application, qui reposent sur des études approfondies de l'écologie des tiques menées dans le sud-est du Queensland (Australie), ne peuvent être directement transposées à d'autres régions sans travaux de recherche appropriée. Les recommandations relatives à la saturation sont difficiles à mettre en œuvre. Tout d'abord, le modèle génétique n'est pertinent qu'en cas de mutation unique du site cible et en l'absence d'autres interactions gène × gène, et dans la plupart des cas, les concentrations létales sur le terrain (et non *in vitro*) pour chacun des génotypes sont inconnues. Deuxièmement, dans presque toutes les juridictions, **les acaricides doivent être utilisés dans les concentrations indiquées sur l'étiquette, sans aucune flexibilité, pour les raisons de sécurité sanitaire évoquées précédemment**. Le Programme d'éradication des tiques du bœuf (CFTEP) du Département de l'agriculture des États-Unis fait exception. Une concentration de coumaphos plus élevée (0,3 pour cent) que celle recommandée ailleurs est utilisée, notamment pour lutter contre les tiques résistantes aux acaricides (Davey, George et Miller, 2004). Ce programme était toujours efficace au moment de la rédaction du présent document.

Rotation des acaricides

La rotation ou l'alternance d'acaricides de modes d'action distincts réduit la pression de sélection conduisant à la résistance à toutes les classes d'acaricides (Madgwick et Kanitz, 2024). Lorsqu'une résistance apparaît, la fréquence des individus résistants à un produit chimique diminue durant la période d'application du produit de remplacement utilisé.

Dans le cas des produits à base de pyréthrinoïdes synthétiques, si l'on prend une souche de tiques *R. (B.) microplus* présentant initialement une faible résistance sur le terrain à la deltaméthrine, il a été montré qu'une rotation entre la deltaméthrine et le coumaphos n'exerçait pas de pression de sélection forte en faveur de la résistance à la deltaméthrine, et ce sur neuf générations, alors que le même nombre de traitements à la deltaméthrine uniquement a au contraire favorisé le développement d'une résistance marquée à ce produit (Thullner, Willadsen et Kemp, 2007).

Une approche efficace de la rotation des acaricides est la rotation générationnelle, où chaque génération de tiques est traitée avec une classe différente d'acaricide (Centenaro *et al.*, 2022). En Argentine, Nava *et al.* (2020) ont démontré l'efficacité des traitements par rotation pour lutter contre les tiques du bétail en utilisant trois classes de médicaments différentes sur une année. Le traitement générationnel a initialement été conçu pour les régions aux saisons clairement distinctes comptant trois générations de tiques par an (comme le sud du Brésil, l'Argentine et l'Uruguay). Son principe pourrait être appliqué dans les régions comptant 4 à 5 générations par an, sous réserve d'effectuer des traitements supplémentaires (Centenaro *et al.*, 2022). Bien que la stratégie de traitement générationnel ait été mise en œuvre avec succès dans certains pays, elle devrait être envisagée avec prudence dans les régions ou aux périodes de l'année où l'infestation des bovins par différentes espèces de tiques est forte et où les générations se chevauchent.

Le recours aux rotations repose sur des bases théoriques très solides (Madgwick et Kanitz, 2024). Sa mise en œuvre pratique est en revanche plus complexe. Selon les besoins en infrastructures et leur disponibilité au niveau local, des contraintes logistiques peuvent peser sur la rotation. La fréquence de la rotation, par ailleurs, fait débat, et il existe peu ou pas de données empiriques sur lesquelles fonder les recommandations. Thullner *et al.* (2007) ont appliqué une alternance de traitements à chaque génération dans le cadre d'un système associant *in vitro* et *in vivo*, puis Jonsson *et al.* (2010b) ont poursuivi par des études sur le terrain en utilisant un intervalle de rotation de deux mois afin de modéliser une

variation à chaque génération. Rodríguez-Vivas *et al.* (2023) recommandent une rotation tous les 1 an à 1 an et demi. Étant donné que des marqueurs moléculaires pour certaines des principales classes d'acaricides sont disponibles, il devrait désormais être possible de tester l'effet de différentes rotations.

Mélanges d'acaricides (produits de combinaison) et synergies

La réglementation sur les mélanges de principes actifs varie d'une région à l'autre. L'association de médicaments sous forme de mélanges est effectuée pour de nombreuses raisons, et la terminologie dans ce domaine n'est pas anodine d'un point de vue réglementaire. Hertzberg et MacDonell (2002) ont repris la définition de la synergie proposée par l'Agence de protection de l'environnement des États-Unis: «Il y a synergie lorsque l'effet d'une association de substances est plus fort que la simple somme des effets toxiques de chaque composant pris séparément. La notion de synergie doit être interprétée en tenant compte de ce que l'on appelle "l'absence d'interaction", qui correspond généralement à une addition des doses ou des effets.» La plupart des mélanges d'acaricides ont été formulés pour lutter contre la multirésistance des tiques et exploiter la gamme de produits d'une entreprise plutôt que pour exploiter d'éventuels effets synergiques. Il s'agit donc de mélanges simples. Les mélanges d'acaricides peuvent théoriquement réduire le taux d'évolution de la résistance aux acaricides, selon le principe de la «double élimination» (Madgwick et Kanitz, 2024): «un individu résistant à un insecticide serait tué par l'autre insecticide», en partant du principe qu'une tique ne présentera probablement pas d'allèles résistants à deux produits chimiques aux modes d'action différents (Githaka *et al.*, 2022). Les mélanges peuvent aussi être synergiques. Les associations synergiques d'acaricides ci-après ont démontré leur efficacité contre les tiques: amitraze et fipronil (Prullage *et al.*, 2011), amitraze et perméthrine (Li *et al.*, 2007), amitraze et deltaméthrine (Barré *et al.*, 2008). Les inhibiteurs de l'activité enzymatique tels que le butoxyde de pipéronyle (PBO) (un inhibiteur de la mono-oxygénase du cytochrome P450) (Li *et al.*, 2007) peuvent atténuer les résistances métaboliques (Showler, Garcia et Caesar, 2020). Des études ont montré que le PBO à concentration réduite améliore l'efficacité de l'amitraze, de la perméthrine, de la deltaméthrine, du coumaphos et de l'ivermectine sur une souche résistante de *R. (B.) microplus* (Li, Davey et Miller, 2010; Rodríguez-Vivas *et al.*, 2013; Shakya *et al.*, 2022).

Il importe de noter que faire soi-même des mélanges d'acaricides peut présenter des risques pour la sécurité sanitaire de l'animal traité. Il est donc déconseillé de préparer ses propres mélanges et recommandé de suivre scrupuleusement les instructions figurant sur l'étiquette des produits.

LUTTE NON CHIMIQUE CONTRE LES TIQUES

Divers moyens non chimiques de lutte contre les tiques sont actuellement disponibles sur le marché ou sont en cours d'élaboration. Dans cette section du document, nous chercherons à comprendre leurs principes, leurs avantages et leurs inconvénients.

Vaccins anti-tiques

Parmi les moyens non chimiques de lutte contre les tiques, les vaccins constituent des solutions viables. Tous les vaccins commercialisés mis au point jusqu'à présent pour lutter contre *R. (B.) microplus* sont basés sur l'antigène Bm86.

Principe: L'antigène Bm86 est un antigène glycoprotéique que l'on trouve dans l'intestin des tiques. Inoculé aux bovins, il stimule la production d'anticorps. Lorsqu'ils sont ingérés par les tiques, ces anticorps endommagent leur intestin, ce qui diminue la survie, la production d'œufs et l'éclosion de ceux-ci. Ainsi, les populations de tiques diminuent progressivement au fil du temps. Cependant, pour le complexe d'espèces *R. (B.) microplus*, cette approche a une incidence directe limitée sur la mortalité des tiques.

Deux vaccins ont été mis sur le marché dans les années 1990: TickGARD®PLUS (Australie) et Gavac® (Cuba) (Pereira *et al.*, 2022). En 2017, un autre vaccin, Bovimune Ixovac® (Mexique) et l'immunomodulateur Bm86 (États-Unis) (Perez de León *et al.*, 2018), tous deux contenant une seule glycoprotéine recombinante Bm86, ont aussi été mis sur le marché. Actuellement, seuls deux vaccins reposant sur l'antigène Bm86 sont encore sur le marché: Bovimune Ixovac® au Mexique et Gavac® en Angola, à Cuba, en Équateur, au Mexique, au Nicaragua et au Panama. Des études de provocation en conditions réelles portant sur des vaccins commercialisés montrent que ceux-ci réduisent la nécessité de recourir à des acaricides de synthèse pour lutter contre *R. (B.) microplus* – jusqu'à 87 pour cent, par exemple, dans le cas du vaccin Gavac® à Cuba (Valle *et al.*, 2004). À Cuba, deux ou trois doses initiales de Gavac®, avec un rappel tous les six mois, ont protégé les bovins vaccinés (Vargas-Hernández *et al.*, 2018). L'efficacité du vaccin contre le complexe d'espèces *R. (B.) microplus* semble variable selon les régions géographiques (Pereira *et al.*, 2022). En Australie, le vaccin TickGARD®PLUS a permis d'obtenir une réduction de 56 pour cent du nombre de tiques sur le terrain en l'espace d'une génération, et une baisse de 72 pour cent de l'efficacité de reproduction (Jonsson *et al.*, 2000). Cependant, malgré le fort intérêt pour le produit montré par les producteurs laitiers des zones infestées de tiques, la taille réduite du marché a limité l'intérêt commercial. Dans les plus vastes exploitations bovines à vocation bouchère, la nécessité de rappels fréquents rend le produit relativement moins attractif que les acaricides conventionnels. Le manque d'attrait auprès des producteurs de viande bovine et le faible nombre d'utilisateurs

dans l'industrie laitière ont justifié de ne pas poursuivre la fabrication et la distribution du produit en Australie.

Bien que plusieurs essais de vaccins contre les tiques aient démontré une efficacité accrue et une protection plus longue avec des antigènes autres que l'antigène Bm86, aucun nouvel antigène n'a été commercialisé à ce jour, les entreprises ayant tendance à se concentrer sur l'enregistrement de nouveaux traitements médicamenteux à spectre plus large plutôt que sur la mise au point de nouveaux vaccins anti-tiques (de la Fuente et Estrada-Peña, 2019).

Prérequis: Avant de recommander l'utilisation à grande échelle de vaccins anti-tiques, une analyse coûts-bénéfices devrait être réalisée au niveau des exploitations. Ces vaccins doivent être utilisés dans le cadre d'un programme intégré de lutte contre les tiques comportant un appui technique étroit.

Avantages: Les vaccins anti-tiques sont conçus pour réduire les populations de tiques, diminuant ainsi la fréquence des traitements acaricides et le risque associé de résistance aux acaricides. Ils constituent une méthode sûre de lutte contre les tiques, car ils ne produisent pas de résidus susceptibles de contaminer l'environnement, le lait ou la viande, et ne présentent aucun risque pour la santé humaine et animale (Willadsen, 2004).

Inconvénients: Les vaccins reposant sur l'antigène Bm86, qui ciblent le complexe d'espèces *R. (B.) microplus*, ont pour conséquence principale de réduire les populations de tiques, mais n'ont pas l'effet choc («knock-down») immédiat des acaricides chimiques traditionnels (Pereira *et al.*, 2022). Cette absence de mortalité immédiate des tiques peut entraîner au départ une certaine déception chez les agriculteurs, ce qui constitue un obstacle important à l'adoption et à la commercialisation (FAO, 2004). C'est pourquoi il est crucial de fournir un appui technique aux éleveurs afin qu'ils comprennent les avantages de la vaccination à long terme. Lorsqu'elles se nourrissent, les tiques n'exposent pas le bovin à l'antigène Bm86, il n'y a donc pas de rappel immunitaire naturel. Par conséquent, les vaccins actuellement disponibles ont une durée de protection limitée (et variable). La technologie actuellement disponible présente peu d'intérêt pour une partie des systèmes de production, notamment en situation de pâturage itinérant (c'est-à-dire de bétail transhumant).

Lutte biologique

Les moyens de lutte biologique contre les tiques utilisent des organismes vivants pour réduire les populations de tiques. Il s'agit notamment des prédateurs (oiseaux) et d'autres organismes (champignons entomopathogènes, nématodes).

En ce qui concerne les prédateurs, des recherches ont été menées sur les fourmis, les coléoptères et de nombreuses espèces d'oiseaux (Alonso-Díaz et Fernández-Salas, 2021; Ojeda-Chi *et al.*, 2011). Les pique-bœufs africains (*Buphagus africanus* et *B. erythrorhynchus*) sont des oiseaux qui se nourrissent régulièrement de tiques, pour lesquels il a été montré qu'ils en réduisaient les populations (Samish, Ginsberg et Glazer, 2004). En Guadeloupe, par exemple, les prédateurs courants des stades libres ou parasites d'*Amblyomma variegatum* comprennent des oiseaux tels que les quiscales (*Quiscalus lugubris*), les poulets en liberté, les hérons garde-bœufs (*Bubulcus ibis*) et la fourmi de feu tropicale, *Solenopsis geminate* (Kjeldgaard *et al.*, 2019). L'impact de la plupart de ces prédateurs reste limité, car ce ne sont pas des ennemis naturels, ou ils sont trop généralistes (Samish, Ginsberg et Glazer, 2004). En revanche, l'élevage de poulets en liberté aux côtés des bovins peut être une méthode intéressante de lutte contre les tiques car les poulets peuvent ingérer plusieurs espèces de tiques, et jusqu'à 81 tiques par poulet et par heure (Dreyer, Fourie et Kok, 1997; Hassan *et al.*, 1991).

Retrait manuel des tiques

Le retrait manuel des tiques peut être tout indiqué dans les exploitations de petite taille où le nombre de têtes est faible et où le bétail infesté peut être géré individuellement (Rodríguez-Vivas, Jonsson et Bhushan, 2018). Les tiques gorgées de sang, qui mesurent entre 5 et 10 mm de long, ainsi que certains stades plus petits, sont retirées de chaque bovin par grattage. Les tiques retirées doivent être détruites.

Avantages: Le retrait manuel peut diminuer la fréquence des traitements acaricides et dès lors faire baisser la pression de sélection en faveur de la résistance aux acaricides et réduire les effets environnementaux potentiels.

Inconvénients: Le retrait manuel des tiques est une opération laborieuse associée à un risque de blessure et de transmission d'agents pathogènes à l'homme, tels que le virus de la fièvre hémorragique de Crimée-Congo (Muhammad *et al.*, 2008). Cette méthode n'est pas efficace pour prévenir la transmission des maladies par les tiques, ni pour réduire significativement les effets directs de l'infestation.

Gestion environnementale

La gestion environnementale est un moyen complémentaire de lutte contre les tiques. La gestion des pâturages et les pratiques d'hébergement du bétail sont susceptibles de moduler l'abondance des parasites.

Les pratiques d'hébergement concernent principalement les tiques endophiles, car les fissures dans les murs des étables et les matières organiques environnantes constituent des cachettes potentielles. Les murs doivent donc être aussi uniformes que possible, sans fissures, et les feuilles mortes et les tas de bois doivent être retirés des abords de l'étable. **Il importe de noter que la pulvérisation d'acaricides dans l'environnement pour lutter contre les tiques n'est ni durable ni respectueuse de l'environnement et n'est donc pas recommandée**.

Gestion des pâturages et intégration ou alternance pâturages/cultures agricoles

L'alternance des pâturages a été mise en œuvre pour affamer les larves de tiques en faisant séjourner le bétail dans des enclos «propres» à intervalles réguliers. La durée de survie dans les pâturages des tiques en phase non parasitaire dépend directement de l'espèce de tique (elle peut varier de 80 jours à 2 ans), ainsi que du climat et de la végétation (Nava *et al.*, 2013). Cette méthode est principalement utilisée dans le cas des tiques à un hôte, car la présence d'hôtes de remplacement pour nourrir les stades immatures des tiques à plusieurs hôtes limite son application.

Principe: L'absence de tout hôte compétent (y compris parmi la faune sauvage) empêche le cycle biologique parasitaire de se dérouler, et la mortalité des stades libres résulte de la famine et de la dessiccation.

Selon les conditions météorologiques, sous un climat tropical, les populations de *R. (B.) microplus* peuvent produire cinq générations par an (une tous les 60 à 75 jours) (Evans, 1992), avec un délai moyen de prééclosion de 30 à 35 jours. Les larves montrent une meilleure activité pour adhérer à l'hôte potentiel 3 à 5 jours après l'éclosion, ce qui indique que la période favorable à la présence de larves viables et actives dans le pâturage pourrait se situer entre 33 et 40 jours après le détachement des tiques gorgées de sang (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2014). L'effet de l'alternance des pâturages devrait être plus prononcé dans des conditions environnementales difficiles, caractérisées par des températures élevées, des saisons sèches et une couverture de pâturage clairsemée. Les périodes de rotation ou de repos efficaces sont plus courtes dans les climats chauds et pendant les mois d'été secs (FAO, 2004). Le tableau 5 présente des exemples de périodes de repos des pâturages permettant de lutter efficacement contre *R. (B.) microplus* dans certains pays.

Portugal *et al.* (2018) ont rapporté que l'alternance des pâturages destinés à la production de bétail et de cultures (maïs, soja, haricots, etc.) peut réduire l'infestation de tiques pendant 3 ans. Les auteurs, qui ont utilisé un indice de dénombrement des tiques, ont signalé que les animaux dans les zones d'élevage étaient traités 3,3 fois par an, contre 1,7 fois dans les systèmes intégrant cultures et bétail.

Prérequis: Connaissance de l'écologie des tiques de la région et disponibilité de pâturages et de clôtures de qualité adaptés.

Avantages: Cette méthode peut diminuer la fréquence des traitements et le risque de résistance aux acaricides. Elle peut être utilisée sans augmenter significativement la charge de tiques, ce qui réduit la nécessité de lutte intensive contre les tiques et les maladies qu'ils transmettent. De plus, son application est sans danger pour l'environnement.

Inconvénients: Le caractère localisé de l'effet peut rendre son application difficile. Des études sur la dynamique de population de *R. (B.) microplus* durant ses stades libres sont nécessaires. De plus, l'alternance des pâturages peut ne pas correspondre à l'utilisation la plus rentable des ressources pastorales.

Brûlage pastoral

Le feu touche les populations de tiques de manière directe par l'exposition des stades non parasitaires à des températures élevées. De manière indirecte, il détruit l'étage de végétation qui protège les tiques (Rodríguez-Vivas *et al.*, 2014). La plupart des études ont montré qu'immédiatement après un brûlage dirigé, on observe une réduction considérable du nombre de tiques sur le site du brûlage (Baars, 1999; Fulk, Huang et Agusto, 2022; Gleim *et al.*, 2014), ainsi qu'une baisse significative de la charge de tiques sur le bétail dans les pâturages traités par brûlage (Polito *et al.*, 2013).

Avantages: Il est possible de lutter contre les stades non parasitaires des tiques en les exposant à des températures élevées tout en réduisant l'étage de végétation qui les protège.

TABLEAU 5
Périodes de repos des pâturages permettant de lutter efficacement contre *R. (B.) microplus* dans certains pays

Pays	Climat	Périodes de repos	Références bibliographiques
Mexique	Tropical humide et subhumide	< 32 jours pendant la saison humide > 40 jours pendant la saison sèche	Rodríguez-Vivas *et al.* (2014)
Venezuela	Tropical	30 jours	Hernández-A *et al.* (2000)*
Mexique	Tropical humide	45 jours	Cruz-González *et al.* (2023)
Argentine	Subtropical (Argentine septentrionale)	84–119 jours au printemps ou au début de l'été 140–196 jours à la fin de l'été, à l'automne ou en hiver	Nava *et al.* (2020)

* Quatre ans dans le cadre de la modélisation in silico de la rotation des pâturages..

Source: Voir les références bibliographiques.

