



anses

Moustique tigre en France hexagonale : risque et impacts d'une arbovirose

Avis de l'Anses
Rapport d'expertise collective

Juillet 2024



Le directeur général

Maisons-Alfort, le 25 juillet 2024

AVIS

de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

relatif aux « épidémies dues à un arbovirus transmis par le moustique *Aedes albopictus* en France hexagonale : probabilité d'apparition, ampleur de la transmission et impacts sanitaires, économiques et sociaux »

L'Anses met en œuvre une expertise scientifique indépendante et pluraliste.

L'Anses contribue principalement à assurer la sécurité sanitaire dans les domaines de l'environnement, du travail et de l'alimentation et à évaluer les risques sanitaires qu'ils peuvent comporter.

Elle contribue également à assurer d'une part la protection de la santé et du bien-être des animaux et de la santé des végétaux et d'autre part à l'évaluation des propriétés nutritionnelles des aliments.

Elle fournit aux autorités compétentes toutes les informations sur ces risques ainsi que l'expertise et l'appui scientifique technique nécessaires à l'élaboration des dispositions législatives et réglementaires et à la mise en œuvre des mesures de gestion du risque (article L.1313-1 du code de la santé publique).

Ses avis sont publiés sur son site internet.

L'Anses a été saisie le 3/08/2022 par la Direction générale de la santé (DGS) pour la réalisation de l'expertise suivante : demande d'avis relatif à la probabilité d'apparition d'épidémies de maladies transmises par les moustiques dans l'Hexagone et sur leurs impacts sur la santé et l'économie.

1. CONTEXTE ET OBJET DE LA SAISINE

Les arboviroses sont des infections virales dont les virus sont transmis par des arthropodes vecteurs. Elles constituent une menace de santé publique en hausse dans le monde ces dernières décennies. En France hexagonale¹ et plus globalement en Europe, le nombre de cas humains d'infections par des arbovirus transmis par les moustiques *Aedes albopictus* (comme la dengue, la fièvre à virus chikungunya, la fièvre à virus Zika) ou *Culex* spp. (comme la fièvre du Nil Occidental ou fièvre du *West Nile*) identifiés par le dispositif de surveillance épidémiologique est en augmentation.

Depuis la détection du moustique tigre *Aedes albopictus* dans les Alpes Maritimes en 2004, la colonisation du territoire hexagonal a été continue. Début 2024, il était implanté dans 78 départements de l'Hexagone. La part de la population exposée au moustique tigre augmente parallèlement à cette avancée. En 2023, 45 % de la population de France hexagonale résidait dans des communes colonisées et était donc exposée à un risque de transmission vectorielle en cas d'importation du virus.

Des vecteurs historiquement présents sur le territoire hexagonal, comme les moustiques du genre *Culex*, peuvent transmettre des arbovirus qui font aussi l'objet d'une surveillance et de mesures de prévention. C'est le cas du virus *West Nile* (WNV) (à l'origine de cas de fièvre du Nil Occidental), responsable d'épidémies tous les ans en Europe depuis les années 2000 et dont l'impact a été particulièrement marqué en 2018 et en 2023. Plus récemment, des cas d'infection par le virus Usutu (USUV) ont aussi été identifiés en Europe.

Le dispositif de surveillance des arboviroses repose principalement sur la déclaration obligatoire (DO) des cas humains aux Agences Régionales de Santé (ARS) et à Santé publique France (SpF), complétée par une surveillance renforcée pendant la période d'activité des vecteurs (entre le 1^{er} mai et le 30 novembre), et vise à des actions rapides de lutte antivectorielle² (LAV) autour des cas détectés. Ce dispositif a contribué de manière efficace à prévenir les départs d'épidémies et limiter la taille des foyers de transmission autochtone. En 2022 et 2023, une nette augmentation du nombre de foyers et de cas autochtones de dengue, ainsi que leur extension à de nouveaux départements à l'ouest de la région Occitanie et en Île-de-France ont été observées. Ceci a confirmé l'augmentation du risque de transmission autochtone d'arbovirus par *Aedes albopictus* dans l'Hexagone et mis en tension les services locaux chargés des enquêtes épidémiologiques et de la LAV.

L'intensification de la transmission des arbovirus sur le territoire hexagonal soulève la question des impacts sanitaires et socio-économiques qu'une épidémie pourrait avoir en fonction des niveaux de transmission observés.

Dans ce contexte, l'Agence nationale de sécurité sanitaire (Anses) a été saisie le 3 août 2022 par la DGS pour une demande d'avis sur les épidémies dues à un arbovirus transmis par le moustique *Aedes albopictus* ou *Culex* spp. en France hexagonale : probabilité d'apparition, ampleur de la transmission et impacts sanitaires, économiques et sociaux.

Les questions de la saisine étaient les suivantes :

1. « évaluer la probabilité d'apparition d'épidémies d'arboviroses transmises par les moustiques (*Aedes albopictus* ou *Culex*) en métropole ;
2. estimer l'ampleur d'une éventuelle épidémie ;

¹ Dans cet avis, les termes « France hexagonale » et « Hexagone » font référence au territoire européen de la France, y compris la Corse et les autres îles européennes.

² Lutte et protection contre les vecteurs et leur surveillance.