Inconvénients: Le feu détruit la couverture végétale et augmente le risque d'érosion. À long terme, à cause du feu, les pâturages ne s'enrichissent plus en nutriments. Le feu réduit généralement la qualité du pâturage. D'autres organismes utiles non ciblés (par exemple, les bousiers) peuvent également être affectés. Dans certaines régions, le brûlage pastoral est illégal et peut mettre en danger les habitations ou les installations agricoles par temps sec.

Par conséquent, le **brûlage pastoral**, ni durable ni respectueux de l'environnement, **n'est pas recommandé**. Ce n'est que dans les cas où les pâturages sont très infestés de larves de tiques, que l'exploitation présente une résistance multiple des tiques aux acaricides et qu'aucune autre méthode non pharmacologique n'est disponible que le brûlage de certaines zones de pâturage peut être recommandé. Les agriculteurs doivent demander l'autorisation aux autorités locales pour pratiquer le brûlage contrôlé.

FUTURES MÉTHODES ALTERNATIVES DE LUTTE CONTRE LES TIQUES

Espèces végétales défavorables aux tiques

Certaines plantes herbacées et légumineuses dotées de propriétés acaricides ou répulsives, qui ont été identifiées (Furlong, 1998; Jonsson, 2004), peuvent être stratégiquement intégrées aux pâturages. Toutefois, l'utilisation de ces plantes comme méthode de lutte contre les tiques nécessite encore de plus amples évaluations avant d'être incluse dans les programmes de gestion intégrée des tiques.

Champignons entomopathogènes

De nombreuses études en laboratoire (*in vitro*) et sur le terrain ont démontré que des champignons entomopathogènes (EPF) utilisés dans l'environnement et sur des bovins infectés expérimentalement avaient des propriétés antitiques (Barbieri *et al.*, 2023; Camargo *et al.*, 2014, 2016; Nogueira *et al.*, 2020).

Principes: Les EPF, qui pénètrent activement la cuticule des tiques, peuvent induire une mortalité élevée et réduire la fécondité ainsi que la viabilité des œufs.

Jusqu'à présent, la plupart des études sur l'activité antitiques des EPF ont principalement porté sur des isolats de trois genres fongiques: *Beauveria* (Hypocreales: Cordycipitaceae), *Metarhizium* (Hypocreales: Clavicipitaceae) et *Akanthomyces* (anciennement *Lecanicillium*, Cordycipitaceae, Hypocreales) (Alonso-Díaz et Fernández-Salas, 2021; Ojeda-Chi *et al.*, 2011). Généralement, l'efficacité acaricide des EPF *in vitro* n'est pas extrapolée aux études de terrain, mais on trouve des exceptions. Par exemple, Camargo (2016) a observé une efficacité moyenne *in vivo* de 75 pour cent.

Cependant, **aucun produit à base de champignon entomopathogène n'est actuellement homologué pour une utilisation chez les bovins**. De nouvelles méthodes envisagent l'application du champignon sur les pâturages à l'aide de formulations fongiques innovantes ciblant les phases non parasitaires de la tique (Marciano *et al.*, 2021; Mesquita *et al.*, 2020; Sullivan, Parker et Skinner, 2022). **Des produits commerciaux actuellement homologués pour un usage agricole comportent des indications insecticides et acaricides dans certaines régions du monde**.

Avantages: Les EPF sont facilement isolés des hôtes et des sols et peuvent être produits en masse à un coût raisonnable, notamment pour les cultures fongiques immergées (Jaronski et Mascarin, 2017). Les myco-acaricides peuvent être utilisés dans les élevages biologiques, sont faciles à appliquer, et présentent une faible toxicité pour le personnel (Zimmermann, 2007a, 2007b). Ces champignons peuvent être utilisés dans les pâturages pour cibler les phases non parasitaires des tiques (Marciano *et al.*, 2021; Mesquita *et al.*, 2020).

Inconvénients: Les formulations et les méthodes d'administration optimales restent encore à déterminer, ce qui limite l'action des EPF dans les conditions de terrain. Une faible humidité relative, un fort rayonnement UV et des températures élevées peuvent se ressentir négativement sur la virulence des EPF (Alonso-Díaz et Fernández-Salas, 2021; Corval *et al.*, 2021; Paixão *et al.*, 2021), ce qui réduit voire ne permet pas l'efficacité attendue. Des conditions météorologiques imprévisibles (périodes trop sèches ou trop humides) peuvent entraîner l'abandon des traitements, ce qui fait grimper les coûts sans réduction des tiques. L'effet peut mettre des mois, voire des saisons, à être mesurable. L'introduction d'isolats externes peut entraîner un déséquilibre de la biodiversité. Les éleveurs de bovins affirment ne pas être familiarisés avec l'utilisation des EPF comme moyen de tuer les tiques (Sullivan, Parker et Skinner, 2022).

Nématodes entomopathogènes

Ces 35 dernières années, des dizaines d'études publiées ont démontré que les nématodes entomopathogènes (NPE) du genre *Heterorhabditis*, associé à la bactérie *Photorhabdus*, et du genre *Steinernema*, associé à la bactérie *Xenorhabdus*, pouvaient infecter les tiques, en particulier les femelles gorgées de sang, sur le bétail ou dans les champs (Filgueiras *et al.*, 2023; Kocan *et al.*, 1998; Monteiro *et al.*, 2020, 2014; Samish, Ginsberg et Glazer, 2008; San-Blas *et al.*, 2019; Singh *et al.*, 2018). Les NPE appliqués au sol, en conditions de simulation d'un environnement constitué de pâturages abritant des femelles gorgées de tiques, ont montré une efficacité de 70 à 98 pour cent (Alekseev, Glazer et Samish, 2006; Monteiro *et al.*, 2020; Samish et Rehacek, 1999).

Principes: Les nématodes recherchent l'hôte (c'est-à-dire le nuisible), y pénètrent par les ouvertures naturelles et, dans l'hémocèle, libèrent des bactéries entomopathogènes qui se multiplient et produisent des toxines et des enzymes tuant l'hôte (Samish, Ginsberg et Glazer, 2008; San-Blas *et al.*, 2019).

Cependant, les études ayant porté sur l'utilisation des NPE sur des bovins infestés de tiques n'ont pas donné de bons résultats (de Carvalho, 2008; Goolsby *et al.*, 2018). La température corporelle de l'animal, la présence de tiques à des stades moins sensibles à l'infection par NPE et l'exposition à des facteurs abiotiques stressants pourraient expliquer ces résultats (de Carvalho, 2008).

Ainsi, aucun produit à base de nématodes entomopathogènes n'est actuellement homologué pour une utilisation chez les bovins ni pour une indication spécifique contre les tiques (les NPE ne sont actuellement homologués que dans certains pays pour la lutte antiparasitaire dans les cultures).

Avantages: Les indications actuelles des NPE dans l'agriculture sont sûres pour les vertébrés et présentent un faible risque pour les organismes non ciblés. Ils peuvent être utilisés seuls ou en association avec d'autres programmes de lutte biologique ou conventionnelle (Golo *et al.*, 2016; Monteiro *et al.*, 2014). Ils ne nécessitent pas d'équipement d'application spécifique et peuvent être appliqués avec n'importe quel système de pulvérisation (simple ou plus sophistiqué). Ils pourraient constituer une solution de remplacement viable aux acaricides conventionnels ou biologiques, notamment dans les zones écologiquement sensibles et riches (Shapiro-Ilan, Hazir et Glazer, 2017).

Inconvénients: L'action est plus limitée à l'infection des femelles gorgées de sang et aux pâturages; cibler les tiques en phase non parasitaire pourrait donner des résultats limités. La littérature recommande fortement l'utilisation d'adjuvants pour protéger les NPE de la dessiccation et de l'incidence des rayons ultraviolets, notamment en ce qui concerne l'application foliaire des NPE en agriculture. Ce pourrait être un moyen d'envisager une application des NPE chez les bovins et de réduire l'incidence négative des facteurs biotiques et abiotiques.

Produits végétaux et métabolites secondaires

Par le passé, les plantes ont permis des découvertes importantes concernant les acaricides de synthèse utilisés aujourd'hui, tels que les pyréthroïdes. L'activité acaricide de nombreuses espèces végétales a été évaluée, principalement celles des familles Lamiaceae, Fabaceae, Asteraceae, Piperaceae, Verbenaceae et Poaceae. Plusieurs études ont par ailleurs mis en évidence que certains métabolites secondaires (terpènes, stilbènes, coumarines, acides, alcools, composés soufrés et aldéhydes des huiles essentielles et des extraits hydroalcooliques) étaient associés à des effets acaricides (Gonzaga *et al.*, 2023; Molento *et al.*, 2020; Rosado-Aguilar *et al.*, 2017).

L'Agence de protection de l'environnement (EPA) des États-Unis a accordé un enregistrement commercial à la nootkatone, un sesquiterpénoïde isolé à partir du cèdre jaune d'Alaska (*Cupressus notkatensis*). Ce composé a montré un potentiel répulsif et acaricide contre de nombreuses espèces de tiques (Behle *et al.*, 2011; Bharadwaj, Stafford et Behle, 2014; Carr et Salgado, 2019; Dolan *et al.*, 2009; Flor-Weiler, Behle et Stafford III, 2011), dont *R. (B.) microplus* (De Oliveira Souza Higa *et al.*, 2023). Des études ont également permis de mieux comprendre le mécanisme d'action impliqué dans les récepteurs GABA (Norris *et al.*, 2022).

Dans certains pays, des formulations à base de plantes destinées aux humains, utilisées comme répulsifs individuels, sont disponibles dans le commerce. Par exemple, le MyggA Natural® en Suède (huile de Corymbia citriodora avec un minimum de 50 pour cent de p-menthane-3,8-diol [PMD]), le Citriodiol® au Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord (64 pour cent de PMD), et l'Ixodes® au *Mexique (extrait de Neem) sont utilisés pour lutter contre les tiques.*

Principes: Les métabolites secondaires des plantes peuvent protéger contre le stress biotique et abiotique et attirer les pollinisateurs. Cependant, ils peuvent également inhiber la synthèse de la chitine ou l'alimentation des tiques, et ralentir la croissance, le développement et la reproduction de celles-ci.

Avantages: Les métabolites bioactifs pourraient représenter une solution de remplacement en matière de lutte contre les tiques, en *particulier contre les tiques résistantes aux acaricides conventionnels. Ils pourraient mettre à profit des plantes disponibles localement.*

Inconvénients: Les composés présents dans les extraits de plantes, notamment les huiles essentielles, présentent une variabilité importante en raison de divers facteurs de stress biotiques et abiotiques, qui influent considérablement sur leur efficacité (Gonzaga *et al.*, 2023). Les plantes d'une même espèce peuvent présenter des génotypes différents, et certaines peuvent posséder des chémotypes distincts, ce qui entraîne des différences en termes d'efficacité acaricide (Monteiro *et al.*, 2017; de Oliveira Cruz *et al.*, 2013; Peixoto *et al.*, 2015; dos Santos Soares *et al.*, 2016). De plus, les interférences circadiennes et saisonnières contribuent aux variations de la composition chimique et de l'activité acaricide (Camara *et al.*, 2023; Silva Lima *et al.*, 2018). L'identification du composé actif dans les huiles essentielles ou les extraits s'avère difficile en raison de l'antagonisme ou de la synergie entre les composés, ce qui entrave leur utilisation comme marqueurs de contrôle de la qualité dans certains pays. Bien que l'innocuité des produits végétaux soit largement reconnue, il est inexact de supposer que tous les composés naturels sont intrinsèquement sûrs (Gonzaga *et al.*, 2023). Ces facteurs font que la recommandation préconisant aux agriculteurs de préparer leurs propres extraits et de les appliquer aux animaux manque de fiabilité en ce qui concerne l'efficacité, la qualité et la sécurité sanitaire.

La mise au point de nouveaux biopesticides et l'extension de leur utilisation nécessiteront de plus amples travaux de recherche ainsi qu'une évaluation des coûts et des avantages.

EXIGENCES RÉGLEMENTAIRES POUR LES PRODUITS NON CHIMIQUES DE LUTTE CONTRE LES TIQUES

Des directives faisant autorité ont été mises au point concernant les produits immunologiques et biologiques (Agence européenne des médicaments [EMA], Code des règlements fédéraux des États-Unis [CFR], Coopération internationale pour l'harmonisation des exigences techniques pour l'enregistrement des médicaments vétérinaires [VICH]). Cependant, dans certains pays, la réglementation des médicaments vétérinaires s'applique aux produits biologiques, tandis que dans d'autres, aucune réglementation n'existe pour ce type de produits. La réglementation des produits biologiques devra évoluer au gré des découvertes futures, afin que des produits sûrs, de qualité et efficaces puissent être commercialisés dans le monde entier. Des recommandations concernant des protocoles normalisés pour le calcul de l'efficacité des produits non conventionnels de lutte contre les tiques sont nécessaires afin d'établir des lignes directrices qui guideront les recommandations relatives aux données à soumettre aux autorités réglementaires.

La réglementation régionale des vaccins et autres produits biologiques de lutte contre les tiques chez les bovins est présenté dans le *document technique* – partie consacrée aux exigences réglementaires, intitulée *Regulatory requirements* (FAO, 2025).

GESTION INTÉGRÉE DES TIQUES

La gestion intégrée des tiques, notion parallèle à celle de gestion intégrée des organismes nuisibles, plus largement utilisée, fait référence à l'ensemble des informations, outils et méthodes disponibles qui sont associés pour lutter contre les tiques. Le but de la gestion intégrée des tiques est de faire baisser la nécessité de recourir aux acaricides, et ainsi de retarder la résistance et de réduire la contamination de l'environnement et les risques potentiels pour les utilisateurs. L'intégration de stratégies de lutte biologique et physique aux méthodes de lutte contre les tiques fondées sur les acaricides devrait donner de meilleurs résultats que l'utilisation des seuls acaricides et retarder l'apparition de résistances aux médicaments (FAO, 2004; Rodríguez-Vivas, Jonsson et Bhushan, 2018).

Des exemples réussis de mise en œuvre de la gestion intégrée des tiques, ainsi qu'un outil pour aider les agents de terrain à formuler des recommandations adaptées à une unité de production bovine donnée en matière de lutte contre les tiques, sont disponibles dans le *document technique* – partie consacrée à la gestion des tiques, intitulée *Tick management* (FAO, 2025).

Facteurs à prendre en considération dans la mise en œuvre

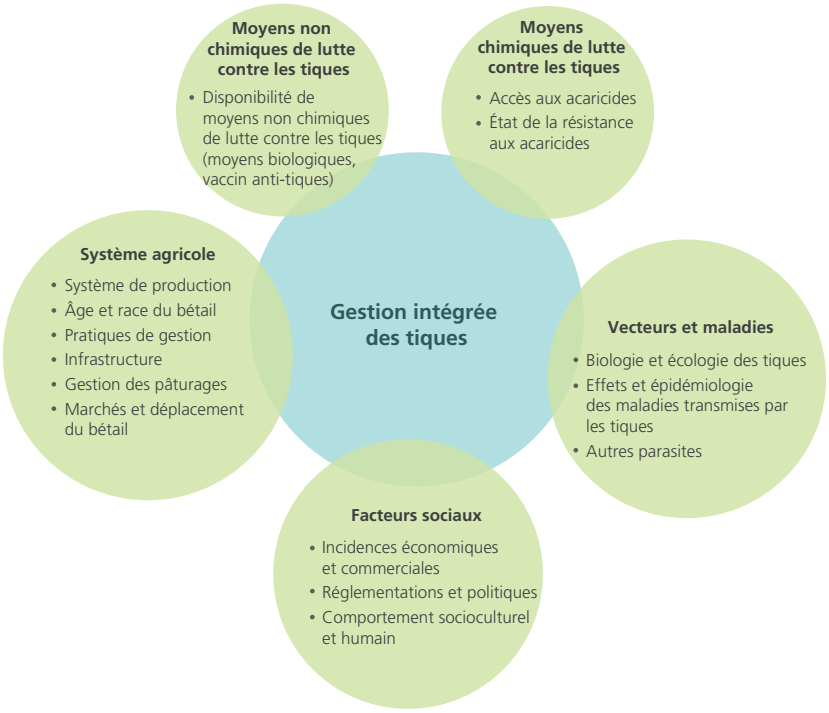
La connaissance de la biogéographie de l'exploitation, y compris des pratiques de gestion locales, de l'infrastructure, de la biologie des tiques et de l'épidémiologie des maladies transmises par les tiques, ainsi que la connaissance des outils de lutte contre les tiques pharmacologiques et non pharmacologiques, et des politiques publiques, sont nécessaires pour déterminer quelles sont les meilleures stratégies à appliquer (figure 8). Lors de la conception de programmes de gestion intégrée des tiques, il importe aussi de prendre en considération les éventuels éléments synergiques ou antagonistes des programmes de lutte contre d'autres vecteurs/parasites, en particulier lorsque les effets des produits peuvent se chevaucher.

Obstacles à la mise en œuvre de la gestion intégrée des tiques et éléments essentiels à son succès ou à son échec

Malgré ses avantages potentiels, la gestion intégrée des organismes nuisibles est peu adoptée pour la protection des cultures et du bétail, en particulier dans les pays à revenu faible ou intermédiaire. Parsa *et al.* (2014) ont constaté que le principal obstacle à l'adoption de la gestion intégrée des nuisibles dans ces pays était le manque de formation et de soutien technique des agriculteurs. Le manque d'investissement dans la recherche et la prédominance des solutions fondées sur les pesticides sont aussi depuis longtemps mis en évidence comme raisons de la faible adoption de la gestion intégrée des nuisibles.

Lors de l'élaboration d'un programme de gestion intégrée des tiques, il importe de connaître les attentes des agriculteurs. La mise en place de mesures non chimiques de lutte contre les acaricides nécessite de la part de l'agriculteur un investissement en temps et un déploiement technique plus importants que la simple application d'un acaricide, pour des résultats moins rapides qu'avec un traitement acaricide efficace. La gestion intégrée des tiques se justifie sur le plan économique, car le coût de l'investissement sera compensé par une hausse des revenus (Orr, 2003). Cependant, son efficacité dépend largement de la pression parasitaire et de l'ampleur des pertes subies par les éleveurs. Souvent, le rendement de l'investissement d'un programme de gestion intégrée des tiques n'est pas immédiatement visible. Ainsi, le succès d'un programme de gestion intégrée des tiques dépend soit d'une «obligation réglementaire», qui prévoit la mise en œuvre d'un programme régional ou national, soit de la pleine mobilisation de l'éleveur qui, étant confronté à une pression parasitaire telle qu'elle compromet la pérennité de son exploitation, a compris la nécessité d'un tel programme. De plus, la mise en œuvre d'un programme de gestion intégrée des tiques doit faire participer les groupes d'éleveurs à la prise de décisions et au suivi du programme. Impliquer les éleveurs dès les premières étapes du programme contribuera à garantir la mise en œuvre des mesures sur le terrain. Enfin, lorsque c'est possible, un appui politique, sous forme d'assistance financière et/ou technique, est un atout important lors de la mise en place de tels programmes.

FIGURE 8
Connaissances de base pour la conception d'un programme de lutte intégrée contre les tiques



Source: Auteurs du présent document.

Le succès d'un programme de gestion intégrée des tiques dépend de nombreux facteurs, par exemple de l'acquisition de connaissances de base sur les espèces de tiques affectant les bovins dans une région, leur biologie, leur écologie, ainsi que sur l'incidence économique qu'ont ces parasites sur le bétail. Par exemple, toutes les méthodes de lutte contre les tiques à un hôte ne sont pas disponibles pour les tiques à trois hôtes. Il importe aussi de garder à l'esprit que la mise en œuvre d'un programme contre une espèce de tique en particulier peut entraîner des conséquences, parfois négatives, sur les autres espèces de tiques et parasites présents.

Des modèles ou des simulations informatiques peuvent par ailleurs aider à évaluer l'effet des potentiels programmes de lutte contre les tiques (Beugnet, Chalvet-Monfray et Sabatier, 1998; Wang *et al.*, 2017). La dynamique des fluctuations des populations de tiques (Rodríguez-Vivas, 2023) et leur interaction avec le changement climatique doivent être prises en compte dans tout programme de lutte. La réussite d'une stratégie de lutte contre les tiques dépendra de l'interaction des facteurs biotiques et abiotiques qui influencent l'abondance saisonnière des populations, laquelle détermine à son tour le comportement des tiques dans chaque région (Cruz-González *et al.*, 2023).

Les outils de lutte chimiques et non chimiques disponibles dans chaque région ou pays doivent être analysés, ainsi que leur coût de mise en œuvre. Les programmes de lutte contre les tiques doivent être proposés par des professionnels connaissant la dynamique des populations de tiques chez les bovins (phase parasitaire) et leur phase non parasitaire, les systèmes de production animale de la région, les races bovines existantes, l'infrastructure des fermes, l'efficacité des acaricides, les modalités d'application de ceux-ci et les problèmes de résistance des tiques à ces produits. Tous ces éléments sont à prendre en compte dans la décision de mettre en œuvre des mesures globales visant à réduire l'utilisation des acaricides, à lutter efficacement contre les tiques, à limiter la transmission des agents pathogènes et à limiter la sélection en faveur de la résistance aux médicaments (Rodríguez-Vivas, Jonsson et Bhushan, 2018).

INTÉGRATION DES SCIENCES SOCIALES ET COMPORTEMENTALES DANS LES STRATÉGIES DE LUTTE CONTRE LA RÉSISTANCE AUX ACARICIDES

Alors que la propagation et l'apparition de la résistance aux acaricides persistent, aborder ces problèmes nécessite une approche allant au-delà des perspectives biomédicales conventionnelles. La résistance aux acaricides dépend de divers facteurs sociaux, culturels, individuels, économiques et environnementaux (Perez de León *et al.*, 2021; Perveen, Muzaffar et Al-Deeb, 2021). Faire face à cette complexité nécessite une collaboration interdisciplinaire, notamment avec les sciences sociales et comportementales.

Ces dernières années, le rôle des sciences sociales et comportementales dans la résolution de problèmes complexes est de plus en plus reconnu (Johansson, Mysterud et Flykt, 2020; Laing *et al.*, 2018). Il est essentiel de comprendre la dynamique nuancée du comportement humain ainsi que ses effets sur l'utilisation des acaricides et les stratégies de lutte contre les tiques pour concevoir et mettre en œuvre des interventions efficaces et adopter des politiques visant à atténuer l'augmentation de la résistance (Githaka *et al.*, 2022; Tesfaye et Abate, 2023).

Les efforts visant à lutter contre la résistance aux acaricides dépendent souvent de la mise en place de mesures favorisant un changement de comportement à différents niveaux, par exemple en ce qui concerne les choix des agriculteurs en matière de sélection, d'application et de fréquence d'utilisation des acaricides et des pratiques de lutte contre les tiques (De Meneghi, Stachurski et Adakal, 2016); la vente au détail des acaricides pour la gestion de la santé animale (Mugabi, Mugisha et Ocaido, 2010); la demande des consommateurs pour des produits sans pesticides ou biologiques (Quadros *et al.*, 2020); et exigent que les responsables de l'élaboration des politiques assurent l'articulation des politiques réglementaires régissant l'autorisation de mise sur le marché, la vente et l'utilisation des acaricides avec les stratégies pertinentes en matière de lutte contre les tiques (FAO/WHO [OMS], 2021).

Malgré la reconnaissance croissante de l'importance d'un changement de comportement à tous ces niveaux, nos stratégies de gestion de la résistance aux acaricides se limitent souvent à des approches éducatives et de sensibilisation (Grisi *et al.*, 2014; Rodríguez-Vivas *et al.*, 2017). Ces approches visent à faire prendre conscience de l'importance et des avantages de certains comportements, et des moyens de les adopter de manière adéquate. Cependant, ces stratégies supposent implicitement une corrélation directe et positive entre une meilleure connaissance/sensibilisation et un changement de comportement. Si l'hypothèse selon laquelle la connaissance se traduit directement par un changement de comportement n'est pas intrinsèquement erronée, elle simplifie à outrance une relation complexe influencée par une multitude de facteurs.

Les sciences du comportement sont un domaine interdisciplinaire qui intègre des théories, des méthodes et des données empiriques, issues de la psychologie, de l'anthropologie, de la sociologie, de l'économie et d'autres disciplines connexes, pour comprendre le comportement humain et la manière dont les individus prennent des décisions et réagissent aux programmes, aux politiques et aux mesures incitatives (United Nations Innovation Network [Réseau innovation des Nations Unies], 2021).

Dans le contexte de l'utilisation des acaricides, les décisions des agriculteurs peuvent être influencées par des facteurs tels que les expériences passées, l'accès à l'information et aux services de santé animale, ainsi que la perception des risques (Hlatshwayo et Mbati, 2005). De même, au niveau commercial, les distributeurs ou les spécialistes du marketing peuvent influencer les agriculteurs en ce qui concerne l'utilisation des acaricides qu'ils proposent (FAO, 1998; Lopez-Arias *et al.*, 2014; Moyo et Masika, 2009).

La *cartographie comportementale* est une approche systématique permettant de repérer les comportements à modifier dans des contextes spécifiques. En cartographiant les comportements, il est possible de déterminer dans quels domaines les interventions sont susceptibles d'être les plus efficaces.

Exemple: Dans le cadre de la résistance aux acaricides dans le contexte de l'élevage, une cartographie comportementale pourrait être réalisée en observant et en recensant les pratiques des agriculteurs liées à la biologie des tiques et des maladies qu'elles transmettent, et à l'utilisation des acaricides (Garforth, 2015; Namgyal *et al.*, 2021).

La *cartographie comportementale* permet de mettre en évidence les pratiques courantes qui contribuent à la résistance aux acaricides, telles que le recours excessif à un seul type d'acaricide, les techniques d'application inappropriées, une mise en œuvre limitée des stratégies de lutte contre les tiques, l'utilisation des acaricides comme seul moyen de lutte contre les tiques, et une formation et une information insuffisantes.

Mettre en évidence les causes profondes: Les sciences sociales et comportementales offrent un large éventail d'outils et de méthodologies permettant de mettre en relief les causes profondes des comportements, notamment au niveau de la dynamique sociale, des caractéristiques individuelles, des normes culturelles, des contraintes économiques, de l'influence de l'environnement et des obstacles structurels.

Exemple: Les agriculteurs, quand bien même ils auraient déjà connaissance de pratiques non conventionnelles de lutte contre les tiques, ont tendance à préférer les pratiques qui leur sont familières (Mingolla *et al.*, 2019). C'est ce qu'on appelle le biais du statu quo, celui-ci désignant la préférence émotionnelle de certaines personnes qui font tout pour maintenir la situation en place ou antérieure, ou pour ne rien entreprendre qui pourrait la faire évoluer (Samuelson et Zeckhauser, 1988).

Conception des interventions: L'un des principaux objectifs des sciences sociales et comportementales est de concevoir des interventions centrées sur l'humain et pertinentes par rapport au contexte. Cette approche part du principe que les initiatives de changement de comportement réussies doivent tenir compte de la diversité des besoins et des préférences du groupe cible. La meilleure façon d'y parvenir est d'utiliser des processus participatifs pour intégrer les parties prenantes à la conception des interventions. Les interventions ont alors plus de chances d'être acceptées, adoptées et maintenues dans le temps (Bishop *et al.*, 2023).

Méthodes de suivi et d'évaluation: Les sciences sociales et comportementales s'appuient sur des méthodologies issues de la psychologie, de l'économie et d'autres sciences sociales quantitatives pour développer de solides méthodes de suivi et d'évaluation. Ces approches permettent aux parties prenantes d'évaluer systématiquement l'impact des interventions sur le changement de comportement et les résultats (Biesheuvel *et al.*, 2021).

Exemple: Utilisation d'outils d'évaluation psychologique, tels que des enquêtes mesurant la perception des risques et les attitudes des agriculteurs vis-à-vis de l'utilisation d'acaricides, dans le cadre des méthodes de suivi et d'évaluation. Une étude menée dans une région française, portant sur les pratiques et les connaissances des agriculteurs en matière de gestion des tiques, a montré que, malgré leur expérience significative sur le terrain, les agriculteurs avaient une perception spatiale et une compréhension limitées des tiques et des maladies transmises par celles-ci, ce qui se traduisait par des pratiques de lutte contre les tiques inadaptées (Dernat *et al.*, 2021).

Pour une analyse détaillée de l'intégration des sciences sociales et comportementales dans la conception des interventions, veuillez consulter les lignes directrices figurant dans le *document technique* – partie consacrée à la gestion des tiques, intitulée *Tick management* (FAO, 2025). Ces lignes directrices livrent des conseils sur le recours à une approche favorisant des méthodes mixtes afin de contextualiser et de comprendre l'utilisation des acaricides, et sur la manière de tirer parti des résultats apportés par cette approche pour mettre au point et évaluer des interventions en matière de changement de comportement.

Partie 4

Feuille de route collective pour la lutte durable contre les tiques et la gestion de la résistance aux acaricides dans le secteur de l'élevage

VISION, AMBITIONS GLOBALES ET OBJECTIFS CLÉS

Une «feuille de route» vise à faire avancer l'élaboration et la mise en œuvre d'initiatives (nationales/régionales) multisectorielles de lutte contre les tiques et de gestion de la résistance aux acaricides dans le secteur de l'élevage, l'accent étant mis sur les priorités stratégiques. Cette feuille de route collective s'est d'abord appuyée sur une analyse des manques. Elle a ensuite débouché sur une vision, trois ambitions globales et six objectifs clés, qui constituent ses piliers stratégiques. Des recommandations spécifiques sur les futures actions prioritaires à mener ont ensuite été formulées pour chacun des six objectifs clés, à court, moyen et long termes (respectivement à un horizon de 5 ans, 10 ans et plus de 10 ans). De plus, un «agenda de recherche» a été mis au point pour offrir un appui transversal à ces objectifs clés. Cet exercice a été mené par le groupe d'experts de la FAO sur la lutte durable contre les tiques et la gestion de la résistance aux acaricides dans le contexte de l'élevage, avant d'être soumis pour consultation à une communauté de pratique de la FAO sur la gestion de la résistance aux acaricides ciblant les tiques des animaux d'élevage.

La vision commune est la suivante: *un monde où les tiques et la résistance aux acaricides ne compromettent plus la sécurité alimentaire et sanitaire des aliments, le bien-être des animaux et la santé globale.*

La coopération entre toutes les parties prenantes est encouragée, en vue de la mise au point collective de solutions économiques, sociales et environnementales durables qui renforcent l'efficience et la résilience des systèmes agroalimentaires.

L'objectif final est d'améliorer les niveaux de vie de tous, en mettant l'accent sur le soutien aux populations les plus vulnérables.

Ambitions globales

- Réduire la prévalence de l'infestation par les tiques et des maladies transmises par les tiques afin de favoriser une production alimentaire et agricole rentable
- Ralentir l'émergence et la diffusion de la résistance afin de préserver la capacité à traiter les animaux d'élevage avec des acaricides efficaces et sûrs
- Encourager une utilisation responsable des acaricides, et assurer la mise en oeuvre de méthodes de lutte contre les tiques intégrées et diversifiées, ainsi que l'accès mondial à celles-ci, et garantir la santé et la sécurité sanitaire des animaux, des humains et de l'environnement, ainsi que la résilience des systèmes agroalimentaires

Objectifs clés

1	2	3	4	5
Renforcer le diagnostic et la surveillance de l'infestation par les tiques, des maladies transmises par les tiques et de la résistance aux acaricides	Permettre la mise en place de pratiques optimales, l'utilisation responsable des acaricides et une gestion intégrée de la lutte contre les tiques	Accroître la sensibilisation et l'autonomisation des parties prenantes	Mettre au point des solutions nouvelles et novatrices en matière de lutte contre les tiques et de gestion de la résistance aux acaricides	Renforcer les cadres réglementaires relatifs aux médicaments

Renforcer la mobilisation et allouer les ressources de manière durable

Objectifs clés	Recommandations spécifiques	Principales forces motrices
Renforcer le diagnostic et la surveillance de l'infestation par les tiques, des maladies transmises par les tiques et de la résistance aux acaricides	**À court terme** • Mettre en place des centres de référence de la FAO au niveau régional à l'appui d'un réseau de laboratoires de diagnostic suivant les recommandations de la FAO, en vue: – d'assurer l'harmonisation des protocoles d'analyse de la résistance aux acaricides; – d'assurer l'accès aux instructions et protocoles de diagnostic et leur mise à jour régulière; – de renforcer la coopération entre laboratoires; – d'améliorer le degré de couverture des diagnostics et la mise en œuvre des stratégies de gestion; – de faciliter le renforcement des capacités des laboratoires et d'améliorer les normes de qualité appliquées par ceux-ci; – de stimuler la réflexion sur des modèles commerciaux durables concernant les diagnostics.	• FAO (au niveau du siège, au niveau régional et au niveau national)/ centres de référence de la FAO/ laboratoires/OMSA (Outil pour l'évaluation des performances des services vétérinaires)/organismes multilatéraux/organismes sous-régionaux
	À moyen terme • •Établir des capacités de suivi au niveau régional/au niveau des pays.	• Pouvoirs publics nationaux/ organisations intergouvernementales et organismes multilatéraux/centres de référence de la FAO/secteurs pharmaceutique et privé
	À long terme • Mettre au point des systèmes de surveillance intégrée pour les tiques, les maladies transmises par les tiques • et la résistance aux acaricides qui associent technologies avancées et modèles prédictifs afin de permettre le suivi, l'évaluation des risques et des stratégies d'intervention adaptées. • Mettre en place des systèmes de suivi en ce qui concerne l'utilisation des acaricides permettant de suivre les progrès associés aux efforts de gestion responsable dans toutes les régions.	• Pouvoirs publics nationaux/instituts de recherche et laboratoires/ organisations intergouvernementales et organismes multilatéraux/secteur pharmaceutique
Permettre la mise en place de bonnes pratiques, l'utilisation responsable des acaricides et une gestion intégrée de la lutte contre les tiques	**À court terme** • Assurer l'adaptation des directives mondiales aux niveaux régional, national et local tout en veillant à leur alignement. • Investir dans la formation des parties prenantes de la lutte contre les tiques (détaillants, professionnels de la santé animale, utilisateurs finals). • Assurer l'actualisation régulière des directives mondiales, avec le soutien d'un panel consultatif d'experts durable.	• Pouvoirs publics nationaux/FAO (au niveau du siège, au niveau régional et au niveau national) et autres organisations intergouvernementales et organismes multilatéraux • Pouvoirs publics nationaux/ organisations intergouvernementales et organismes multilatéraux/secteur pharmaceutique • FAO
	À moyen terme • Encourager une utilisation appropriée des acaricides par la formation et la certification. • Intégrer les sciences comportementales et sociales dans la conception des stratégies de lutte contre les tiques pour une meilleure adhésion et mise en œuvre. • Illustrer la faisabilité et la valeur ajoutée à long terme de la gestion intégrée des tiques au niveau des exploitations agricoles. • Promouvoir la diversification des méthodes de lutte contre les tiques et de gestion intégrée des tiques, en s'appuyant sur l'élaboration d'outils en vue de faciliter la mise en œuvre au niveau des exploitations.	• Pouvoirs publics nationaux • Pouvoirs publics nationaux/ organismes de financement de la recherche/instituts de recherche • Services vétérinaires/instituts de recherche/secteur pharmaceutique/ pouvoirs publics nationaux • Services vétérinaires/instituts de recherche/secteur pharmaceutique/ pouvoirs publics nationaux/ organisations intergouvernementales et organismes multilatéraux
	À long terme • Assurer le suivi et l'évaluation des stratégies de lutte contre les tiques tout en permettant l'accessibilité des données sur les ventes et la consommation des acaricides. • Améliorer la couverture géographique et la qualité des services vétérinaires.	• Pouvoirs publics nationaux/secteur pharmaceutique/instituts de recherche et laboratoires

(à suivre)

Objectifs clés	Recommandations spécifiques	Principales forces motrices
Accroître la sensibilisation et l'autonomisation des parties prenantes	**À court terme** • Assurer la diffusion des directives, l'accès et le partage de connaissances de toutes les parties prenantes. • Promouvoir et encourager la traduction et la simplification du contenu scientifique en matière de lutte contre les tiques.Soutenir la prise de conscience des solutions de test de la résistance aux acaricides, leur valeur ajoutée et leur accessibilité.	• FAO/communauté de pratiques de la FAO/OMSA/pouvoirs publics nationaux • Organismes de financement de la recherche/instituts de recherche/ pouvoirs publics nationaux • Services vétérinaires/écoles vétérinaires et paravétérinaires/ secteurs pharmaceutique et privé/ laboratoires
	À moyen terme • Mettre au point des supports pédagogiques actualisés et sur mesure en fonction de publics spécifiques, dans la droite ligne des directives mondiales, afin de formuler des recommandations sur les meilleures pratiques en matière de lutte contre les tiques et de gestion de la résistance aux acaricides.	• Instituts de recherche/secteur privé/ sponsors/pouvoirs publics nationaux
	• Renforcer les capacités locales des services de vulgarisation, organisations et écoles vétérinaires afin de proposer aux professionnels une formation efficace et actualisée en matière de lutte contre les tiques et d'atténuation de la résistance aux acaricides.	• Pouvoirs publics nationaux/écoles vétérinaires et paravétérinaires/ secteurs pharmaceutique et privé
	• Créer du contenu informatif fondé sur des données factuelles aux fins de la communication mondiale sur les risques de résistance aux acaricides ciblant les tiques du bétail.	• Instituts de recherche/pouvoirs publics nationaux
	• Améliorer l'accès à la connaissance en mettant au point des outils de communication simples et attractifs (application mobile, contenu destiné aux réseaux sociaux, page web, bandes dessinées, podcasts, etc.) tout en assurant le maintien d'une infrastructure de communication de base.	• Pouvoirs publics nationaux/ organisations intergouvernementales et organismes multilatéraux/instituts de recherche
	À long terme • Mettre au point et utiliser des outils de vérification des faits spécifiques à la gestion des tiques.	• Instituts de recherche/secteur privé
Mettre au point des solutions nouvelles et novatrices en matière de lutte contre les tiques et de gestion de la résistance aux acaricides	**À court terme** • Mettre au point et régulièrement à jour un programme de recherche afin d'établir une hiérarchie des priorités.	• Pouvoirs publics nationaux/ organismes de financement/secteur pharmaceutique et secteur privé/ instituts de recherche et associations/ organismes de financement de la recherche/organisations intergouvernementales et organismes multilatéraux
	• Mettre en place des réseaux de recherche et promouvoir les débats sur la résistance aux acaricides lors des manifestations scientifiques.	• Organismes de financement de la recherche/instituts de recherche et associations/sociétés scientifiques (World Association for the Advancement of Veterinary Parasitology, American Association of Veterinary Parasitologists, European Veterinary Parasitology College, Congresso Brasileiro de Parasitologia Veterinaria)
	À moyen terme • Mettre en place un consortium de recherche régional et international doté d'une stratégie en matière de lutte contre les tiques.	• Organismes de financement de la recherche/instituts de recherche/ associations
	• Soutenir la formation des chercheurs en début de carrière.	• Organismes de financement de la recherche/pouvoirs publics nationaux/ instituts de recherche

(à suivre)