3. *évaluer les impacts socio-économiques de ces épidémies (dont les impacts sur la santé humaine, le système de santé et les activités économiques – tourisme, arrêts de travail, etc.– et sociales notamment). »*

En accord avec la DGS, l'expertise ne traite que des arbovirus transmis par *Aedes albopictus* ; ceux transmis par *Culex* spp. n'y sont pas inclus, méritant eux aussi une expertise à part entière non réalisable dans le délai souhaité. Sont également considérés hors du champ de cette expertise :

- les autres espèces du genre *Aedes*, notamment *Aedes aegypti* ;
- l'évaluation des impacts environnementaux des traitements chimiques de la LAV.

D'un point de vue géographique, seul le territoire de la France hexagonale a été considéré.

2. ORGANISATION DE L'EXPERTISE

L'expertise a été réalisée dans le respect de la norme NF X 50-110 « Qualité en expertise – Prescriptions générales de compétence pour une expertise (Mai 2003) ».

L'expertise relève du domaine de compétences des comités d'experts spécialisés (CES) « ASE – Analyse socio-économique », CES pilote de l'expertise, et « SABA – Santé et bien-être des animaux ». L'Anses a confié l'expertise au groupe de travail « Arboviroses et impacts ». Les travaux ont été présentés à plusieurs reprises aux CES tant sur les aspects méthodologiques que scientifiques entre décembre 2022 et mai 2024. Ils ont été adoptés, après passage devant le CES « SABA – Santé et bien-être des animaux », par le CES « ASE – Analyse socio-économique » réuni le 4 juillet 2024.

Les travaux sont issus d'un collectif d'experts aux compétences pluridisciplinaires et complémentaires (épidémiologie, santé publique, surveillance, *One Health* - Une seule santé, entomologie médicale, arboviroses, virologie, épidémiologie économique, économie de la santé, système de santé, économie de l'environnement). La mise en commun des contributions et des échanges s'est tenue en réunions de GT, à raison d'environ une réunion par mois de janvier 2023 à juin 2024.

Le GT « vecteurs » a également été associé aux travaux du GT en charge de cette saisine, dans son champ de compétence.

Les questions 1 et 2 de la saisine ont été expertisées sur la base de publications sélectionnées sur avis d'experts par le GT. La méthodologie de notation employée est détaillée dans le rapport d'expertise.

La question 3 de la saisine a été principalement alimentée par une revue systématique de la littérature et la consultation d'acteurs de terrain directement impliqués dans la gestion des arboviroses en France hexagonale et dans les départements et régions d'Outre-Mer (DROM). La méthodologie de la revue de littérature et de l'interrogation des acteurs de terrain est détaillée dans le rapport d'expertise.

D'une façon générale, concernant les réponses aux trois questions, dans le contexte d'une saisine qui porte sur l'anticipation d'une situation inédite, l'exercice principalement prospectif reste associé à des incertitudes irréductibles.

Les principales sources d'incertitudes de l'expertise ont été identifiées, en se fondant sur la typologie et les recommandations du GT de l'Anses « Méthodologie en évaluation des risques » (GT MER). Elles sont répertoriées dans le Tableau 7, p.159 du rapport d'expertise.

L'Anses analyse les liens d'intérêts déclarés par les experts avant leur nomination et tout au long des travaux, afin d'éviter les risques de conflits d'intérêts au regard des points traités dans le cadre de l'expertise.

Les déclarations d'intérêts des experts sont publiées sur le site internet : <https://dpi.sante.gouv.fr/>.

Un expert du groupe de travail a noué en cours d'expertise un nouveau lien d'intérêt susceptible de générer un conflit dans le cadre du traitement des questions 1 et 2, après la finalisation des réponses aux questions. Cet expert n'a pas participé aux discussions portant sur les recommandations relatives aux questions 1 et 2.

3. ANALYSE ET CONCLUSIONS DU CES ASE ET DU GT

Le CES ASE et le GT Arboviroses et impacts rappellent que le présent avis est associé à un rapport d'expertise collective qui développe l'ensemble de l'argumentaire des réponses aux questions traitées dans le cadre de l'expertise.

3.1. *Aedes albopictus* et arboviroses associées

3.1.1. Biologie, écologie et distribution d'*Aedes albopictus*

Aedes albopictus est une espèce de moustiques invasive vectrice notamment des virus de la dengue, chikungunya et Zika. Rencontrée principalement dans des habitats urbains ou périurbains en Europe, cette espèce est surtout active en journée, et les femelles hématophages piquent fréquemment les êtres humains.

Arrivé en 2004, *Aedes albopictus* colonise progressivement le territoire de la France hexagonale, avec plus des trois quarts des départements colonisés en moins de 20 ans. L'exposition des populations humaines aux piqûres augmente donc d'année en année, mais varie cependant en fonction du niveau de colonisation et de facteurs liés aux comportements individuels, à l'environnement (météo, végétation) et à la bio-écologie des moustiques.