Objectifs clés	Recommandations spécifiques	Principales forces motrices
Renforcer les cadres réglementaires relatifs aux médicaments	**À court terme** • Mettre en place une plateforme intégrant les associations de fabricants de médicaments, les autorités de réglementation et les organes multilatéraux au niveau mondial ainsi que les plateformes locales de parties prenantes au niveau national/régional. • Encourager les pays à mettre en place des systèmes de pharmacovigilance (WOAH [OMSA], 2022).	• FAO et autres organisations intergouvernementales et organismes multilatéraux/autorités de réglementation/secteur pharmaceutique • Autorités de réglementation et autres pouvoirs publics nationaux/organisations intergouvernementales et organismes multilatéraux
	À moyen terme • Élaborer des directives de la VICH pour l'évaluation de l'efficacité des acaricides et des vaccins contre les tiques. • Adapter la littérature relative aux produits de manière à intégrer, lorsqu'il n'y en a pas encore, une section sur l'atténuation de la résistance et l'élimination en toute sécurité, ainsi que sur la classification des modes d'action afin de faciliter la sélection des produits. • Renforcer la surveillance des produits vétérinaires de qualité inférieure et falsifiés au moyen d'enquêtes et de rapports post-commercialisation dans le cadre du Système de suivi et de surveillance des produits vétérinaires de qualité inférieure et falsifiés (VSAFE).	• VICH/WAAVP • Autorités de réglementation/secteur pharmaceutique • Pouvoirs publics nationaux/OMSA
	À long terme • Favoriser le recours à la réglementation entre les pays (régions) ainsi qu'au niveau mondial. • Renforcer les organes de réglementation (formation, ressources), les législations et les politiques afin de garantir l'efficacité, la qualité et la sécurité sanitaire des acaricides et des produits biologiques tout au long de la chaîne d'approvisionnement.	• Autorités de réglementation/organisations intergouvernementales et organismes multilatéraux/pouvoirs publics nationaux dans le domaine vétérinaire
Renforcer la mobilisation et allouer les ressources de manière durable	**À court terme** • Réaliser une analyse coûts-avantages afin de démontrer aux décideurs les incidences des tiques, des maladies transmises par les tiques et de la résistance aux acaricides sur les économies et illustrer la valeur ajoutée à long terme de l'investissement dans la gestion intégrée des tiques et le renforcement des capacités. • Définir des indicateurs de suivi et d'évaluation de l'impact dotés de valeurs de référence et de cibles. • Fournir aux responsables de l'élaboration des politiques des informations pertinentes sur les problèmes posés et les éventuels moyens d'y remédier (par l'intermédiaire de documents d'orientation et d'autres voies de communication). • Intégrer la lutte contre les tiques, contre les maladies qu'elles transmettent et la résistance aux acaricides dans le cadre de priorités de l'Alliance quadripartite formée autour de l'approche «Une seule santé». • Animer des forums faisant intervenir des parties prenantes multiples et des réseaux professionnels de début de carrière aux niveau mondial/régional et national.	• Instituts de recherche/organisations intergouvernementales et organismes multilatéraux/pouvoirs publics nationaux • Instituts de recherche/organisations intergouvernementales et organismes multilatéraux • Instituts de recherche/services vétérinaires • Alliance quadripartite/pouvoirs publics nationaux • Instituts de recherche/pouvoirs publics nationaux/organisations intergouvernementales et organismes multilatéraux/sponsors
	À moyen terme • Établir des consortiums collaboratifs internationaux et instituer des partenariats public-privé afin de créer un environnement collaboratif et des synergies et d'ouvrir des possibilités. • Allouer durablement des ressources à l'appui de la mise en œuvre de la feuille de route collective, y compris en investissant dans la recherche-développement en matière de gestion durable des tiques (voir le programme de recherche).	• Pouvoirs publics nationaux/secteur privé/organisations intergouvernementales et organismes multilatéraux/sponsors • Pouvoirs publics nationaux/organisations intergouvernementales et organismes multilatéraux/secteurs pharmaceutique et privé/sponsors – organismes de financement/organismes de financement de la recherche

AGENDA DE RECHERCHE

La lutte contre les maladies transmises par les tiques exige probablement de mettre en place de nouvelles interventions et stratégies pour lutter contre la résistance aux acaricides, et atteindre l'objectif global d'un monde où les tiques et la résistance aux acaricides ne compromettent plus la sécurité sanitaire des aliments et la sécurité alimentaire, le bien-être animal et la santé globale. Investir dans des solutions novatrices sera essentiel, tandis que parallèlement, l'efficacité des outils existants doit être préservée.

Huit domaines de recherche prioritaires ont été définis afin de servir les objectifs des trois premiers piliers de la feuille de route collective pour la lutte durable contre les tiques et la gestion de la résistance aux acaricides.

On en trouvera la liste dans le programme ci-après, qui prévoit aussi une réalisation d'objectif ambitieuse à une échéance de cinq ans.

Domaine de recherche	Objectif à échéance de cinq ans (2030)
1 CONNAISSANCES/TRAVAUX DE RECHERCHE DE BASE SPÉCIFIQUES AYANT DES APPLICATIONS TRANSVERSALES **1-1 Génération de données génomiques sur les tiques et les endosymbiotes:** L'étude du génome est essentielle pour compléter et élargir la compréhension de la structure génomique des tiques, des génomes de référence, et la variabilité des cibles antigéniques en fonction des différentes espèces de tiques et de leur lieu d'origine, ainsi que pour étudier les mécanismes de résistance, entre autres. *Domaine d'application:* diagnostic de résistance, nouvelle cible en termes de médicaments ou de vaccins **1-2 Biologie des tiques:** Mieux comprendre la biologie des tiques dans des contextes spécifiques est essentiel pour la mise au point de nouvelles interventions de lutte, en particulier dans les zones où de multiples espèces de tiques coexistent. *Domaine d'application:* élaboration de stratégies sur mesure de gestion intégrée des tiques, contrôle génétique **1-3 Sciences informatiques:** Favoriser l'application des sciences informatiques et numériques en acarologie en mettant au point et en validant des logiciels et des outils fondés sur l'intelligence artificielle (IA), l'apprentissage automatique et les technologies d'automatisation pour l'identification précise d'espèces de tiques importantes partout dans le monde. *Domaine d'application:* élaboration de stratégies sur mesure de gestion intégrée des tiques, génétique de l'hôte, diagnostic de résistance.	**D'ici à 2030:** • Un accès centralisé aux ressources génétiques existantes est en place et bénéficie des travaux de recherche collaboratifs menés dans le domaine de la santé publique et de l'agronomie. • Les génomes complets annotés des principales espèces de tiques du bétail (*R. (B.) microplus*, • *R. (B.) decoloratus*, *R. appendiculatus A. variegatum*) et de leurs endosymbiotes sont disponibles. • La répartition et la biologie des principales espèces de tiques du bétail sont parfaitement connues partout dans le monde, y compris en Afrique et en Asie. • La recherche en acarologie bénéficie d'outils fondés sur l'IA pour le dénombrement et l'identification des tiques.
2 DIAGNOSTIC DE RÉSISTANCE **Mettre au point de nouveaux outils de diagnostic qui soient rapides, spécifiques, sensibles, normalisés, validés et abordables** **2-1 Amélioration des essais biologiques** *Essais biologiques à destination d'un laboratoire centralisé:* • optimisation élargie des essais biologiques relatifs à de multiples espèces de tiques sur la base de protocoles normalisés (LPT, AIT, RIT); • modélisation de la relation entre les résultats in vitro et la résistance sur le terrain pour une traduction optimale des essais biologiques en recommandations applicables au niveau des exploitations; • mise au point d'outils d'IA et automatisation dans le cadre du criblage à haut débit. *Essais biologiques hors laboratoire:* Les essais biologiques qui sont actuellement la norme, à savoir les tests LPT et AIT, ne sont pas adaptés au diagnostic sur le terrain car ils requièrent des installations parasitologiques spécialisées et prennent plusieurs semaines. De nouvelles approches simplifiées sont nécessaires pour formuler des recommandations au sein même des exploitations agricoles – par exemple, l'utilisation d'un kit de terrain permettant une exposition aux tiques adultes offre un essai sensible rapide. (Jongejan *et al.*, 2024). **2-2 Tests moléculaires de dépistage de la résistance:** Repérer les mutations fortement associées aux phénotypes résistants et mettre au point des tests moléculaires afin d'assurer le suivi de leur présence sur le terrain. Le repérage et l'intégralité des séquences codantes des sites de mutation des tiques au phénotype résistant permettraient de trouver les marqueurs moléculaires de résistance adaptés.	**D'ici à 2030:** • Des essais biologiques automatisés et normalisés sont réalisés dans les laboratoires de diagnostic et les résultats sont disponibles en moins de deux semaines pour l'ensemble des principales espèces de tiques du bétail. • Un test hors laboratoire validé est disponible pour le dépistage de la résistance au sein même des exploitations pour l'ensemble des principales espèces de tiques du bétail. • Il est possible d'établir le profil génétique des populations de tiques résistantes au moyen de tests moléculaires rapides pour l'espèce *R. (B.) microplus* et cinq des sept catégories d'acaricides existantes.

(à suivre)

Domaine de recherche	Objectif à échéance de cinq ans (2030)
3 SYSTÈME DE SURVEILLANCE ET MODÈLE DE RISQUE **Trouver et intégrer des outils novateurs de surveillance active et de prévision afin de mieux suivre, interpréter et gérer les tiques, les maladies transmises par les tiques et la résistance aux acaricides, et de modéliser l'incidence des mesures de lutte contre celles-ci.** **3-1 Mise au point d'un cadre analytique formel à destination des systèmes d'information et cartographie de la répartition des tiques et de la résistance aux acaricides:** Mise au point d'un réseau de collecte de données cohérentes et d'informations; évaluation des besoins en termes de données et de méthodologies en ce qui concerne le suivi des tiques et de la résistance aux acaricides; protocole normalisé pour la collecte de données (répartition des tiques, répartition de la résistance). **3-2 Mise au point de modèles à intégrer aux méthodologies d'analyse des risques et d'évaluation des risques, destinés à éclairer les politiques et les stratégies de lutte contre les tiques:** modèle temporel, économique, prédictif, etc. **3-3 Mise au point d'un système d'information sur la résistance aux acaricides ainsi que de mécanismes de gestion associés au niveau des exploitations:** Des outils (numériques) conviviaux, abordables et accessibles sont nécessaires pour la collecte de données, l'évaluation des risques et le partage d'information ainsi qu'à l'appui de la gestion de la lutte contre les tiques au niveau des exploitations.	**D'ici à 2030:** • Des cartes descriptives de la répartition et des modèles et une interface numérique de simulation prédictive efficaces sont disponibles au niveau régional à l'intention des responsables de l'élaboration des politiques dans les zones prioritaires (zones où la résistance est la plus répandue). • Des applications mobiles seront disponibles pour la gestion au niveau des exploitations, sur la base de l'évaluation des risques de tiques et de résistance aux acaricides et des facteurs associés. • Une interface mondiale (comportant un tableau de bord numérique) permet la collecte de données et leur communication quasiment en temps réel. • Des modèles éclairés permettent le suivi des stratégies de lutte contre les tiques au niveau des pays.
4 STRATÉGIES SUR MESURE DE GESTION INTÉGRÉE DES TIQUES **Mettre au point des approches novatrices efficaces, sûres, abordables et validées sur le terrain afin de parvenir à la sécurité sanitaire des aliments et à la sécurité alimentaire à l'échelle mondiale, en déployant une gestion des tiques et une gestion de la résistance aux acaricides qui soient durables sur les plans environnemental, social et économique** **4-1 Améliorer et valider des stratégies d'intervention intégrées** afin d'optimiser l'utilisation des outils existants au service d'une gestion durable des tiques et de la résistance aux acaricides. **4-2 Établir une base de référence de la gestion intégrée des tiques et définir des critères de jugemen**t dans différents environnements et systèmes de production (essais sur le terrain). **4-3 Définir des outils de gestion intégrée des tiques à utiliser au niveau des exploitations:** modèle de gestion des pâturages, choix et application des acaricides (rotation, association), comportement et prise de décisions des exploitants agricoles dans différents environnements et systèmes d'exploitation agricole.	**D'ici à 2030:** • Des stratégies sur mesure de gestion intégrée des tiques sont définies dans les zones prioritaires et appuyées par des outils de gestion au niveau des exploitations (par exemple, calendrier de rotation des pâturages). • Des critères de jugement de la gestion intégrée des tiques sont reconnus et utilisés pour l'évaluation de la stratégie de lutte contre les tiques (enregistrement des produits comprise).

(à suivre)

Domaine de recherche	Objectif à échéance de cinq ans (2030)
5 MISE AU POINT DE NOUVELLES SOLUTIONS BIOPHARMACEUTIQUES ANTI-TIQUES **5-1 Nouveaux acaricides synthétiques:** L'utilisation de produits chimiques de synthèse continuera de jouer un rôle important dans la lutte contre l'infestation par les tiques et les maladies transmises par les tiques. L'objectif est d'établir une réserve de molécules ectoparasiticides modernes mobilisant de nouveaux modes d'action et présentant des caractéristiques élevées en termes de sécurité sanitaire pour l'animal, l'utilisateur et l'environnement. De surcroît, il convient d'envisager de nouvelles formulations des acaricides existants, en vue d'améliorer ou d'adapter l'efficacité des molécules ectoparasiticides et de permettre une exposition meilleure et plus sûre des tiques aux composés acaricides. **5-2 Vaccins anti-tiques:** • Établir les éléments scientifiques fondamentaux permettant des approches de vaccinologie rationnelles, dans la perspective de vaccins anti-tiques du bétail (première cible: *Rhipicephalus (B.)* spp., puis extension à un plus large éventail d'espèces). L'identification de corrélats de protection, sur la base d'un protocole et d'approches normalisés limitant la variabilité, englobe: i) la mise au point d'une plateforme de nourrissage à haut débit in vitro des tiques pour l'examen des antigènes, où des paramètres de référence et des critères de jugement permettent d'examiner les animaux vaccinés à des stades ciblés de développement des tiques; ii) la quantification et la caractérisation de la réponse immunitaire de l'animal hôte déclenchée par les antigènes cibles; iii) et l'évaluation de l'efficacité du vaccin dans le cadre de tests in vivo normalisés des antigènes candidats identifiés. • Envisager différents composés permettant d'immuniser le bétail contre les tiques afin de trouver des voies immunologiques autres pour la recherche de vaccins. • Appliquer de nouveaux algorithmes de vaccinologie en vue de concevoir des vaccins combinant plusieurs épitopes protecteurs et encourager la recherche en matière de formulation de vaccins (par exemple, formulations basées sur les nanoparticules, nanoparticules lipidiques-ARNm, vecteurs viraux, particules semblables aux virus) afin de permettre la mise au point d'un vaccin (doté d'un calendrier de vaccination pertinent), la possibilité de cibler à la fois l'infestation par les tiques et la transmission des agents pathogènes, en vue d'améliorer l'exécution, pour plus d'efficacité et une activité résiduelle plus longue (faire intervenir les sciences comportementales pour améliorer l'adoption du vaccin). **5-3 Autres méthodes de lutte biologique:** Il conviendrait d'envisager la possibilité d'utiliser des composés autres que les composés de synthèse, tels que les phyto-acaricides, les substances sémiochimiques et d'autres moyens de lutte biologique (par exemple les champignons entomopathogènes). Pour tous ces modèles, il est nécessaire d'établir les éléments scientifiques fondamentaux permettant l'évaluation de la qualité et une efficacité durable sans danger. Les programmes d'élaboration de produits nécessiteront de générer de vastes séries de données, fournissant notamment des informations sur la sécurité sanitaire, l'efficacité et la fabrication.	**D'ici à 2030:** • Un arsenal de nouveaux produits biopharmaceutiques anti-tiques (produits chimiques de synthèse, vaccins et solutions de remplacement), dont l'utilisation ne présente aucun danger, ni pour les bovins laitiers et les bovins de boucherie, ni pour l'environnement, et qui soient abordables pour les petits exploitants des pays à revenu faible ou intermédiaire, est en place. • De nouvelles formulations des composés existants pour affaiblir la résistance sont homologués dans les pays prioritaires. • Un nouveau vaccin anti-tiques véritablement efficace contre l'infestation par les tiques est homologué dans les pays prioritaires.
6 CONTRÔLE GÉNÉTIQUE DES VECTEURS La transposition des technologies mises au point pour la lutte contre les vecteurs du paludisme et de la myiase à la lutte contre les tiques (telles que la transformation génétique autolimitante ou le guidage génétique) permettrait de moins recourir aux acaricides. De plus amples travaux de recherche fondamentale sont nécessaires pour mettre au point des méthodes de transformation auxilliaires viables pour les tiques, déterminer quels sont les composants génétiques adaptés, et évaluer l'approche à adopter en se fondant sur des simulations de la dynamique des populations. La première souche transgénique viable chez la tique reste à établir.	**D'ici à 2030:** Une preuve de concept de l'application du contrôle génétique des vecteurs à la lutte contre les tiques est établie et un calendrier de mise en œuvre est défini.

(à suivre)

Domaine de recherche	Objectif à échéance de cinq ans (2030)
7 GÉNÉTIQUE ET SÉLECTION ARTIFICIELLE DU BÉTAIL **La génétique de l'hôte peut être utilisée pour limiter le poids des parasites** • Sélection artificielle: Il est nécessaire d'établir des profils phénotypiques éclairés pour un échantillon de population significatif si l'on souhaite améliorer les connaissances actuelles en ce qui concerne la génétique des tiques résistantes, ainsi qu'une définition pratique et d'un bon rapport coût-efficacité des indicateurs phénotypiques fortement corrélés au niveau d'infestation par les tiques (actuellement mesuré par le comptage des tiques sur la moitié du corps.) • Davantage de données de séquençage haute densité à l'échelle du génome issues des animaux présentant les phénotypes visés seront nécessaires pour la sélection génomique.	**D'ici à 2030:** Des programmes de sélection sont en place dans les pays prioritaires afin de permettre la sélection, y compris en termes de résistance des tiques des bovins de boucherie comme des bovins laitiers.
8 SCIENCES SOCIOÉCONOMIQUES ET SCIENCES COMPORTEMENTALES **8-1 Évaluation de l'incidence socioéconomique** Une étude de l'incidence économique des tiques, des maladies transmises par les tiques et de la résistance aux acaricides et une analyse coûts-avantages (tests de la résistance aux acaricides, gestion intégrée des tiques, investissement) sont réalisées afin d'éclairer la prise de décisions au niveau régional. **8-2 Application des sciences sociales et comportementales** Mobiliser les sciences sociales et comportementales afin de comprendre comment communiquer/éduquer et mettre en œuvre des stratégies de la manière la plus efficace aux fins d'une gestion responsable des tiques, en prenant en considération la perception des tiques et de la résistance aux acaricides et de leurs conséquences, l'utilisation rationnelle des acaricides, l'utilisation des vaccins, et les stratégies de sélection artificielle.	**D'ici à 2030:** • Des modèles socioéconomiques sont disponibles pour les pays prioritaires (pays où la résistance est la plus répandue). • Les sciences comportementales sous-tendent le déploiement d'une approche intégrée de la lutte contre les tiques.

Bibliographie

Abbas, R.Z., Zaman, M.A., Colwell, D.D., Gilleard, J. et Iqbal, Z. 2014. Acaricide resistance in cattle ticks and approaches to its management: The state of play. *Veterinary Parasitology*, 203(1–2): 6–20.

Adehan, S.B., Adakal, H., Gbinwoua, D., Yokossi, D., Zoungrana, S., Toé, P., Ouedraogo, M. *et al.* 2018. West African cattle farmers' perception of tick-borne diseases. *EcoHealth*, 15: 437–449.

Aguilar-Tipacamú, G., Rosario-Cruz, R., Miller, R.J., Guerrero, F.D., Rodriguez-Vivas, R.I. et García-Vázquez, Z. 2011. Phenotype changes inherited by crossing pyrethroid susceptible and resistant genotypes from the cattle tick *Riphicephalus (Boophilus) microplus*. *Experimental and Applied Acarology*, 54: 301–311.

Alekseev, E., Glazer, I. et Samish, M. 2006. Effect of soil texture and moisture on the activity of entomopathogenic nematodes against female *Boophilus annulatus* ticks. *BioControl*, 51: 507–518.