Une femelle³ *Aedes albopictus* s'infecte en piquant un hôte vertébré virémique. Après multiplication dans le moustique, le virus gagne les glandes salivaires de la femelle, qui devient infectante et transmettra alors le virus à tout nouvel hôte qu'elle piquera. La capacité vectorielle d'un moustique à transmettre un virus dépend de l'aptitude d'un moustique à assurer la transmission d'un virus (compétence vectorielle) mais aussi de nombreux facteurs extrinsèques au moustique, tels que la température, la biodisponibilité en hôtes ou encore la souche virale impliquée.

3.1.2. Virus transmis par *Aedes albopictus*

Le virus de la dengue, le virus chikungunya et le virus Zika sont des arbovirus transmis par des moustiques vecteurs du genre *Aedes*, qui circulent essentiellement en zone intertropicale

³ La femelle *Aedes* doit prendre un repas sanguin avant chaque ponte pour obtenir les protéines nécessaires à la maturation de ses œufs. Seules les femelles sont hématophages, les mâles se nourrissant exclusivement de jus sucrés.

où ils sont responsables d'épidémies. Ces dernières décennies, à la faveur des changements climatiques et globaux (urbanisation, déforestation, mouvements de biens et personnes, etc.), le nombre de cas d'infection par ces arbovirus dans le monde a considérablement augmenté avec un nombre record de cas de dengue notifiés à l'Organisation Mondiale de la santé (OMS) en 2023 et 2024 et l'émergence des virus chikungunya et Zika dans des territoires précédemment indemnes (comme l'Amérique latine en 2013-14 et 2015-16) où ils ont été responsables d'épidémies majeures.

Les maladies provoquées par ces trois arbovirus présentent des caractéristiques communes (signes cliniques des formes simples, existence de formes paucisymptomatiques⁴ et asymptomatiques, modes de transmission et répartition géographique).

La grande majorité des infections ont lieu par voie vectorielle. Une transmission non vectorielle est néanmoins possible. La transmission par voie sexuelle est très bien documentée pour le virus Zika et quelques très rares cas ont également été rapportés pour le virus de la dengue. La transmission verticale maternofoetale est démontrée pour le virus Zika avec des conséquences pouvant être majeures pour le fœtus, notamment pour les infections survenues pendant le premier trimestre de grossesse. Une transmission en période périnatale lorsque la mère a été infectée dans les jours précédant l'accouchement est démontrée pour le virus chikungunya avec des conséquences pouvant être sévères pour le nouveau-né. Enfin, la transmission par la transfusion et la greffe de tissus, organes et cellules est démontrée pour les virus de la dengue et du chikungunya (greffe), et possible pour le virus Zika, même s'il n'y a pas de cas avéré publié. Cela justifie la mise en place de mesures de sécurisation de la transfusion et de la greffe vis-à-vis de ces trois virus.

Pour les trois virus, la période de virémie pendant laquelle la personne infectée peut contaminer un moustique lors de piqûre est assez courte (de un à 12 jours, en moyenne de trois à cinq jours).

Les formes asymptomatiques ou paucisymptomatiques sont fréquentes, le pourcentage de formes asymptomatiques variant de 20 à 90 % selon les études et en fonction du virus et, pour le même virus, en fonction de divers facteurs comme l'exposition antérieure au virus (par exemple l'exposition à différents sérotypes du virus de la dengue), la souche virale, les réponses immunitaires individuelles mais aussi la perception des symptômes par le malade. Pour les trois virus, les personnes asymptomatiques peuvent contribuer à la transmission si elles sont piquées en période virémique. Mais l'infection par chacun de ces virus peut aussi engendrer chez les patients des maladies aux conséquences parfois très graves : dengue sévère avec défaillance viscérale et/ou hémorragies, complications neurologiques en particulier syndrome de Guillain Barré des infections à virus chikungunya et Zika, formes rhumatologiques chroniques de l'infection à virus chikungunya, syndrome de Zika congénital notamment.

Le diagnostic de ces arbovirus peut être réalisé par mise en évidence du génome viral par RT-PCR⁵ (pendant la phase de virémie) ou par mise en évidence des anticorps par sérologie. La sérologie pose des difficultés analytiques avec des réactions croisées, notamment entre orthoflavivirus mais aussi de réactions non spécifiques, rendant le diagnostic délicat.

⁴ ne présentant que très peu de symptômes.

⁵ *Reverse transcriptase - Polymerase chain reaction* : méthode de biologie moléculaire utilisée pour mettre en évidence la présence de matériel génétique viral.

3.1.3. Situation épidémiologique en France et en Europe

Des cas importés de ces arboviroses sont identifiés chaque année en France hexagonale. Leur nombre et leur provenance varient en fonction des épidémies dans le monde et, notamment, dans les zones avec de forts échanges comme les DROM (déplacements nombreux des populations entre les DROM et l'Hexagone). Cela a notamment été le cas pour la dengue en 2023 et 2024 avec le nombre le plus important de cas importés de dengue déclarés dans l'Hexagone depuis le début de la surveillance (2 524 cas en 2023 et 3 051 cas au 23 juillet 2024⁶), ceci en lien avec l'épidémie qui sévit dans les Antilles françaises.