Alonso-Díaz, M.A. et Fernández-Salas, A. 2021. Entomopathogenic fungi for tick control in cattle livestock from Mexico. *Frontiers in Fungal Biology*, 2.

Ambrožová, L., Sládeček, F.X.J., Zítek, T., Perlík, M., Kozel, P., Jirků, M. et Čížek, L. 2021. Lasting decrease in functionality and richness: Effects of ivermectin use on dung beetle communities. *Agriculture, Ecosystems et Environment*, 321.

Avsarogullari, L., Ikizceli, I., Sungur, M., Sözüer, E., Akdur, O. et Yucel, M. 2006. Acute amitraz poisoning in adults: Clinical features, laboratory findings, and management. *Clinical Toxicology*, 44(1): 19–23.

Baars, R.M.T. 1999. The effect of rangeland fires on cattle tick infestation in western Zambia. *Tropical Animal Health and Production*, 31(5): 275–278.

Bagi, J., Grisales, N., Corkill, R., Morgan, J.C., N'Falé, S., Brogdon, W.G. et Ranson, H. 2015. When a discriminating dose assay is not enough: Measuring the intensity of insecticide resistance in malaria vectors. *Malaria Journal*, 14.

Barbieri, A., Rico, I.B., Silveira, C., Feltrin, C., Dall´Agnol, B., Schrank, A., Lozina, L., Klafke, G.M. et Reck, J. 2023. Field efficacy of *Metarhizium anisopliae* oil formulations against *Rhipicephalus microplus* ticks using a cattle spray race. *Ticks and Tick-borne Diseases*, 14(3).

Barré, N., Li, A.Y., Miller, R.J., Gaïa, H., Delathière, J.-M., Davey, R.B. et George, J.E. 2008. *In vitro* and *in vivo* evaluation of deltamethrin and amitraz mixtures for the control of *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Acari: Ixodidae) in New Caledonia. *Veterinary Parasitology*, 155(1–2): 110–119.

Behle, R.W., Flor-Weiler, L.B., Bharadwaj, A. et Stafford III, K.C. 2011. A formulation to encapsulate nootkatone for tick control. *Journal of Medical Entomology*, 48(6): 1120–1127.

Betancourt, J. 2017. Nueva vacuna para prevención y control de garrapatas en ganado. *Período El Agro*, 92: 6.

Beugnet, F., Chalvet-Monfray, K. et Sabatier, P. 1998. Use of a mathematical model to study the control measures of the cattle tick *Boophilus microplus* population in New Caledonia. *Veterinary Parasitology*, 77(4): 277–288.

Bharadwaj, A., Stafford III, K.C. et Behle, R.W. 2014. Efficacy and environmental persistence of nootkatone for the control of the blacklegged tick (Acari: Ixodidae) in residential landscapes. *Journal of Medical Entomology*, 49(5): 1035–1044.

Bhushan, C., Garg, S.K., Katoch, R. et Chauhan, P.P.S. 1999. Evaluation of the efficacy of flumethrin (Bayticol[R]) pour-on against cattle ticks in India under field conditions. *Indian Veterinary Journal*, 76: 94–96.

Biesheuvel, M.M., Santman-Berends, I.M.G.A., Barkema, H.W., Ritter, C., Berezowski, J., Guelbenzu, M. et Kaler, J. 2021. Understanding farmers' behavior and their decision-making process in the context of cattle diseases: A review of theories and approaches. *Frontiers in Veterinary Science*, 8.

Bishop, R.P., Githaka, N.W., Bazarusanga, T., Bhushan, C., Biguezoton, A., Vudriko, P., Muhanguzi, D. *et al.* 2023. Control of ticks and tick-borne diseases in Africa through improved diagnosis and utilisation of data on acaricide resistance. *Parasites et Vectors*, 16.

Bolognesi, C. et Morasso, G. 2000. Genotoxicity of pesticides: Potential risk for consumers. *Trends in Food Science et Technology*, 11(4–5): 182–187.

Burrow, H.M. 2014. Genetic Aspects of Cattle Adaptation in the Tropics. Dans: D.J. Garrick et A. Ruvinsky, eds. *The genetics of cattle*, second edition. Wallingford and Boston, CABI.

Burrow, H.M. et Henshall, J.M. 2014. Relationships between Adaptive and Productive Traits in Cattle, Goats and Sheep in Tropical Environments. Dans: *Proceedings of the 10th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, 17–22 August 2014*. Vancouver, American Society of Animal Science. https://hdl.handle.net/1959.11/17358

Burrow, H.M., Mans, B.J., Cardoso, F.F., Birkett, M.A., Kotze, A.C., Hayes, B.J., Mapholi, N. *et al.* 2019. Towards a new phenotype for tick resistance in beef and dairy cattle: A review. *Animal Production Science*, 59: 1401–1427.

Camara, M.B.P., Lima, A.S., Jumbo, L.O.V., Tavares, C.P., Mendonça, C. de J.S., Monteiro, O.S., Araújo, S.H.C. *et al.* 2023. Seasonal and circadian evaluation of the *Pectis brevipedunculata* essential oil and its acaricidal activity against *Rhipicephalus microplus* (Acari: Ixodidae). *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 34(7): 1020–1029.

Camargo, M.G., Marciano, A.F., Sá, F.A., Perinotto, W.M.S., Quinelato, S., Gôlo, P.S., Angelo, I.C., Prata, M.C.A. et Bittencourt, V.R.E.P. 2014. Commercial formulation of *Metarhizium anisopliae* for the control of *Rhipicephalus microplus* in a pen study. *Veterinary Parasitology*, 205(1–2): 271–276.

Camargo, M.G., Nogueira, M.R.S., Marciano, A.F., Perinotto, W.M.S., Coutinho-Rodrigues, C.J.B., Scott, F.B., Angelo, I.C., Prata, M.C.A. et Bittencourt, V.R.E.P. 2016. *Metarhizium anisopliae* for controlling *Rhipicephalus microplus* ticks under field conditions. *Veterinary Parasitology*, 223: 38–42.

Cardoso, F.F., Matika, O., Djikeng, A., Mapholi, N., Burrow, H.M., Yokoo, M.J.I., Campos, G.S. *et al.* 2021. Multiple Country and Breed Genomic Prediction of Tick Resistance in Beef Cattle. *Frontiers in Immunology*, 12.

Carr, A.L. et Salgado, V.L. 2019. Ticks home in on body heat: A new understanding of Haller's organ and repellent action. *PLOS One*, 14(8).

Castro-Janer, E., Klafke, G.M., Díaz, A., Fontes, F. et Baraibar, F. 2021. Multiplex allele-specific polymerase chain reaction to detect *kdr* and *rdl* mutations in the cattle tick *Rhipicephalus microplus* (Acari: Ixodidae). *Veterinary Parasitology*, 292.

Centenaro, F.C., Barbieri, A., Rico, I.B., Gonchoroski, G.Z., Jardim, F.T., Doyle, R.L., Dall'Agnol, B., Reck, J. et Webster, A. 2022. Rotational and selective protocols using acaricides to control a multi-resistant strain of *Rhipicephalus microplus* under field conditions in Southern Brazil. *Ticks and Tick-borne Diseases*, 13(5).

Chouaïbou, M., Zivanovic, G.B., Knox, T.B., Jamet, H.P. et Bonfoh, B. 2014. Synergist bioassays: A simple method for initial metabolic resistance investigation of field *Anopheles gambiae* s.l. populations. *Acta Tropica*, 130: 108–111.

Corley, S.W., Jonsson, N.N., Piper, E.K., Cutullé, C., Stear, M.J. et Seddon, J.M. 2013. Mutation in the *Rmβ AOR* gene is associated with amitraz resistance in the cattle tick *Rhipicephalus microplus*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(42): 16772–16777.

Corval, A.R.C., Mesquita, E., Corrêa, T.A., Silva, C.D.S.R., Bitencourt, R.D.O.B., Fernandes, É.K.K., Bittencourt, V.R.E.P., Roberts, D.W. et Gôlo, P.S. 2021. UV-B tolerances of conidia, blastospores, and microsclerotia of *Metarhizium* spp. entomopathogenic fungi. *Journal of Basic Microbiology*, 61(1): 15–26.

Cruz-González, G., Pinos-Rodríguez, J.M., Alonso-Díaz, M.Á., Romero-Salas, D., Vicente-Martínez, J.G., Fernández-Salas, A., Jarillo-Rodríguez, J. et Castillo-Gallegos, E. 2023. Rotational grazing modifies *Rhipicephalus microplus* infestation in cattle in the humid tropics. *Animals*, 13(5): 915.

Cumming, G.S. et Van Vuuren, D.P. 2006. Will climate change affect ectoparasite species ranges? *Global Ecology and Biogeography*, 15(5): 486–497.

Davey, R.B. et Ahrens, E.H. 1984. Control of *Boophilus* ticks on heifers with two pyrethroids applied as sprays. *American Journal of Veterinary Research*, 45(5): 1008–1010.

Davey, R.B., George, J.E. et Miller, R.J. 2004. Control of an organophosphate-resistant strain of *Boophilus microplus* (Acari: Ixodidae) infested on cattle after a series of dips in coumaphos applied at different treatment intervals. *Journal of Medical Entomology*, 41(3): 524–528.

de Carvalho, L.B. 2008. Efeito" *in vitro* e *in vivo*" de nematóides entomopatogênicos (Rhabditida) sobre o carrapato dos bovinos *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Acari: Ixodidae). http://hdl.handle.net/1843/SSLA-7UDPRJ

de Castro, J.J. 1997. Sustainable tick and tickborne disease control in livestock improvement in developing countries. *Veterinary Parasitology*, 71(2–3): 77–97.

de la Fuente, J. et Estrada-Peña, A. 2019. Why new vaccines for the control of ectoparasite vectors have not been registered and commercialized? *Vaccines*, 7(3): 75.

de Oliveira Cruz, E.M., Costa-Junior, L.M., Pinto, J.A.O., de Alexandria Santos, D., de Araujo, S.A., de Fátima Arrigoni-Blank, M., Bacci, L. *et al.* 2013. Acaricidal activity of *Lippia gracilis* essential oil and its major constituents on the tick *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*. *Veterinary Parasitology*, 195(1–2): 198–202.

de Souza, A.P., Veiga, L.P.H.N., Bellato, V., Sartor, A.A., Cardoso, C.P. et de O. Nunes, A.P. 2008. Proposta para teste carrapaticida por imersão de larvas de *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*: Avaliação em cipermetrina e amitraz. *Brazilian Journal of Veterinary Parasitology*, 17(4): 242–245.

De Meneghi, D., Stachurski, F. et Adakal, H. 2016. Experiences in tick control by acaricide in the traditional cattle sector in Zambia and Burkina Faso: Possible environmental and public health implications. *Frontiers in Public Health*, 4.

De Oliveira Souza Higa, L., Amick, J., Garcia, M.V. et Andreotti, R. 2023. Effect of nootkatone on the *in vitro* mortality of the ticks *Rhipicephalus microplus* and *Amblyomma sculptum* (Acari: Ixodidae). *International Journal of Acarology*, 49(2): 147–153.

Dolan, M.C., Jordan, R.A., Schulze, T.L., Schulze, C.J., Cornell Manning, M., Ruffolo, D., Schmidt, J.P., Piesman, J. et Karchesy, J.J. 2009. Ability of two natural products, nootkatone and carvacrol, to suppress *Ixodes scapularis* and *Amblyomma americanum* (Acari: Ixodidae) in a Lyme disease endemic area of New Jersey. *Journal of Economic Entomology*, 102(6): 2316–2324.

dos Santos Nogueira, M.R., Camargo, M.G., Rodrigues, C.J.B.C., Marciano, A.F., Quinelato, S., de Freitas, M.C., Fiorotti, J. *et al.* 2020. *In vitro* efficacy of two commercial products *of Metarhizium anisopliae* s.l. for controlling the cattle tick *Rhipicephalus microplus*. *Brazilian Journal of Veterinary Parasitology*, 29(2).

dos Santos Soares, A.M. Penha, T.A., de Araújo, S.A., Cruz, E.M.O., Blank, A.F. et Costa-Junior, L.M. 2016. Assessment of different *Lippia sidoides* genotypes regarding their acaricidal activity against *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*. *Brazilian Journal of Veterinary Parasitology*, 25(4): 401–406.

Dreyer, K., Fourie, L.J. et Kok, D.J. 1997. Predation of livestock ticks by chickens as a tick-control method in a resource-poor urban environment. *Onderstepoort Journal of Veterinary Research*, 64(4): 273–276.

Drummond, R.O., Ernst, S.E., Trevino, J.L., Gladney, W.J. et Graham, O.H. 1973. *Boophilus annulatus* and *B. microplus*: Laboratory tests of insecticides. *Journal of Economic Entomology*, 66(1): 130–133.

EMA. 2021a. *Guideline on the summary of product characteristics for antiparasitic veterinary medicinal products.* EMA/CVMP/EWP/170208/2005-Rev.1. Amsterdam, European Medicines Agency.

EMA. 2021b. *Guidelines on specific efficacy requirements for ectoparasiticides in cattle.* EMA/CVMP/625/03-Rev.1. Amsterdam, European Medicines Agency.

EMA. 2023a. *Concept paper on the revision of efficacy of ectoparasiticides*. EMA/CVMP/EWP/56030/2023. Amsterdam, European Medicines Agency.

EMA. 2023b. *Reflection paper on the environmental risk assessment of ectoparasiticidal veterinary medicinal products used in cats and dogs.* EMA/CVMP/ERA/31905/2021. Amsterdam, European Medicines Agency.

Estrada-Peña, A., Venzal, J.M., Nava, S., Mangold, A., Guglielmone, A.A., Labruna, M.B. et de la Fuente, J. 2012. Reinstatement of *Rhipicephalus (Boophilus) australis* (Acari: Ixodidae) with redescription of the adult and larval stages. *Journal of Medical Entomology*, 49(4): 794–802.

Evans, A., Madder, M., Fourie, J., Halos, L., Kumsa, B., Kimbita, E., Byaruhanga, J. *et al.* 2024. Acaricide resistance status of livestock ticks from East and West Africa and *in vivo* efficacy of acaricides to control them. *International Journal for Parasitology. Drugs and Drug Resistance*, 25.

Evans, D.E. 1992. Tick infestation of livestock and tick control methods in Brazil: A situation report. *International Journal of Tropical Insect Science*, 13(4): 629–643.

FAO. 1971. Recommended methods for the detection and measurement of resistance of agricultural pests to pesticides: Tentative method for larvae of cattle ticks, *Boophilus* spp. – FAO Method No 7. *FAO Plant Protection Bulletin*, 19(1). 15–18.

FAO. 1977. *Second FAO expert consultation on research on tick-borne diseases and their vectors: Assessment of an acaricide resistance test method and the assembly and distribution of prototype (LPT) test kits*. Rome.

FAO. 1998. *Integrated tick and tick-borne disease control programme, project findings and recommendations: Africa region, Malawi and the United Republic of Tanzania*. Rome.

FAO. 2004. Ticks: Acaricide Resistance – Diagnosis, Management and Prevention. Dans: *Guidelines resistance management and integrated parasite control in ruminants*. Rome. https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/ag014e

FAO. 2022a. *Expert consultation on the sustainable management of parasites in livestock challenged by the global emergence of resistance: Part 1 – Current status and management of acaricide resistance in livestock ticks*. FAO Animal Production and Health Report No. 17. Rome. https://doi.org/10.4060/cc2981en

FAO. 2022b. *Expert consultation on the sustainable management of parasites in livestock challenged by the global emergence of resistance: Part 2 – African animal trypanosomosis and drug resistance – a challenge to progressive, sustainable disease control*. FAO Animal Production and Health Report No. 18. Rome. https://doi.org/10.4060/cc2988en

FAO. 2023. Crops and livestock products. Dans: *FAOSTAT*. Rome. [Consulté le 29 mars 2024]. https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL

FAO. 2025. *Guidelines for sustainable tick control and acaricide resistance management in livestock - Technical documentation*. Rome, FAO. https://doi.org/10.4060/cd5440en

FAO et WHO. 2021. *Managing pesticides in agriculture and public health: A compendium of FAO and WHO guidelines and other resources*, second edition. Rome.

Filgueiras, M.D.G., Matos, R.S., Barreto, L.P., Mascarin, G.M., Rizzo, P.V., Freitas, F.M.C., de Azevedo Prata, M.C., Monteiro, C. et Fernandes, É.K.K. 2023. From the laboratory to the field: Efficacy of entomopathogenic nematodes to control the cattle tick. *Pest Management Science*, 79(1): 216–225.

Flor-Weiler, L.B., Behle, R.W. et Stafford III, K.C. 2011. Susceptibility of four tick species, *Amblyomma americanum*, *Dermacentor variabilis*, *Ixodes scapularis*, and *Rhipicephalus sanguineus* (Acari: Ixodidae), to nootkatone from essential oil of grapefruit. *Journal of Medical Entomology*, 48(2): 322–326.

Foil, L.D., Coleman, P., Eisler, M., Fragoso-Sanchez, H., García-Vázquez, Z., Guerrero, F.D, Jonsson, N.N. *et al.* 2004. Factors that influence the prevalence of acaricide resistance and tick-borne diseases. *Veterinary Parasitology*, 125(1–2): 163–181.

Fular, A., Sharma, A.K., Kumar, S., Nagar, G., Chigure, G., Ray, D.D. et Ghosh, S. 2018. Establishment of a multi-acaricide resistant reference tick strain (IVRI-V) of *Rhipicephalus microplus*. *Ticks and Tick-borne Diseases*, 9(5): 1184–1191.

Fulk, A., Huang, W. et Agusto, F. 2022. Exploring the effects of prescribed fire on tick spread and propagation in a spatial setting. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, 2022(1).

Furlong, J. 1998. Infesting power of *Boophilus microplus* larvae (Acari: Ixodidae) in *Melinis minutiflora*, *Brachiaria decumbens e Brachiaria mutica* pastures. *Ciência Rural*, 28(4): 635–640.

Garforth, C. 2015. Livestock keepers' reasons for doing and not doing things which governments, vets and scientists would like them to do. *Zoonoses and Public Health*, 62(s1): 29–38.

Geary, T.G., Conder, G.A. et Bishop, B. 2004. The changing landscape of antiparasitic drug discovery for veterinary medicine. *Trends in Parasitology*, 20(10): 449–455.

George, J.E., Pound, J.M. et Davey, R.B. 2004. Chemical control of ticks on cattle and the resistance of these parasites to acaricides. *Parasitology*, 129(S1): S353–S366.

Georghiou, G.P. 1971. Resistance of Insects and Mites to Insecticides and Acaricides and the Future of Pesticide Chemicals. Dans: J.E. Swift (ed.). *Agricultural chemicals: Harmony or discord for food, people and the proceedings of a symposium sponsored by the University of California, Division of Agricultural Sciences*. Berkely, University of California, Division of Agricultural Sciences.

Githaka, N.W., Kanduma, E.G., Wieland, B., Darghouth, M.A. et Bishop, R.P. 2022. Acaricide resistance in livestock ticks infesting cattle in Africa: Current status and potential mitigation strategies. *Current Research in Parasitology et Vector-Borne Diseases*, 2.

Gleim, E.R., Conner, L.M., Berghaus, R.D., Levin, M.L., Zemtsova, G.E. et Yabsley, M.J. 2014. The phenology of ticks and the effects of long-term prescribed burning on tick population dynamics in southwestern Georgia and northwestern Florida. *PLOS One*, 9(11).

Golo, P.S., dos Santos, A.S.D.O., Monteiro, C.M.O., Perinotto, W.M.D.S., Quinelato, S., Camargo, M.G., de Sá, F.A. *et al.* 2016. Lab-on-a-chip and SDS-PAGE analysis of hemolymph protein profile from *Rhipicephalus microplus* (Acari: Ixodidae) infected with entomopathogenic nematode and fungus. *Parasitology Research*, 115: 3459–3468.

Gonzaga, B.C.F., Barrozo, M.M., Coutinho, A.L., Pereira e Sousa, L.J.M., Vale, F.L., Marreto, L., Marchesini, P. *et al.* 2023. Essential oils and isolated compounds for tick control: Advances beyond the laboratory. *Parasites et Vectors*, 16.

Goolsby, J.A., Singh, N.K., Shapiro-Ilan, D.I., Miller, R.J., Moran, P.J. et de Leon, A.A.P. 2018. Treatment of cattle with *Steinernema riobrave* and *Heterorhabditis floridensis* for control of the southern cattle fever tick, *Rhipicephalus (= Boophilus) microplus*. *Southwestern Entomologist*, 43(2): 295–301.

Graf, J.-F., Gogolewski, R., Leach-Bing, N., Sabatini, G.A., Molento, M.B., Bordin, E.L. et Arantes, G.J. 2004. Tick control: An industry point of view. *Parasitology*, 129(S1): S427–S442.

Grisi, L., Leite, R.C., de Souza Martins, J.R., de Barros, A.T.M., Andreotti, R., Cançado, P.H.D., de León, A.A.P., Pereira, J.B. et Villela, H.S. 2014. Reassessment of the potential economic impact of cattle parasites in Brazil. *Brazilian Journal of Veterinary Parasitology*, 23: 150–156.

Guerrero, F.D., de León, A.A.P., Rodriguez-Vivas, R.I., Jonsson, N.N., Miller, R. et Andreotti, R. 2014. Acaricide Research and Development, Resistance, and Resistance Monitoring. Dans: D.E. Sonenshine et R.M. Roe, eds. *Biology of ticks*, volume 2, second edition: 353–374.

Guerrero, F.D., Li, A.Y. et Hernandez, R. 2002. Molecular diagnosis of pyrethroid resistance in Mexican strains of *Boophilus microplus* (Acari: Ixodidae). *Journal of Medical Entomology*, 39(5): 770–776.

Guerrero, F.D., Lovis, L. et Martins, J.R. 2012. Acaricide resistance mechanisms in *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*. *Brazilian Journal of Veterinary Parasitology*, 21(1): 1–6.

Guglielmone, A.A., Nava, S. et Robbins, R.G. 2023. Geographic distribution of the hard ticks (Acari: Ixodida: Ixodidae) of the world by countries and territories. *Zootaxa*, 5251(1): 1–274.

Guinan, F.L., Wiggans, G.R., Norman, H.D., Dürr, J.W., Cole, J.B., Tassell, C.P.V., Misztal, I. et Lourenco, D. 2023. Changes in genetic trends in US dairy cattle since the implementation of genomic selection. *Journal of Dairy Science*, 106(2): 1110–1129.

Hassan, S.M., Dipeolu, O.O., Amoo, A.O. et Odhiambo, T.R. 1991. Predation on livestock ticks by chickens. *Veterinary Parasitology*, 38(2–3): 199–204.

He, H., Chen, A.C., Davey, R.B., Ivie, G.W. et George, J.E. 1999. Identification of a point mutation in the para-type sodium channel gene from a pyrethroid-resistant cattle tick. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 261(3): 558–561.

HealthforAnimals. 2015. *Global benchmarking survey 2015*. Brussels. https://healthforanimals.org/wp-content/uploads/2021/06/global-benchmarking-survey-2015.pdf

Heesterbeek, J.A.P. et Roberts, M.G. 1995. Mathematical Models for Microparasites of Wildlife. Dans: B.T. Grenfell et A.P. Dobson, eds. *Ecology of infectious diseases in natural populations*. Cambridge, Cambridge University Press: 90–122.

Hertzberg, R.C. et MacDonell, M.M. 2002. Synergy and other ineffective mixture risk definitions. *Science of the Total Environment*, 288(1–2): 31–42.

Heylen, D.J.A., Labuschagne, M., Meiring, C., van der Mescht, L., Klafke, G., Junior, L.M.C., Strydom, T. *et al.* 2024. Phenotypic and genotypic characterization of acaricide resistance in *Rhipicephalus microplus* field isolates from South Africa and Brazil. *International Journal for Parasitology: Drugs and Drug Resistance*, 24.

Heylen, D.J.A., Kumsa, B., Kimbita, E., Frank, M.N., Muhanguzi, D., Jongejan, F., Adehan, S.B. *et al.* 2023. Tick-borne pathogens and body condition of cattle in smallholder rural livestock production systems in East and West Africa. *Parasites et Vectors*, 16.

Hlatshwayo, M. et Mbati, P.A. 2005. A survey of tick control methods used by resource-poor farmers in the Qwa-Qwa area of the eastern Free State Province, South Africa. *Onderstepoort Journal of Veterinary Research*, 72(3): 245–249.

Holder, P.J., Jones, A., Tyler, C.R. et Cresswell, J.E. 2018. Fipronil pesticide as a suspect in historical mass mortalities of honey bees. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(51): 13033–13038.

Holdsworth, P., Kemp, D., Green, P., Peter, R.J., De Bruin, C., Jonsson, N.N., Letonja, T., Rehbein, S. et Vercruysse, J. 2006. World Association for the Advancement of Veterinary Parasitology (WAAVP) guidelines for evaluating the efficacy of acaricides against ticks (Ixodidae) on ruminants. *Veterinary Parasitology*, 136(1): 29–43.

Holdsworth, P., Rehbein, S., Jonsson, N.N., Peter, R., Vercruysse, J. et Fourie, J. 2022. World Association for the Advancement of Veterinary Parasitology (WAAVP) second edition: Guideline for evaluating the efficacy of parasiticides against ectoparasites of ruminants. *Veterinary Parasitology*, 302.

Hsu, W.H. 2013. *Handbook of veterinary pharmacology*, second edition. Seoul, Shinilbooks Company.

International Cooperation on Harmonisation of Technical Requirements for Registration of Veterinary Medicinal Products (VICH). 2016. *VICH and its role in providing harmonised data requirements to support the authorisation of veterinary medicinal products*. VICH/10/008. Revision 2. Brussels, HealthforAnimals.

IRAC. 2024. Mode of Action Classification. [Consulté le 13 juin 2024]. https://irac-online.org/mode-of-action/classification-online/

Jaronski, S.T. et Mascarin, G.M. 2017. Mass Production of Fungal Entomopathogens. Dans: L.A. Lacey, ed. *Microbial control of insect and mite pests: From theory to practice*. Boston, Elsevier: 141–155.

Johansson, M., Mysterud, A. et Flykt, A. 2020. Livestock owners' worry and fear of tick-borne diseases. *Parasites et Vectors*, 13(1).

Jongejan, F., Berger, L., Reck, J., Ferreira, P.T., de Jesus, M.S., Scott, F.B., de Avelar, B.R. *et al.* 2024. RaTexT®: A novel rapid tick exposure test for detecting acaricide resistance in *Rhipicephalus microplus* ticks in Brazil. *Parasites et Vectors*, 17.

Jonsson, N.N., Cutullè, C., Corley, S.W. et Seddon, J.M. 2010a. Identification of a mutation in the *para*-sodium channel gene of the cattle tick *Rhipicephalus microplus* associated with resistance to flumethrin but not to cypermethrin. *International Journal for Parasitology*, 40(14): 1659–1664.

Jonsson, N.N., Klafke, G., Corley, S.W., Tidwell, J., Berry, C.M. et Koh-Tan, H.H. 2018. Molecular biology of amitraz resistance in cattle ticks of the genus *Rhipicephalus*. *Frontiers in Bioscience-Landmark*, 23(5): 791–810.

Jonsson, N.N., Matschoss, A.L., Pepper, P., Green, P.E., Albrecht, M.S., Hungerford, J. et Ansell, J. 2000. Evaluation of TickGARD^{PLUS}, a novel vaccine against *Boophilus microplus*, in lactating Holstein-Friesian cows. *Veterinary Parasitology*, 88(3–4): 275–285.

Jonsson, N.N., Mayer, D.G., Matschoss, A.L., Green, P.E. et Ansell, J. 1998. Production effects of cattle tick (*Boophilus microplus*) infestation of high yielding dairy cows. *Veterinary Parasitology*, 78(1): 65–77.

Jonsson, N.N., Miller, R.J., Kemp, D.H., Knowles, A., Ardila, A.E., Verrall, R.G. et Rothwell, J.T. 2010b. Rotation of treatments between spinosad and amitraz for the control of *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* populations with amitraz resistance. *Veterinary Parasitology*, 169(1–2): 157–164.

Jonsson, N.N., Piper, E.K. et Constantinoiu, C.C. 2014. Host resistance in cattle to infestation with the cattle tick *Rhipicephalus microplus*. *Parasite Immunology*, 36(11): 553–559.

Jonsson, N.N. 2004. *Integrated control programs for ticks on cattle: An examination of some possible components*. Rome, FAO.

Jonsson, N.N. 2006. The productivity effects of cattle tick (*Boophilus microplus*) infestation on cattle, with particular reference to *Bos indicus* cattle and their crosses. *Veterinary Parasitology*, 137(1–2): 1–10.

Jyoti, Singh, N.K., Singh, H., Singh, N.K. et Rath, S.S. 2016. Multiple mutations in the acetylcholinesterase 3 gene associated with organophosphate resistance in *Rhipicephalus* (*Boophilus*) *microplus* ticks from Punjab, India. *Veterinary Parasitology*, 216: 108–117.

Kasaija, P.D., Estrada-Peña, A., Contreras, M., Kirunda, H. et de la Fuente, J. 2021. Cattle ticks and tick-borne diseases: A review of Uganda's situation. *Ticks and Tick-borne Diseases*, 12(5).

Kivaria, F.M., Kapaga, A.M., Mbassa, G.K., Mtui, P.F. et Wani, R.J. 2012. Epidemiological perspectives of ticks and tick-borne diseases in South Sudan: Cross-sectional survey results. *Onderstepoort Journal of Veterinary Research*, 79(1): E1–E10.

Kivaria, F.M. 2006. Estimated direct economic costs associated with tick-borne diseases on cattle in Tanzania. *Tropical Animal Health and Production*, 38: 291–299.

Kjeldgaard, M.K., Takano, O.M., Bockoven, A.A., Teel, P.D., Light, J.E., Hamer, S.A., Hamer, G.L. et Eubanks, M.D. 2019. Red imported fire ant (*Solenopsis invicta*) aggression influences the behavior of three hard tick species. *Experimental and Applied Acarology*, 79: 87–97.

Klafke, G.M., Castro-Janer, E., Mendes, M.C., Namindome, A. et Schumaker, T.T.S. 2012. Applicability of *in vitro* bioassays for the diagnosis of ivermectin resistance in *Rhipicephalus microplus* (Acari: Ixodidae). *Veterinary Parasitology*, 184(2–4): 212–220.

Klafke, G.M., Sabatini, G.A., de Albuquerque, T.A., Martins, J.R., Kemp, D.H., Miller, R.J. et Schumaker, T.T.S. 2006. Larval immersion tests with ivermectin in populations of the cattle tick *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Acari: Ixodidae) from State of Sao Paulo, Brazil. *Veterinary Parasitology*, 142(3–4): 386–390.

Kocan, K.M., Pidherney, M.S., Blouin, E.F., Claypool, P.L., Samish, M. et Glazer, I. 1998. Interaction of entomopathogenic nematodes (*Steinernematidae*) with selected species of ixodid ticks (Acari: Ixodidae). *Journal of Medical Entomology*, 35(4): 514–520.

Kumar, R., Nagar, G., Sharma, A.K., Kumar, S., Ray, D.D., Chaudhuri, P. et Ghosh, S. 2013. Survey of pyrethroids resistance in Indian isolates of *Rhipicephalus* (*Boophilus*) *microplus*: Identification of C190A mutation in the domain II of the para-sodium channel gene. *Acta Tropica*, 125(2): 237–245.

Kunz, S.E. et Kemp, D.H. 1994. Insecticides and acaricides: Resistance and environmental impact. *Scientific and Technical Review*, 13(4): 1249–1286.

Laing, G., Aragrande, M., Canali, M., Savic, S. et De Meneghi, D. 2018. Control of cattle ticks and tick-borne diseases by acaricide in Southern Province of Zambia: A retrospective evaluation of animal health measures according to current One Health concepts. *Frontiers in Public Health*, 6.

Lew-Tabor, A.E. et Rodriguez Valle, M. 2016. A review of reverse vaccinology approaches for the development of vaccines against ticks and tick-borne diseases. *Ticks and Tick-borne Diseases*, 7(4): 573–585.

Li, A.Y., Chen, A.C., Miller, R.J., Davey, R.B. et George, J.E. 2007. Acaricide resistance and synergism between permethrin and amitraz against susceptible and resistant strains of *Boophilus microplus* (Acari: Ixodidae). *Pest Management Science*, 63(9): 882–889.

Li, A.Y., Davey, R.B. et Miller, R.J. 2010. Laboratory evaluation of verbutin as a synergist of acaricides against larvae of *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Acari: Ixodidae). *Journal of economic entomology*, 103(4): 1360–1364.

Lopes, L.B., Nicolino, R., Capanema, R.O., Oliveira, C.S.F., Haddad, J.P.A. et Eckstein, C. 2016. Economic impacts of parasitic diseases in cattle. *CABI Reviews*, 10(51).

Lopez-Arias, A., Villar-Argaiz, D., Chaparro-Gutierrez, J.J., Miller, R.J. et de Leon, A.A.P. 2014. Reduced efficacy of commercial acaricides against populations of resistant cattle tick *Rhipicephalus microplus* from two municipalities of Antioquia, Colombia. *Environmental Health Insights*, 8(Suppl 2): 71–80.

Lovis, L., Mendes, M.C., Perret, J.-L., Martins, J.R., Bouvier, J., Betschart, B. et Sager, H. 2013. Use of the larval tarsal test to determine acaricide resistance in *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* Brazilian field populations. *Veterinary Parasitology*, 191(3–4): 323–331.

Lovis, L., Perret, J.-L., Bouvier, J., Fellay, J.-M., Kaminsky, R., Betschart, B. et Sager, H. 2011. A new *in vitro* test to evaluate the resistance level against acaricides of the cattle tick, *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*. *Veterinary Parasitology*, 182(2–4): 269–280.

Lumaret, J.-P., Errouissi, F., Floate, K., Rombke, J. et Wardhaugh, K. 2012. A review on the toxicity and non-target effects of macrocyclic lactones in terrestrial and aquatic environments. *Current Pharmaceutical Biotechnology*, 13(6): 1004–1060.

Madder, M., Thys, E., Achi, L., Touré, A. et De Deken, R. 2011. *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*: A most successful invasive tick species in West-Africa. *Experimental and Applied Acarology*, 53: 139–145.

Madder, M., Thys, E., Geysen, D., Baudoux, C. et Horak, I. 2007. *Boophilus microplus* ticks found in West Africa. *Experimental and Applied Acarology*, 43: 233–234.

Madgwick, P.G. et Kanitz, R. 2024. What is the value of rotations to insecticide resistance management? *Pest Management Science*, 80(4): 1671–1680.

Marciano, A.F., Mascarin, G.M., Franco, R.F.F., Golo, P.S., Jaronski, S.T., Fernandes, É.K.K. et Bittencourt, V.R.E.P. 2021. Innovative granular formulation of *Metarhizium robertsii* microsclerotia and blastospores for cattle tick control. *Scientific Reports*, 11.

Marques, R., Krüger, R.F., Peterson, A.T., de Melo, L.F., Vicenzi, N. et Jiménez-García, D. 2020. Climate change implications for the distribution of the babesiosis and anaplasmosis tick vector, *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*. *Veterinary Research*, 51(81).

Matthews, G.A. 2016. *Pesticides: Health, safety and the environment*, second edition. Chichester, John Wiley et Sons, Ltd.

Mehlhorn, H., Schumacher, B., Jatzlau, A., Abdel-Ghaffar, F., Al-Rasheid, K.A.S., Klimpel, S. et Pohle, H. 2011. Efficacy of deltamethrin (Butox® 7.5 pour on) against nymphs and adults of ticks (*Ixodes ricinus*, *Rhipicephalus sanguineus*) in treated hair of cattle and sheep. *Parasitology Research*, 108: 963–971.

Mekonnen, S. 2000. Efficacy of flumethrin 1% pour-on against ticks on cattle under field conditions in Ethiopia. *Onderstepoort Journal of Veterinary Research*, 67(4): 235–237.

Mesquita, E., Marciano, A.F., Corval, A.R.C., Fiorotti, J., Corrêa, T.A., Quinelato, S., Bittencourt, V.R.E.P. et Golo, P.S. 2020. Efficacy of a native isolate of the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* against larval tick outbreaks under semifield conditions. *BioControl*, 65: 353–362.

Mingolla, C., Hudders, L., Vanwesenbeeck, I. et Claerebout, E. 2019. Towards a biased mindset: An extended Theory of Planned Behaviour framework to predict farmers' intention to adopt a sustainable mange control approach. *Preventive Veterinary Medicine*, 169.

Molento, M.B. 2009. Parasite control in the age of drug resistance and changing agricultural practices. *Veterinary Parasitology*, 163(3): 229–234.

Molento, M.B. 2020. Avaliação seletiva de bovinos para controle do *Rhipicephalus microplus*. *Ars Veterinaria*, 36(1): 1–2.

Molento, M.B. et Brandão, Y.O. 2022. Macrocyclic lactone resistance in nematodes of cattle in Brazil: Blame it to the ticks! *Parasitology International*, 89.

Molento, M.B., Chaaban, A., Nunes Gomes, E., da Silva Santos, V.M.C. et Maurer, J.B.B. 2020. Plant extracts used for the control of endo and ectoparasites of livestock: A review of the last 13 years of science. *Archives of Veterinary Science*, 25(4): 1–27.

Molento, M.B., Fortes, F.S., Buzatti, A., Kloster, F.S., Sprenger, L.K., Coimbra, E. et Soares, L.D. 2013. Partial selective treatment of *Rhipicephalus microplus* and breed resistance variation in beef cows in Rio Grande do Sul, Brazil. *Veterinary Parasitology*, 192(1–3): 234–239.

Monteiro, C., Araújo, L.X., Gomes, G.A., Senra, T.O.S., Calmon, F., Daemon, E., de Carvalho, M.G. *et al.* 2014. Entomopathogenic nematodes associated with essential oil of *Lippia sidoides* for control of *Rhipicephalus microplus* (Acari: Ixodidae). *Parasitology Research*, 113: 189–195.

Monteiro, C., Vale, F.L., Vieira, M.S., Perinotto, W.M. de S., Auad, A.M., Dolisnki, C., Furlong, J., Bittencourt, V.R.E.P. et Cristina de Azevedo Prata, M. 2020. Efficacy of *Heterorhabditis baujardi* (Rhabditida: Heterorhabditidae) against *Rhipicephalus microplus* (Acari: Ixodidae) in presence of susceptible and alternate insect hosts. *Biocontrol Science and Technology*, 30(12): 1316–1329.

Monteiro, I.N., dos Santos Monteiro, O., Costa-Junior, L.M., da Silva Lima, A., de Aguiar Andrade, E.H., Maia, J.G.S. et Mouchrek Filho, V.E. 2017. Chemical composition and acaricide activity of an essential oil from a rare chemotype of *Cinnamomum verum* Presl on *Rhipicephalus microplus* (Acari: Ixodidae). *Veterinary Parasitology*, 238: 54–57.

Moyo, B. et Masika, P.J. 2009. Tick control methods used by resource-limited farmers and the effect of ticks on cattle in rural areas of the Eastern Cape Province, South Africa. *Tropical Animal Health and Production*, 41: 517–523.

Mugabi, K.N., Mugisha, A. et Ocaido, M. 2010. Socio-economic factors influencing the use of acaricides on livestock: A case study of the pastoralist communities of Nakasongola District, Central Uganda. *Tropical Animal Health and Production*, 42: 131–136.

Muhammad, G., Naureen, A., Firyal, S. et Saqib, M. 2008. Tick control strategies in dairy production medicine. *Pakistan Veterinary Journal*, 28(1): 43–50.