En France hexagonale depuis 2010, avec l'implantation et la progression du vecteur *Aedes albopictus*, des foyers de transmission autochtone de ces virus sont régulièrement observés. S'ils sont restés limités en nombre entre 2010 et 2021 (moins de dix cas autochtones de dengue chaque année jusqu'en 2019 et, pour l'infection par le virus chikungunya 48 cas identifiés au total entre 2010 et 2021 avec un maximum de 17 cas maximum en 2017), l'année 2022 a marqué une évolution. En effet, le nombre de cas autochtones de dengue a été sensiblement supérieur aux chiffres observés depuis 2010, avec un total de 66 cas autochtones (dont un foyer de 35 cas) par rapport à un maximum de 13 cas en 2020. De plus, en 2022, des foyers sont survenus dans des zones jusque-là indemnes (départements des Hautes Pyrénées, de Haute Garonne, des Pyrénées-Orientales, du Tarn-et-Garonne et de la Corse-du-Sud). Cette évolution s'est confirmée en 2023 avec 45 cas autochtones et un nombre de foyers de dengue identique à 2022 (n=9) avec, pour la première fois, un foyer détecté en Île de France. Au moment de la rédaction de ce rapport, au 24 juillet 2024, un épisode de transmission autochtone de dengue a été recensé, au cours duquel un cas a été identifié, dans l'Hérault⁶.

3.1.4. Prévention, surveillance et contrôle du vecteur, des virus et des maladies

Les très nombreux cas importés et la multiplication des foyers de transmission autochtone ont représenté une forte pression sur les services des ARS, les services de LAV et les services de SpF qui ont été mis en tension voire en situation de saturation dans certaines régions. Le dispositif de surveillance de la dengue, des fièvres à virus chikungunya et virus Zika est fondé sur la DO à l'ARS des cas documentés biologiquement (cas confirmés et probables). La surveillance est renforcée chaque année entre mai et novembre, correspondant à la période estimée d'activité du vecteur au moment de la rédaction de cet avis, avec notamment une sensibilisation des professionnels de santé au diagnostic et au signalement des cas et l'activation d'un dispositif de transfert automatisé des résultats biologiques des principaux laboratoires permettant le « rattrapage » des cas non signalés. Ce dispositif vise à déclencher des mesures de prévention et de contrôle adaptées autour des cas confirmés.

Les cas signalés à l'ARS (importés ou autochtones) font l'objet d'une enquête épidémiologique et entomologique. Lorsqu'il s'agit de cas autochtones, les investigations sont plus poussées, avec une recherche active de cas qui, le plus souvent, inclut une enquête en porte à porte. Cette recherche active de cas vise à détecter d'autres cas autochtones ainsi que le cas importé à l'origine de la transmission. L'objectif de l'enquête est de caractériser l'ampleur et la dynamique temporelle et spatiale de la transmission et ainsi de guider les mesures de prévention et de contrôle, notamment les mesures de LAV et de sécurisation des produits issus du corps humain.

⁶ <https://www.santepubliquefrance.fr/maladies-et-traumatismes/maladies-a-transmission-vectorielle/chikungunya/articles/donnees-en-france-metropolitaine/chikungunya-dengue-et-zika-donnees-de-la-surveillance-renforcee-en-france-hexagonale-2024>, page consultée le 24 juillet 2024.

La LAV a pour objectif de lutter contre la transmission et la circulation d'agents pathogènes transmis par des moustiques vecteurs, en agissant sur les populations de vecteurs, mais aussi sur le comportement de la population humaine et en minimisant les risques d'atteinte à l'environnement, à la biodiversité et aux populations. Ces missions, déléguées en tout ou partie par l'ARS à des opérateurs de démoustication, voient leur fréquence augmenter au cours des saisons, avec un risque de saturation des services observé depuis quelques années dans les régions présentant le plus grand nombre de cas autochtones ou en cas de nombreux cas importés.

À la date de ce rapport, aucun traitement antiviral contre les virus de la dengue, du chikungunya et Zika ni de vaccin contre les deux premiers n'est recommandé par la Haute Autorité de Santé dans la situation épidémiologique du territoire hexagonal, et aucun vaccin n'existe contre le virus Zika. Des évolutions des stratégies vaccinales dans les pays endémiques et pour les voyageurs sont néanmoins envisageables dans un avenir proche.

3.2. Probabilité d'apparition et ampleur d'épisodes de transmission autochtone d'arbovirus par *Aedes albopictus* en France hexagonale (réponses aux questions 1 et 2 prises en charge dans l'expertise)

L'apparition et l'ampleur d'un épisode de transmission autochtone d'un arbovirus par *Aedes albopictus* en France hexagonale sont influencées par de nombreux facteurs qui agissent de concert. Les facteurs identifiés par le GT sont présentés dans le Tableau 1.