Nagar, G., Sharma, A.K., Chigure, G., Manjunathachar, H.V., Saravanan, B.C., Rai, A. et Ghosh, S. 2016. Identification of mutations in acetylcholinesterase 2 gene of acaricide resistant isolates of *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*. *International Journal of Science, Environment and Technology*, 5(5): 3440–3447.

Namgyal, J., Tenzin, T., Checkley, S., Lysyk, T.J., Rinchen, S., Gurung, R.B., Dorjee, S., Couloigner, I. et Cork, S.C. 2021. A knowledge, attitudes, and practices study on ticks and tick-borne diseases in cattle among farmers in a selected area of eastern Bhutan. *PLOS One*, 16(2).

Nasirian, H. 2024. Hard tick species parasitism levels in domestic ruminants with their distribution and role as vectors: A detailed global meta-analysis and systematic review. *Acta Parasitologica*, 69: 1–105.

Nava, S., Mastropaolo, M., Guglielmone, A.A. et Mangold, A.J. 2013. Effect of deforestation and introduction of exotic grasses as livestock forage on the population dynamics of the cattle tick *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Acari: Ixodidae) in northern Argentina. *Research in Veterinary Science*, 95(3): 1046–1054.

Nava, S., Rossner, M.V., Torrents, J., Morel, N., Martinez, N.C., Mangold, A.J. et Guglielmone, A.A. 2020. Management strategies to minimize the use of synthetic chemical acaricides in the control of the cattle tick *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Canestrini, 1888) in an area highly favourable for its development in Argentina. *Medical and Veterinary Entomology*, 34(3): 264–278.

Newton, L.G. 1967. Acaricia e resistance and cattle tick control. *Australian Veterinary Journal*, 43(9): 389–394.

Norris, E.J., Chen, R., Li, Z., Geldenhuys, W., Bloomquist, J.R. et Swale, D.R. 2022. Mode of action and toxicological effects of the sesquiterpenoid, nootkatone, in insects. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 183.

Northern Territory Government. 2022. *Acaricide (chemical) resistance in cattle ticks*. Darwin, Department of Industry, Tourism and Trade.

Obaid, M.K., Islam, N., Alouffi, A., Khan, A.Z., da Silva Vaz Jr, I., Tanaka, T. et Ali, A. 2022. Acaricides resistance in ticks: Selection, diagnosis, mechanisms, and mitigation. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 12.

Odubote, I.K. 2022. Characterization of production systems and management practices of the cattle population in Zambia. *Tropical Animal Health and Production*, 54.

Ojeda-Chi, M.M., Rodríguez-Vivas, R.I., Galindo-Velasco, E., Lezama-Gutiérrez, R. et Cruz-Vázquez, C. 2011. Control of *Rhipicephalus microplus* (Acari: Ixodidae) using the entomopathogenic fungi *Metarhizium anisopliae* (Hypocreales: Clavicipitaceae). Review. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 2(2): 177–192.

Okello, W.O., MacLeod, E.T., Muhanguzi, D., Waiswa, C. et Welburn, S.C. 2021. Controlling tsetse flies and ticks using insecticide treatment of cattle in tororo district Uganda: Cost benefit analysis. *Frontiers in Veterinary Science*, 8.

Olwoch, J.M., Reyers, B., Engelbrecht, F.A. et Erasmus, B.F.N. 2008. Climate change and the tick-borne disease, *Theileriosis* (East Coast fever) in sub-Saharan Africa. *Journal of Arid Environments*, 72(2): 108–120.

Olwoch, J.M., Van Jaarsveld, A.S., Scholtz, C.H. et Horak, I.G. 2007. Climate change and the genus *Rhipicephalus* (Acari: Ixodidae) in Africa. *Onderstepoort Journal of Veterinary Research*, 74: 45–72.

Orr, A. 2003. Integrated pest management for resource-poor African farmers: Is the emperor naked? *World Development*, 31(5): 831–845.

Ouedraogo, A.S., Zannou, O.M., Biguezoton, A.S., Yao, K.P., Belem, A.M.G., Farougou, S., Oosthuizen, M., Saegerman, C. et Lempereur, L. 2021. Cross border transhumance involvement in ticks and tick-borne pathogens dissemination and first evidence of *Anaplasma centrale* in Burkina Faso. *Ticks and Tick-borne Diseases*, 12(5).

Paixão, F.R.S., Huarte-Bonnet, C., Ribeiro-Silva, C.D.S., Mascarin, G.M., Fernandes, É.K. et Pedrini, N. 2021. Tolerance to abiotic factors of microsclerotia and mycelial pellets from *Metarhizium robertsii*, and molecular and ultrastructural changes during microsclerotial differentiation. *Frontiers in Fungal Biology*, 2.

Parsa, S., Morse, S., Bonifacio, A., Chancellor, T.C.B, Condori, B., Crespo-Pérez, V., Hobbs, S.L. *et al.* 2014. Obstacles to integrated pest management adoption in developing countries. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(10): 3889–3894.

Paucar-Quishpe, V., Pérez-Otáñez, X., Rodríguez-Hidalgo, R., Cepeda-Bastidas, D., Pérez-Escalante, C., Grijalva-Olmedo, J., Enríquez, S. *et al.* 2023. An economic evaluation of cattle tick acaricide-resistances and the financial losses in subtropical dairy farms of Ecuador: A farm system approach. *PLOS One*, 18(6).

Pegram, R.G., Wilson, D.D. et Hansen, J.W. 2000. Past and present national tick control programs. Why they succeed or fail. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 916(1): 546–554.

Peixoto, M.G., Costa-Júnior, L.M., Blank, A.F., da Silva Lima, A., Menezes, T.S.A., de Alexandria Santos, D., Alves, P.B. *et al.* 2015. Acaricidal activity of essential oils from *Lippia alba* genotypes and its major components carvone, limonene, and citral against *Rhipicephalus microplus*. *Veterinary Parasitology*, 210(1–2): 118–122.

Pereira, D.F.S., Ribeiro, H.S., Gonçalves, A.A.M., da Silva, A.V., Lair, D.F., de Oliveira, D.S., Boas, D.F.V. *et al.* 2022. *Rhipicephalus microplus*: An overview of vaccine antigens against the cattle tick. *Ticks and Tick-borne Diseases*, 13(1).

Pérez-Cogollo, L.C., Rodríguez-Vivas, R.I., del Socorro Basto-Estrella, G., Reyes-Novelo, E., Martínez-Morales, I., Ojeda-Chi, M.M. et Favila, M.E. 2018. Toxicidad y efectos adversos de las lactonas macrocíclicas sobre los escarabajos estercoleros: Una revisión. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 89(4): 1293–1314.

Perez de León, A.A., Mahan, S., Messenger, M., Ellis, D., Varner, K., Schwartz, A., Baca, D. *et al.* 2018. Public-private Partnership Enabled Use of Anti-tick Vaccine for Integrated Cattle Fever Tick Eradication in the USA. Dans: C. Garros, J. Bouyer, W. Takken et R.C. Smallegange, eds. *Pests and vector-borne diseases in the livestock industry*. Leiden, Wageningen Academic.

Perez de León, A.A., Mitchell, R.D., Miller, R.J. et Lohmeyer, K.H. 2021. Advances in Integrated Tick Management Research for Area-Wide Mitigation of Tick-Borne Disease Burden. Dans: J. Hendrichs, R. Pereira et J.B. Vreysen. *Area-wide integrated pest management*. Boca Raton, CRC Press.

Perez de León, A.A., Teel, P.D., Li, A., Ponnusamy, L. et Roe, R.M. 2014. Advancing integrated tick management to mitigate burden of tick-borne diseases. *Outlooks on Pest Management*, 25(6): 382–389.

Perveen, N., Bin Muzaffar, S.B. et Al-Deeb, M.A. 2021. Ticks and tick-borne diseases of livestock in the Middle East and North Africa: A review. *Insects*, 12(1).

Petermann, J., Cauquil, L., Hurlin, J.C., Gaia, H. et Hüe, T. 2016. Survey of cattle tick, *Riphicephalus (Boophilus) microplus*, resistance to amitraz and deltamethrin in New Caledonia. *Veterinary Parasitology*, 217: 64–70.

Polito, V.J., Baum, K.A., Payton, M.E., Little, S.E., Fuhlendorf, S.D. et Reichard, M.V. 2013. Tick abundance and levels of infestation on cattle in response to patch burning. *Rangeland Ecology et Management*, 66(5): 545–552.

Portugal, T.B., Campo, B.M., Martin, D.M., Moraes, R.F., Schuster, M.Z., Szymczak, L.S., Mezzalira, J.C. *et al.* 2018. Componente Pastoril em Sistema Integrado de Produção Agropecuária em Área de Proteção Ambiental. Dans: R. Dominschek, S. Kruchelski, L. Deiss, T.B. Portugal, L.G. Denardin, A.P. Martins, C.R. Lang et A. de Moraes, eds. *Sistemas integrados de produção agropecuária na promoção da intensificação sustentável*. pp. 59–70. Curitiba, Federal University of Paraná.

Prullage, J.B., Cawthorne, W.G., Le Hir De Fallois, L.P. et Timmons, P.R. 2011. Synergy between fipronil and amitraz in a *Rhipicephalus sanguineus* tick residual contact test. *Experimental and Applied Acarology*, 54: 173–176.

Quadros, D.G., Johnson, T.L., Whitney, T.R., Oliver, J.D. et Oliva Chávez, A.S. 2020. Plant-derived natural compounds for tick pest control in livestock and wildlife: Pragmatism or utopia? *Insects*, 11(8).

Ramírez-Rivera, E.J., Rodríguez-Miranda, J., Huerta-Mora, I.R., Cárdenas-Cágal, A. et Juárez-Barrientos, J.M. 2019. Tropical milk production systems and milk quality: A review. *Tropical Animal Health and Production*, 51: 1295–1305.

Reck, J., Klafke, G.M., Webster, A., Dall'Agnol, B., Scheffer, R., Souza, U.A., Corassini, V.B. *et al.* 2014. First report of fluazuron resistance in *Rhipicephalus microplus*: A field tick population resistant to six classes of acaricides. *Veterinary Parasitology*, 201(1–2): 128–136.

Robaina, D., Caballero, J. et Suárez, G. 2023. Syringe immersion test as *in vitro* bioassay against *Rhipicephalus microplus*: Macrocyclic lactones dose-response relationship. *Open Veterinary Journal*, 13(10): 1259–1267.

Robinson, T.P., Thornton, P., Franceschini, G., Kruska, R., Chiozza, F., Notenbaert, A., Cecchi, G. *et al.* 2018. Global distribution of ruminant livestock production systems V5 (5 minutes of arc). Dans: *Harvard Dataverse*. [Consulté le 18 novembre 2024]. https://doi.org/10.7910/DVN/WPDSZE

Rodríguez-Vivas, R.I. 2008. The effect of selection pressure on the genotype and phenotype of acaricide resistance in *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*. Liverpool, University of Liverpool. PhD dissertation.

Rodríguez-Vivas, R.I., (dir. pub.) 2023. *Manual para el control de garrapatas que afectan al ganado bovino*. Zaragoza, Servet Editorial.

Rodríguez-Vivas, R.I., Basto-Estrella, G.S., Reyes-Novelo, E., Arceo-Moran, A.A., Arcila-Fuentes, W.R., Ojeda-Chi, M.M. et Martínez-M, I. 2020. Evaluation of the attraction, lethal and sublethal effects of the faeces of ivermectin-treated cattle on the dung beetle *Digitonthophagus gazella* (Coleoptera: Scarabaeidae). *Austral Entomology*, 59(2): 368–374.

Rodríguez-Vivas, R.I., España, E.R., Blanco, I.L., Ojeda-Chi, M.M., Trinidad-Martinez, I., Islas, J.A.T. et Bhushan, C. 2021. Monitoring the resistance of *Rhipicephalus microplus* to amitraz, flumethrin, coumaphos, and ivermectin on cattle farms in Mexico. *Veterinary Parasitology: Regional Studies and Reports*, 26.

Rodríguez-Vivas, R.I., Grisi, L., de León, A.A.P., Villela, H.S., de Jesús Torres-Acosta, J.F., Sanchez, H.F., Salas, D.R. *et al.* 2017. Potential economic impact assessment for cattle parasites in Mexico: Review. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 8(1): 61–74.

Rodríguez-Vivas, R.I., Hodgkinson, J.E., Rosado-Aguilar, J.A., Villegas-Perez, S.L. et Trees, A.J. 2012. The prevalence of pyrethroid resistance phenotype and genotype in *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* in Yucatan, Mexico. *Veterinary Parasitology*, 184(2–4): 221–229.

Rodríguez-Vivas, R.I., Jonsson, N.N. et Bhushan, C. 2018. Strategies for the control of *Rhipicephalus microplus* ticks in a world of conventional acaricide and macrocyclic lactone resistance. *Parasitology Research*, 117: 3–29.

Rodríguez-Vivas, R.I., Li, A.Y., Ojeda-Chi, M.M., Trinidad-Martinez, I., Rosado-Aguilar, J.A., Miller, R.J. et de León, A.A.P. 2013. *In vitro* and *in vivo* evaluation of cypermethrin, amitraz, and piperonyl butoxide mixtures for the control of resistant *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Acari: Ixodidae) in the Mexican tropics. *Veterinary Parasitology*, 197(1–2): 288–296.

Rodríguez-Vivas, R.I., Rosado-Aguilar, J.A., Ojeda-Chi, M.M., Pérez-Cogollo, L.C., Trinidad-Martínez, I. et Bolio-González, M.E. 2014. Integrated control of ticks in bovine livestock. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 1(3): 295–308.

Rosado-Aguilar, J.A., Arjona-Cambranes, K., Torres-Acosta, J.F.J., Rodríguez-Vivas, R.I., Bolio-González, M.E., Ortega-Pacheco, A., Alzina-López, A. *et al.* 2017. Plant products and secondary metabolites with acaricide activity against ticks. *Veterinary Parasitology*, 238: 66–76.

Roy-Smith, F. 1975. Amitraz-Australian Field Trials against the Cattle Tick (*Boophilus microplus*). Dans: *Proceedings of the Eighth British Insecticide and Fungicide Conference, 17th to 20th November 1975*. British Crop Protection Council.

Sabatini, G.A., Kemp, D.H., Hughes, S., Nari, A. et Hansen, J. 2001. Tests to determine LC50 and discriminating doses for macrocyclic lactones against the cattle tick, *Boophilus microplus*. *Veterinary Parasitology*, 95(1): 53–62.

Samish, M., Ginsberg, H. et Glazer, I. 2004. Biological control of ticks. *Parasitology*, 129(S1): S389–S403.

Samish, M., Ginsberg, H. et Glazer, I. 2008. Anti-tick Biological Control Agents: Assessment and future perspectives. Dans: A.S. Bowman et P.A Nuttal, eds. *Biology, disease and control*. Cambridge, Cambridge University Press.

Samish, M. et Rehacek, J. 1999. Pathogens and predators of ticks and their potential in biological control. *Annual Review of Entomology*, 44: 159–182.

Samuelson, W. et Zeckhauser, R. 1988. Status quo bias in decision-making. *Journal of Risk and Uncertainty*, 1: 7–59.

San-Blas, E., Campos-Herrera, R., Dolinski, C., Monteiro, C., Andaló, V., Leite, L.G., Rodríguez, M.G. *et al.* 2019. Entomopathogenic nematology in Latin America: A brief history, current research and future prospects. *Journal of Invertebrate Pathology*, 165: 22–45.

Sangster, N.C. 2001. Managing parasiticide resistance. *Veterinary Parasitology*, 98(1–3): 89–109.

Santos, T.R.B., Klafke, G.M., Pappen, F.G., Nizoli, L.Q., Biegelmeyer, P. et Farias, N.A.R. 2013. Comparison of three larval bioassays to evaluate susceptibility of *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* to amitraz. *Brazilian Journal of Veterinary Parasitology*, 22(4): 495–501.

Sarwar, M. 2015. The dangers of pesticides associated with public health and preventing of the risks. *International Journal of Bioinformatics and Biomedical Engineering*, 1(2): 130–136.

Schafaschek, A.I.I., Portugal, T.B., Filus, A., de Moraes, A., de Camargo Guaraldo, A., Pritsch, I.C. et Molento, M.B. 2021. Transient threshold abundance of *Haematobia irritans* (Linnaeus, 1758) in cattle under integrated farming systems. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences*, 11(2): 322–341.

Schnitzerling, H.J., Nolan, J. et Hughes, S. 1983. Toxicology and metabolism of some synthetic pyrethroids in larvae of susceptible and resistant strains of the cattle tick *boophilus microplus* (Can.). *Pesticide Science*, 14(1): 64–72.

Selzer, P.M. et Epe, C. 2021. Antiparasitics in animal health: Quo vadis? *Trends in Parasitology*, 37(1): 77–89.

Shakya, M., Nandi, A., Fular, A., Kumar, S., Bisht, N., Sharma, A.K., Singh, K. *et al.* 2022. Synergistic property of piperonyl butoxide, diethyl maleate, triphenyl phosphate and verapamil hydrochloride with deltamethrin and ivermectin against *Rhipicephalus microplus* ticks. *Ticks and Tick-borne Diseases*, 13(6).

Shapiro-Ilan, D., Hazir, S. et Glazer, I. 2017. Basic and Applied Research: Entomopathogenic Nematodes. Dans: L.A. Lacey, ed. *Microbial control of insect and mite pests: From theory to practice*. Boston, Elsevier. 91-105.

Sharma, A.K., Kumar, R., Kumar, S., Nagar, G., Singh, N.K., Rawat, S.S., Dhakad, M.L. *et al.* 2012. Deltamethrin and cypermethrin resistance status of *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* collected from six agro-climatic regions of India. *Veterinary Parasitology*, 188(3–4): 337–345.

Shaw, R.D. 1966. Culture of an organophosphorus-resistant strain of *Boophilus microplus* (Can.) and an assessment of its resistance spectrum. *Bulletin of Entomological Research*, 56(3): 389–405.

Shephard, R., Webb Ware, J., Blomfield, B. et Niethe, G. 2022. *Priority list of endemic diseases for the red meat industry: 2022 update*. North Sydney, Meat et Livestock Australia.

Showler, A.T., Garcia, A.R. et Caesar, R.M. 2020. Lethal effects of a silica gel+ pyrethrins (Drione) on *Amblyomma americanum* (Ixodida: Ixodidae) larvae and nymphs. *Journal of Medical Entomology*, 57(6): 1864–1871.

Silva Lima, A., Milhomem, M.N., Santos Monteiro, O., Arruda, A.C.P., de Castro, J.A.M., Fernandes, Y.M.L., Maia, J.G.S. et Costa-Junior, L.M. 2018. Seasonal analysis and acaricidal activity of the thymol-type essential oil of *Ocimum gratissimum* and its major constituents against *Rhipicephalus microplus* (Acari: Ixodidae). *Parasitology Research*, 117: 59–65.

Silva, R.V., de Brito, J., Lynn, C.J. et Dhir, R.K. 2019. Environmental impacts of the use of bottom ashes from municipal solid waste incineration: A review. *Resources, Conservation and Recycling*, 140: 23–35.

Sindhu, Z., Jonsson, N.N. et Iqbal, Z. 2012. Syringe test (modified larval immersion test): A new bioassay for testing acaricidal activity of plant extracts against *Rhipicephalus microplus*. *Veterinary Parasitology*, 188(3–4): 362–367.

Singh, K., Kumar, S., Sharma, A.K., Jacob, S.S., RamVerma, M., Singh, N.K., Shakya, M., Sankar, M. et Ghosh, S. 2022. Economic impact of predominant ticks and tick-borne diseases on Indian dairy production systems. *Experimental Parasitology*, 243.