Tableau 1. Description des facteurs pouvant influencer la probabilité d'apparition et l'ampleur d'un épisode de transmission autochtone d'arbovirus par *Aedes albopictus*

DOMAINE	FACTEURS		DESCRIPTION
ENVIRONNEMENT	Densité d' <i>Aedes albopictus</i>	Température cumulée (<i>Growing Degree Days</i> - GDD)	*mesure de la quantité de chaleur accumulée au cours d'une période donnée. *significativement associé à la survenue d'épisodes de transmission autochtone (conditionne la densité vectorielle, la compétence vectorielle et la période d'incubation extrinsèque)
		Occupation du sol	*l'occupation du sol est, pour la FAO (1998) : « la couverture (bio)-physique de la surface des terres émergées » et donc le type d'usage (ou de non-usage) fait des terres par l'être humain. *nombre potentiel de gîtes larvaires présents dans l'environnement
		Végétation observée dans la zone	*taux de couverture végétale de la surface étudiée, dans l'habitat du moustique tigre en métropole (zone urbaine ou péri-urbaine) *un taux de couverture végétale élevé dans un contexte urbain ou péri-urbain a été associé à la survenue d'épisodes de transmission autochtone
		Précipitations	*facteur complexe, aux effets positivement ou négativement associés à la densité vectorielle en fonction des études. *nécessite de prendre en compte les quantités, mais aussi leur distribution, les événements extrêmes et les alternances avec les périodes de sécheresse *contrebalancé par les pratiques humaines (stockage de l'eau)
POPULATIONS HUMAINES (HÔTE)	Pourcentage de la population exposée au moustique tigre		*pourcentage de la population du département vivant dans une commune considérée colonisée par <i>Ae. albopictus</i>
	Densité de la population du département étudié		*facteur complémentaire du pourcentage de la population exposée pour évaluer la taille de la population exposée au risque de transmission autochtone *des variations saisonnières de la densité peuvent avoir lieu avec les flux touristiques
	Flux de personnes	Flux de voyageurs provenant d'un territoire international ou des DROM en situation d'épidémie	*flux entrant de personnes issues d'un territoire où le virus circule autre que la France hexagonale : source de cas importés (préalable à une transmission autochtone en l'absence de persistance du virus dans l'Hexagone)
		Flux de voyageurs provenant d'un territoire hexagonal en situation de transmission autochtone/épidémie	*flux entrant de personnes depuis un département français hexagonal avec transmission autochtone : source de cas importés sur le territoire étudié avec une souche capable de se transmettre efficacement dans les conditions de l'Hexagone
		Présence d'un événement international majeur sur le territoire hexagonal hors du territoire étudié	*représente le risque d'importation de cas humains depuis cet événement vers le territoire étudié
		Présence d'un événement international majeur sur le territoire étudié	*représente le flux de cas importés liés aux personnes de provenances diverses se rendant à cet événement

Avis de l'Anses
Saisine n° « 2022-SA-0146 »

DOMAINE	FACTEURS	DESCRIPTION
	Influence de la pratique d'une activité en extérieur sur le risque de piqûres	*facteur complexe, ayant un effet positif ou négatif sur l'exposition aux piqûres de moustiques, correspondant à la pratique d'une activité dans un environnement extérieur plus ou moins favorable au moustique tigre, comme le jardinage
VIRUS	Proportion d'individus asymptomatiques	*proportion de personnes asymptomatiques ou paucisymptomatiques. Ces personnes n'auront pas recours aux soins et ne seront donc pas identifiées par le dispositif de surveillance. Par conséquent, aucune mesure de LAV, ni le plus souvent de protection personnelle ne sont appliquées. *50 à 90% pour la dengue et l'infection à virus Zika, 20 à 40 % pour l'infection à virus chikungunya. Varie selon les études.
	Transmission sexuelle	*concerne essentiellement le virus Zika *quelques rares cas décrits pour le virus de la dengue *non décrit pour le virus chikungunya
	Transmission par les produits issus du corps humain	*transmission décrite pour des transfusions sanguines, des greffes d'organes, de tissus ou de cellules, pour le virus de la dengue essentiellement, mais aussi le virus chikungunya et le virus Zika *des contaminations lors d'accidents d'exposition au sang (piqûre par une aiguille souillée) ont été décrites
	Méthodes diagnostiques disponibles, performantes et réalisables	*comprend l'appréciation de la disponibilité et la performance des tests diagnostiques, ainsi que la capacité diagnostique des laboratoires
	Transmissibilité des différentes souches	* transmissibilité : correspond à la probabilité qu'un virus soit transmis d'un hôte infecté à un vecteur réceptif, et d'un vecteur infecté à un hôte sensible *ce facteur traduit la différence de transmissibilité entre différentes souches virales ou lignages viraux par un même vecteur (exemple : certaines souches de virus chikungunya sont capables d'être mieux transmises par <i>Ae. albopictus</i> que d'autres souches) *affecte la capacité des souches à maintenir des cycles de transmission dans des populations de vecteurs spécifiques
	Pourcentage de la population immunisée	*proportion de personnes protégées par leur immunité : personnes vaccinées (à ce jour concerne essentiellement la fièvre jaune) ou ayant déjà été infectées. *Dans le cas de la dengue, l'immunité conférée par un sérotype ne protège que contre ce même sérotype. La population immunisée par une première infection est plus à risque de forme grave de dengue lors d'une infection par un autre sérotype de dengue

Avis de l'Anses
Saisine n° « 2022-SA-0146 »

DOMAINE	FACTEURS	DESCRIPTION
MOYENS DE LUTTE	Réactivité du signalement et de la mise en place des mesures de LAV	*délai de signalement : entre la date de début des signes et le jour du signalement de cas humains à l'ARS *délai de mise en place des mesures : délai d'investigation des cas + information des opérateurs de démoustication + mise en place de la LAV
	Moyens de LAV saturés	*la LAV s'organise via des contrats régionaux des opérateurs de démoustication avec les ARS par marché public, avec un nombre maximal de traitements réalisables sur la région, par semaine *la saturation concerne la disponibilité humaine et matérielle *elle est liée au nombre des foyers et à l'extension géographique de la zone à traiter au cours du temps.
	Expérience et compétences des acteurs de la LAV	*l'expérience et les compétences des acteurs de la LAV conditionnent l'efficacité des opérations de LAV ainsi que la détection du vecteur autour des cas importés
	Présence d'un autre évènement concomitant mobilisant des ressources matérielles et humaines (ex : problème sanitaire, incendies, baisse des effectifs en période estivale)	*ressources mobilisables sous l'autorité du préfet (futur plan ORSEC-LAV) : ressources internes d'autres services ; réserve sanitaire ; services de pompiers *en cas d'autre évènement concomitant, ces ressources pourraient ne pas pouvoir être mobilisées (autre épidémie, incendies, etc.)
PREPARATION	Dispositif de surveillance entomologique	*réseau de pièges pondoires avec prospections ciblées et surveillance participative des citoyens (signalement-moustique.fr) *la surveillance des virus dans les moustiques n'est réalisée que de manière ponctuelle dans le cadre d'études
	Sensibilisation des professionnels de santé au diagnostic et au signalement	*courriers électroniques diffusés par les ARS aux professionnels de santé *communications par les pairs : sociétés savantes, organismes professionnels, etc. *inclut également les notes de la DGS (DGS urgents par exemple) et les communiqués de presse *vise à améliorer l'exhaustivité du diagnostic et le délai de signalement des cas (diagnostic et signalement)
	Sensibilisation de la population à ces maladies, à la protection et à la lutte contre les moustiques	*les messages de sensibilisation au risque arboviroses visent surtout les voyageurs *la population générale est visée, par communiqués de presse, dans certaines zones à risque, et lors de l'identification de circulation autochtone *sensibilisation aux maladies : messages de sensibilisation aux symptômes et à la nécessité de consulter *sensibilisation à la protection : utilisation de protections individuelles (répulsifs, vêtements longs, moustiquaires, etc.) *sensibilisation à la lutte : suppression des gîtes larvaires
	Sensibilisation des décideurs au risque épidémique de transmission d'arboviroses	*correspond à la conscience qu'ont les décideurs du niveau de risque de cas d'arboviroses autochtones sur leur territoire *conditionne l'implication des décideurs dans la prévention et la lutte contre ces arboviroses

Le GT a souhaité qualifier l'influence de ces facteurs sur la probabilité d'apparition et l'ampleur d'un épisode de transmission autochtone, afin d'aider les acteurs de la prévention et du contrôle de ces arboviroses dans leur gestion et anticipation de ce risque. En effet, ces facteurs peuvent augmenter la transmission, ou au contraire avoir un effet protecteur.

Pour chacune des deux questions, il a été demandé à chaque expert d'attribuer à chaque facteur une note de -4 (limite très fortement la transmission) à 4 (favorise très fortement la transmission) et d'évaluer l'incertitude associée à chaque note et chaque facteur (note de 1 – incertitude faible à 4 (non notable car incertitude trop forte). Les notes de chaque expert ont ensuite été anonymisées et l'ensemble des experts s'est mis d'accord sur une note et une incertitude uniques pour chaque facteur, d'abord sur la probabilité d'apparition puis sur l'ampleur d'une épidémie due à un arbovirus transmis par *Aedes albopictus*.

La notation des facteurs selon leur influence sur la probabilité d'apparition d'un épisode de transmission autochtone est présentée dans la Figure 1. Un épisode de transmission autochtone ne peut se produire qu'après introduction du virus (par une personne infectée hors du territoire) dans une zone où le vecteur est présent et actif (entre mai et novembre). Dans ces conditions, les facteurs pouvant favoriser l'apparition d'un épisode de transmission autochtone sont principalement liés à des températures favorables au vecteur (et à la multiplication du virus dans le vecteur), la transmissibilité de la souche virale et aux flux de voyageurs arrivant sur le territoire hexagonal.