Singh, N.K., Goolsby, J.A., Shapiro-Ilan, D.I., Miller, R.J., Setamou, M. et de Leon, A.A.P. 2018. Effect of immersion time on efficacy of entomopathogenic nematodes against engorged females of cattle fever tick, *Rhipicephalus (= Boophilus) microplus*. *Southwestern Entomologist*, 43(1): 19–28.

Siriwat, S., Nganchamung, T., Ponrachom, C., Siriwong, W. et Robson, M.G. 2021. Health risk assessment of dermal exposure to Chlorpyrifos among children in agricultural areas in Sakon Nakhon Province, Thailand. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. 27 (9–10): 2277–2287.

Smith, R.D. 1983. *Babesia bovis*: Computer simulation of the relationship between the tick vector, parasite, and bovine host. *Experimental Parasitology*, 56(1): 27–40.

Songa, E.A. et Okonkwo, J.O. 2016. Recent approaches to improving selectivity and sensitivity of enzyme-based biosensors for organophosphorus pesticides: A review. *Talanta*, 155: 289–304.

Stone, B.F. et Haydock, K.P. 1962. A method for measuring the acaricide-susceptibility of the cattle tick *Boophilus microplus* (Can.). *Bulletin of Entomological Research*, 53(3): 563–578.

Stone, N.E., Olafson, P.U., Davey, R.B., Buckmeier, G., Bodine, D., Sidak-Loftis, L.C., Giles, J.R. *et al.* 2014. Multiple mutations in the *para*-sodium channel gene are associated with pyrethroid resistance in *Rhipicephalus microplus* from the United States and Mexico. *Parasites et Vectors*, 7: 456.

Sullivan, C.F., Parker, B.L. et Skinner, M. 2022. A review of commercial *Metarhizium*- and *Beauveria*-based biopesticides for the biological control of ticks in the USA. *Insects*, 13.

Sutherst, R.W. et Comins, H.N. 1979. The management of acaricide resistance in the cattle tick, *Boophilus microplus* (Canestrini) (Acari: Ixodidae), in Australia. *Bulletin of Entomological Research*, 69(3): 519–537.

Sutherst, R.W., Maywald, G.F., Kerr, J.D. et Stegeman, D.A. 1983. The effect of cattle tick (*Boophilus microplus*) on the growth of *Bos indicus* x *B. taurus* steers. *Australian Journal of Agricultural Research*, 34(3): 317–327.

Tabashnik, B.E. 1990. Modeling and Evaluation of Resistance Management Tactics. Dans: R.T. Roush et B.E. Tabashnik, eds. *Pesticide resistance in arthropods*. Boston, Springer.

Tesfaye, T. et Abate, A. 2023. Knowledge, attitude and practices study of acaricide usage and tick control in South Omo Zone pastoral areas, South-Western Ethiopia. *Heliyon*, 9(6).

Thomas, D.B., Klafke, G., Busch, J.D., Olafson, P.U., Miller, R.A., Mosqueda, J., Stone, N.E. *et al.* 2020. Tracking the increase of acaricide resistance in an invasive population of cattle fever ticks (Acari: Ixodidae) and implementation of real-time PCR assays to rapidly genotype resistance mutations. *Annals of the Entomological Society of America*, 113(4): 298–309.

Thullner, F., Willadsen, P. et Kemp, D. 2007. Acaricide rotation strategy for managing resistance in the tick *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Acarina: Ixodidae): Laboratory experiment with a field strain from Costa Rica. *Journal of Medical Entomology*, 44(5): 817–821.

Torrents, J., Sarli, M., Rossner, M.V., Toffaletti, J.R., Morel, N., Martínez, N.C., Webster, A. *et al.* 2020. Resistance of the cattle tick *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* to ivermectin in Argentina. *Research in Veterinary Science*, 132: 332–337.

Tudi, M., Li, H., Li, H., Wang, L., Lyu, J., Yang, L., Tong, S. *et al.* 2022. Exposure Routes and Health Risks Associated with Pesticide Application. *Toxics*, 10.

United Nations Innovation Network. 2021. *United Nations Behavioural Science Report*. New York.

Valle, M.R., Mèndez, L., Valdez, M., Redondo, M., Espinosa, C.M., Vargas, M., Cruz, R.L. *et al.* 2004. Integrated control of *Boophilus microplus* ticks in Cuba based on vaccination with the anti-tick vaccine Gavac™. *Experimental et Applied Acarology*, 34: 375–382.

Vargas-Hernández, M., Santana-Rodríguez, E., Montero-Espinosa, C., Sordo-Puga, Y., Acosta-Hernández, A., Fuentes-Rodríguez, Y., Pérez-Pérez, D. *et al.* 2018. Stability, safety and protective immunity of Gavac® vaccine subjected to heat stress. *Biotecnología Aplicada*, 35(1): 1221–1227.

Veterinary Medicines Directorate. 2022. Guidelines on veterinary medicinal products waste management. Nairobi.

Villar, D., Klafke, G.M., Rodríguez-Durán, A., Bossio, F., Miller, R., Pérez de León, A.A., Cortés-Vecino, J.A. et Chaparro-Gutiérrez, J.J. 2020. Resistance profile and molecular characterization of pyrethroid resistance in a *Rhipicephalus microplus* strain from Colombia. *Medical and Veterinary Entomology*, 34(1): 105–115.

Villar, D. et Schaeffer, D.J. 2022. Collateral damage of fipronil in economic and ecologically important non-target species. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 35(4): 185–190.

Vudriko, P., Umemiya-Shirafuji, R., Tayebwa, D.S., Byaruhanga, J., Byamukama, B., Tumwebaze, M., Xuan, X. et Suzuki, H. 2022. Molecular characterization of octopamine/tyramine receptor gene of amitraz-resistant *Rhipicephalus (Boophilus) decoloratus* ticks from Uganda. *Microorganisms*, 10(12).

Waldman, J., Klafke, G.M. et da Silva Vaz Júnior, I. 2023. Mechanisms of acaricide resistance in ticks. *Acta scientiae Veterinariae*. 51.

Wang, H.-H.., Corson, M.S., Grant, W.E. et Teel, P.D. 2017. Quantitative models of *Rhipicephalus (Boophilus)* ticks: Historical review and synthesis. *Ecosphere*, 8(9).

WHO. 2019. WHO recommended classification of pesticides by hazard and guidelines to classification, 2019 edition. Geneva.

WHO. 2024. *Evaluations of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA)*. Geneva. [Consulté le 13 juin 2024]. https://apps.who.int/food-additives-contaminants-jecfa-database/

WHO. 2024. *Inventory of evaluations performed by the Joint Meeting on Pesticide Residues (JMPR)*. Geneva. [Consulté le 13 juin 2024]. https://apps.who.int/pesticide-residues-jmpr-database/

Willadsen, P. 2004. Anti-tick vaccines. *Parasitology*, 129(S1): S367–S387.

WOAH. 2022. *How to set up a pharmacovigilance system for veterinary medicinal products*. 2nd edition. Paris. https://doi.org/10.20506/pharma.3336

Zimmermann, G. 2007a. Review on safety of the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Beauveria brongniartii*. *Biocontrol Science and Technology*, 17(6): 553–596.

Zimmermann, G. 2007b. Review on safety of the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae*. *Biocontrol Science and Technology*, 17(9): 879–920.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES DU TABLEAU 3

Baron, S., van der Merwe, N.A., Madder, M. et Maritz-Olivier, C. 2015. SNP analysis infers that recombination is involved in the evolution of amitraz resistance in *Rhipicephalus microplus*. *PLOS One*, 10(7).

Castro-Janer, E., Klafke, G.M., Fontes, F., Capurro, M.L. et Schumaker, T.S.S. 2019. Mutations in *Rhipicephalus microplus* GABA gated chloride channel gene associated with fipronil resistance. *Ticks and Tick-borne Diseases*, 10(4): 761–765.

Corley, S.W., Jonsson, N.N., Piper, E.K., Cutullé, C., Stear, M.J. et Seddon, J.M. 2013. Mutation in the RmβAOR gene is associated with amitraz resistance in the cattle tick *Rhipicephalus microplus*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(42): 16772–16777.

Cossío-Bayúgar, R., Martínez-Ibañez, F., Aguilar-Díaz, H. et Miranda-Miranda, E. 2018. Pyrethroid acaricide resistance is proportional to P-450 cytochrome oxidase expression in the cattle tick *Rhipicephalus microplus*. *BioMed Research Internationa*l, 1.

de La Canal, L.H., Dall'Agnol, B., Webster, A., Reck, J., Martins, J.R. et Klafke, G.M. 2021. Mechanisms of amitraz resistance in a *Rhipicephalus microplu*s strain from southern Brazil. *Ticks and Tick-Borne Diseases*, 12(5).

Guerrero, F.D., Li, A.Y. et Hernandez, R. 2002. Molecular diagnosis of pyrethroid resistance in Mexican strains of *Boophilus microplus* (Acari: Ixodidae). *Journal of Medical Entomology*, 39(5): 770–776.

Jonsson, N.N., Klafke, G., Corley, S.W., Tidwell, J., Berry, C.M. et Koh-Tan, H.H. 2018. Molecular biology of amitraz resistance in cattle ticks of the genus *Rhipicephalus*. *Frontiers in Bioscience-Landmark*, 23(5): 791–810.

Jyoti, Singh, N.K., Singh, H., Singh, N.K. et Rath, S.S. 2021. Genotyping amitraz resistance profiles in *Rhipicephalus microplus* Canestrini (Acari: Ixodidae) ticks from Punjab, India. *Ticks and Tick-Borne Diseases*, 12(1).

Kumar, R., Klafke, G.M. et Miller, R.J. 2020. Voltage-gated sodium channel gene mutations and pyrethroid resistance in *Rhipicephalus microplus*. *Ticks and Tick-borne Diseases*, 11(3).

Le Gall, V.L., Klafke, G.M. et Torres, T.T. 2018. Detoxification mechanisms involved in ivermectin resistance in the cattle tick, *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*. *Scientific Reports*, 8.

Nagar, G., Upadhaya, D., Sharma, A.K., Kumar, R., Fular, A. et Ghosh, S. 2021. Association between overexpression of cytochrome P450 genes and deltamethrin resistance in *Rhipicephalus microplus*. *Ticks and Tick-borne Diseases*, 12(2).

Pohl, P.C., Klafke, G.M., Carvalho, D.D., Martins, J.R., Daffre, S., da Silva Vaz Jr, I. et Masuda, A. 2011. ABC transporter efflux pumps: a defense mechanism against ivermectin in *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*. *International Journal for Parasitology*, 41(13–14): 1323–1333.

Temeyer, K.B., Pruett, J.H. et Olafson, P.U. 2010. Baculovirus expression, biochemical characterization and organophosphate sensitivity of rBmAChE1, rBmAChE2, and rBmAChE3 of *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*. *Veterinary Parasitology*, 172(1–2): 114–121.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES DU TABLEAU 4

Brizuela, C.M., Ortellado, C.A., Sanchez, T.I., Osorio, O. et Walker, A.R. 1996. Formulation of integrated control of *Boophilus microplus* in Paraguay: Analysis of natural infestations. *Veterinary Parasitology*, 63(1–2): 95–108.

Nicaretta, J.E., dos Santos, J.B., Couto, L.F.M., Heller, L.M., Cruvinel, L.B., de Melo Júnior, R.D., de Assis Cavalcante, A.S. *et al.* 2020. Evaluation of rotational grazing as a control strategy for *Rhipicephalus microplus* in a tropical region. *Research in Veterinary Science*, 131: 92–97.

Rodríguez-Vivas, R.I., Rosado-Aguilar, J.A., Ojeda-Chi, M.M., Pérez-Cogollo, L.C., Trinidad-Martínez, I. et Bolio-González, M.E. 2014. Integrated control of ticks in bovine livestock. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 1(3): 295–308.

Sutherst, R.W., Maywald, G.F., Kerr, J.D. et Stegeman, D.A. 1983. The effect of cattle tick (*Boophilus microplus*) on the growth of *Bos indicus x B. taurus* steers. *Australian Journal of Agricultural Research*, 34(3): 317–327.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES DU TABLEAU 5

Cruz-González, G., Pinos-Rodríguez, J.M., Alonso-Díaz, M.Á., Romero-Salas, D., Vicente-Martínez, J.G., Fernández-Salas, A., Jarillo-Rodríguez, J. et Castillo-Gallegos, E. 2023. Rotational grazing modifies *Rhipicephalus microplus* infestation in cattle in the humid tropics. *Animals*, 13(5): 915.

Hernández-A, F., Teel, P.D., Corson, M.S. et Grant, W.E. 2000. Simulation of rotational grazing to evaluate integrated pest management strategies for *Boophilus microplus* (Acari: Ixodidae) in Venezuela. *Veterinary Parasitology*, 92(2): 139–149.

Nava, S., Rossner, M.V., Torrents, J., Morel, N., Martinez, N.C., Mangold, A.J. et Guglielmone, A.A. 2020. Management strategies to minimize the use of synthetic chemical acaricides in the control of the cattle tick *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Canestrini, 1888) in an area highly favourable for its development in Argentina. *Medical and Veterinary Entomology*, 34(3): 264–278.

Rodríguez-Vivas, R.I., Rosado-Aguilar, J.A., Ojeda-Chi, M.M., Pérez-Cogollo, L.C., Trinidad-Martínez, I. et Bolio-González, M.E. 2014. Integrated control of ticks in bovine livestock. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 1(3): 295–308.

DIRECTIVES FAO: PRODUCTION ET SANTÉ ANIMALES

1. Collection of entomological baseline data for tsetse area-wide integrated pest management programmes, 2009 (En)
2. Préparation de stratégies et de plans d'action nationaux pour les ressources zoogénétiques, 2009 (En, Fr, Es, Ru, Zh)
3. Stratégies d'amélioration génétique pour la gestion durable des ressources zoogénétiques, 2010 (En, Fr, Es, Ru, Ar, Zh)
4. A value chain approach to animal diseases risk management – Technical foundations and practical framework for field application, 2011 (En, Zh, Fr**)
5. Guidelines for the preparation of livestock sector reviews, 2011 (En)
6. Mise en place de cadres institutionnels pour la gestion des ressources zoogénétiques, 2012 (En, Fr, Es, Ru)
7. Réalisation d'enquêtes et de suivi pour les ressources zoogénétiques, 2012 (En, Fr, Es)
8. Guide de bonnes pratiques en production laitière, 2012 (En, Fr, Es, Ru, Ar, Zh, Pt^{e}, Az)
9. Molecular genetic characterization of animal genetic resources, 2011 (En, Zh**)
10. Designing and implementing livestock value chain studies, 2012 (En)
11. Caractérisation phénotypique des ressources génétiques animales, 2013 (En, Fr^{e}, Zh^{e})
12. Cryoconservation of animal genetic resources, 2012 (En)
13. Handbook on regulatory frameworks for the control and eradication of HPAI and other transboundary animal diseases – A guide to reviewing and developing the necessary policy, institutional and legal frameworks, 2013 (En)
14. *In vivo* conservation of animal genetic resources, 2013 (En, Zh**)
15. The feed analysis laboratory: establishment and quality control – Setting up a feed analysis laboratory, and implementing a quality assurance system compliant with ISO/IEC 17025:2005, 2013 (En)
16. Decision tools for family poultry development, 2014 (En)
17. Guide de biosécurité pour les marchés de volailles vivantes, 2015 (En, Fr^{e}, Zh^{e}, Vi)
18. Economic analysis of animal diseases, 2016 (En, Zh)
19. Development of integrated multipurpose animal recording systems, 2016 (En, Zh)
20. Les Champs-écoles des producteurs pour les petits éleveurs – Un guide pour améliorer les moyens d'existence a l'intention des décideurs, 2019 (En, Fr^{e})
21. Developing sustainable value chains for small-scale livestock producers, 2019 (En, Zh)
22. Estimation des bilans fourragers dans la région du Sahel d'Afrique de l'Ouest et Centrale, 2020 (Fr)
23. Directives relatives à la gestion des carcasses – Élimination efficace des carcasses animales et des matières contaminées dans les exploitations de petite à moyenne taille, 2021 (En, Fr, Es, Ru, Zh, Ar, Sq, Sr, Mk)
24. Lignes directrices techniques sur l'évaluation rapide des risques liée aux menaces pour la santé animale, 2022 (En, Fr)
25. Good beekeeping practices for sustainable apiculture, 2021 (En,)
26. Responsible use of antimicrobials in beekeeping, 2021 (En, Es, Zh)
27. Developing field epidemiology training for veterinarians – Technical guidelines and core competencies, 2021 (En)
28. Making way: developing national legal and policy frameworks for pastoral mobility, 2022 (En)
29. Rift Valley fever action framework, 2022 (En)
30. Developing an emergency vaccination plan for foot-and-mouth disease in free countries, 2022 (En)
31. Guidelines for livestock vaccination campaigns – From collection to injection, 2022 (En, Az, Ru, Uz, Tg, Ge)
32. Genomic characterization of animal genetic resources – Practical guide, 2023 (En)
33. Innovations in cryoconservation of animal genetic resources – Practical guide, 2023 (En)
34. Veterinary laboratory testing protocols for priority zoonotic diseases in Africa, 2023 (En)
35. African swine fever prevention, detection and control in resource-limited settings, 2023 (En)
36. Practical surveillance guidelines for the progressive control of foot-and-mouth disease and other transboundary animal diseases., 2024 (En)
37. Recommandations pour la surveillance de l'influenza A(H5N1) chez les bovins – Applicables plus généralement aux autres mammifères d'élevage, 2025 (En, Es, Ru, Fr)

38. Directives relatives à la lutte durable contre les tiques et à la gestion de la résistance aux acaricides dans le secteur de l'élevage, 2025 (En, Es, Fr)

Disponibilité: Novembre 2025

Ar – arabe
Az – azerbaïdjanais
En – anglais
Es – espagnol
Fr – français
Ge – géorgien
Mk – macédonien
Pt – portugais
Sq – albanais
Sr – serbe
Ta – tadjik
Uz – ouzbek
Vi – vietnamien
Zh – chinois

Multil – Multilingue
* Epuisé
** En préparation
[e] Publication électronique

On peut se procurer les *Directives FAO de production et santé animales* auprès des points de vente des publications de la FAO, ou en s'adressant directement au Groupe des ventes et de la commercialisation, FAO, Viale delle Terme di Caracalla, 00153 Rome, Italie.

Les présentes directives constituent un document de référence complet sur la lutte contre les tiques et la gestion de la résistance aux acaricides dans le secteur de l'élevage. L'accent y est mis sur le problème croissant que soulève la résistance aux acaricides observée dans des régions variées. On trouvera dans ce document des informations détaillées sur la biologie des tiques, les produits chimiques de synthèse disponibles pour lutter contre les tiques, et les mécanismes de la résistance aux acaricides. L'importance que revêt la surveillance régulière des populations de tiques et des niveaux de résistance pour éclairer l'élaboration de stratégies de lutte plus efficaces est particulièrement soulignée. Pour contrer cette résistance, il est recommandé de recourir à une gestion intégrée des tiques, c'est-à-dire d'adopter une démarche globale conjuguant traitements chimiques et méthodes non chimiques. Cette stratégie vise à réduire l'utilisation des acaricides, contribuant ainsi à ralentir le développement de résistances et à réduire autant que possible les risques potentiels pour l'environnement et la santé publique. De plus, les directives mettent en lumière la nécessité de mettre en place des cadres réglementaires solides, de nature à assurer la qualité, la sécurité sanitaire et l'efficacité des produits de lutte contre les tiques.

En conclusion, ces directives donnent un aperçu exhaustif des difficultés soulevées par la lutte contre les tiques et la résistance aux acaricides, ainsi que des stratégies à mettre en œuvre pour les surmonter. L'adoption de pratiques durables et la poursuite des travaux de recherche y sont encouragées pour améliorer la santé et la productivité des troupeaux tout en réduisant les risques liés aux infestations de tiques et aux maladies qu'elles transmettent.

ISBN 978-92-5-140232-0I SSN 1810-0716

9 789251 402320

CD4964FR/1/11.25