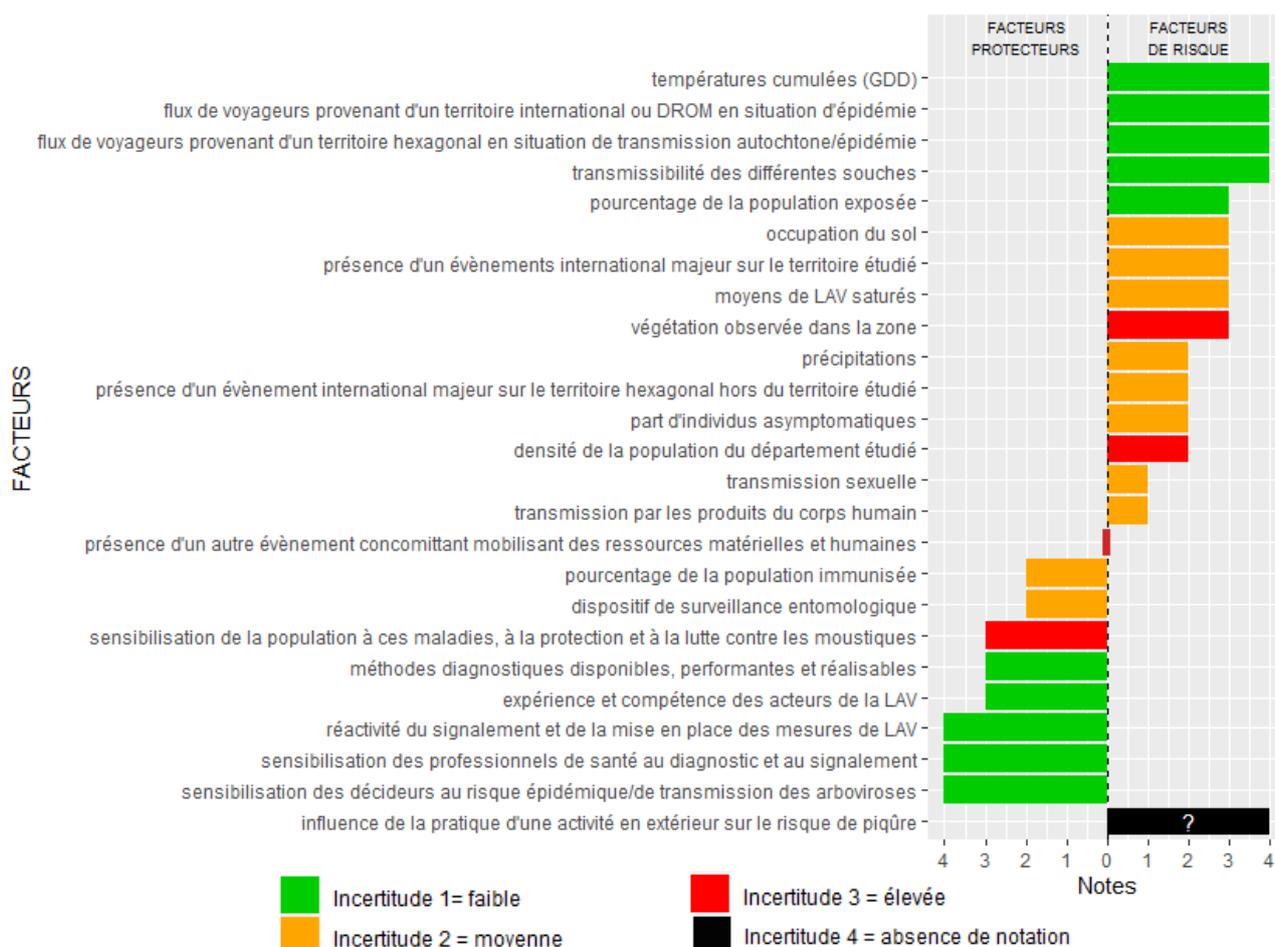


Figure 1. Influence des facteurs sur l'APPARITION d'un épisode de transmission d'arbovirus par *Aedes albopictus*

Les facteurs permettant de réduire la probabilité d'apparition d'une transmission autochtone concernent essentiellement les acteurs de la prévention et du contrôle : la réactivité des mesures de LAV et la sensibilisation des professionnels de santé et des décideurs.

Les experts ont également noté l'influence des facteurs identifiés dans le Tableau 1 sur l'ampleur que pourrait prendre un épisode de transmission autochtone. Cette notation est illustrée dans la Figure 2. L'ampleur d'un épisode de transmission autochtone peut être influencée par les mêmes facteurs que son apparition, auxquels s'ajoutent la densité de population, le pourcentage d'infections asymptomatiques ou l'existence d'un autre évènement mobilisant les mêmes ressources de réponse à une crise.

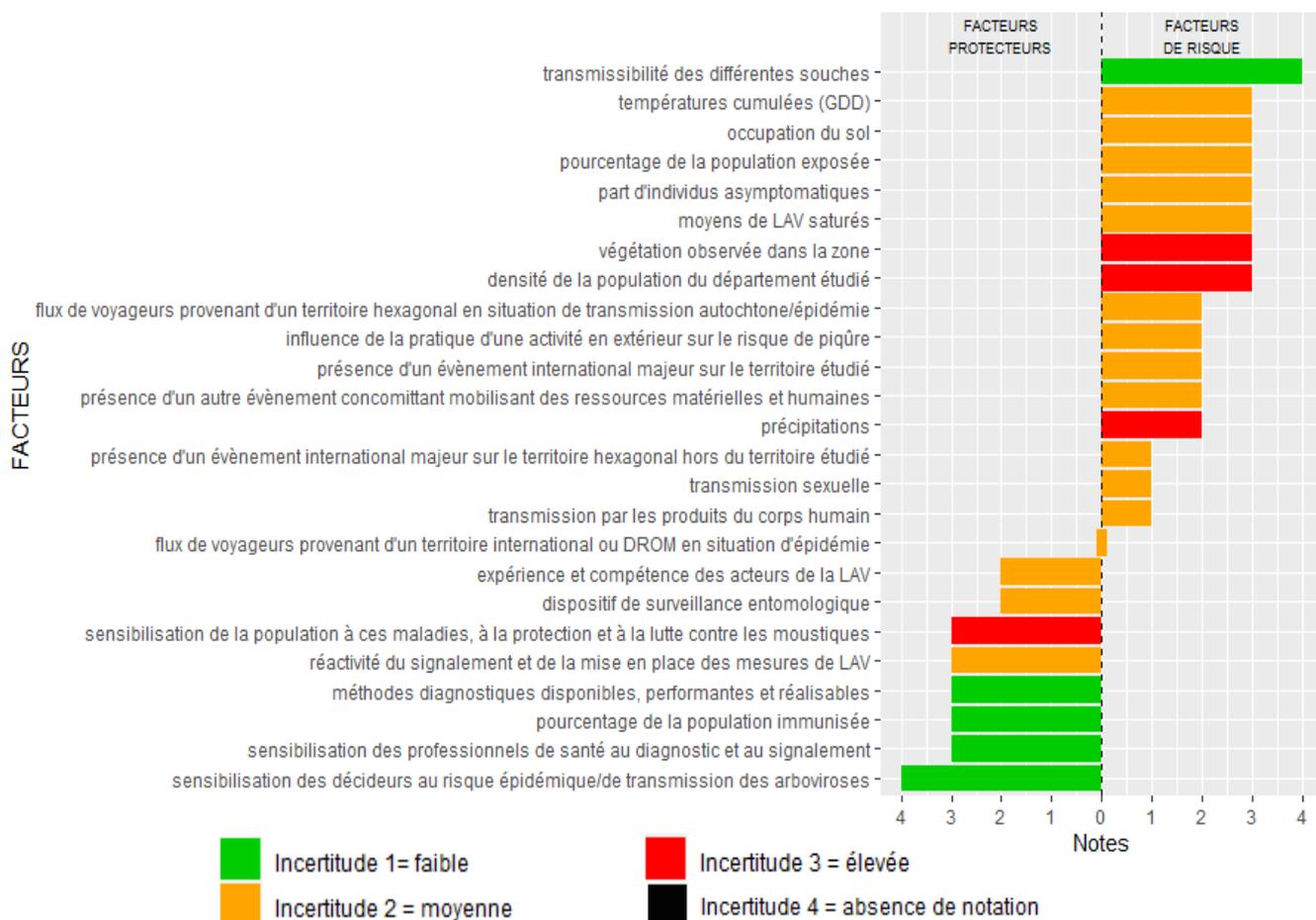


Figure 2. Influence des facteurs sur l'AMPLEUR d'un épisode de transmission autochtone d'arbovirus par *Aedes albopictus*

Le GT ne peut pas répondre directement à la question posée dans la saisine et estimer précisément l'ampleur que prendrait une éventuelle épidémie, qui dépend des nombreux facteurs identifiés dans les sections 3.2 et 3.3, et dont l'évolution dans le temps et pour un épisode de transmission donné est difficile voire impossible à prédire. Cependant, il a défini plusieurs niveaux d'ampleur que pourrait prendre un épisode de transmission autochtone, allant de la présence d'un seul cas autochtone jusqu'à une épidémie avec adaptation des mesures de gestion et impacts multisectoriels, tels que décrits dans le Tableau 2⁷.

Tableau 2. Définition des différents niveaux d'ampleur d'un épisode de transmission menant à une épidémie

Niveaux d'ampleur définis par le GT Anses	Description
Niveau 0	Pas de transmission autochtone, avec ou sans présence de cas importés, avec ou sans présence de moustique tigre
Niveau 1	Episode de transmission autochtone : présence d'un cas autochtone ou d'un foyer (= au moins deux cas groupés dans le temps et l'espace)
Niveau 2	Foyers localisés : plusieurs épisodes de transmission autochtone, simultanés ou non et sans lien épidémiologique ou présence d'un foyer avec plusieurs zones de circulation
Niveau 3	Epidémie : répartition diffuse de cas humains autochtones au-delà des foyers déjà individualisés
Niveau 4	Épidémie majeure : épidémie sur une zone élargie avec une incidence élevée dépassant les capacités de surveillance des niveaux antérieurs avec adaptation des mesures de gestion et impacts multisectoriels

Source : adaptée à partir du plan anti-dissémination du chikungunya et de la dengue en France hexagonale⁸.

Le GT estime que la probabilité d'avoir, au cours d'une saison en France hexagonale, au moins un épisode de transmission autochtone sous forme de foyer(s) localisé(s) – correspondant au niveau 2 du tableau 2 - est très élevée (note de 9 sur une échelle de 0 à 9 avec une incertitude de 1 = faible⁹ selon l'échelle de l'Afssa 2008), des épisodes de transmissions autochtones étant identifiés presque tous les ans depuis 2010 et chaque année depuis 2017.

Quant à la probabilité d'apparition d'une épidémie d'arbovirose à cinq ans, dans le contexte hexagonal, comme la « répartition diffuse de cas humains autochtones au-delà des foyers déjà individualisés » - correspondant au niveau 3 - , elle est notée par les experts de 6 à 7 (sur une échelle de 0 à 9 avec une incertitude de 2 = moyenne).

L'ampleur que peut prendre un épisode de transmission autochtone donné ou une épidémie ne peut pas être anticipée ni estimée par les experts du GT.

⁷ L'ampleur n'est pas définie en nombre de cas mais la géographie et l'origine identifiable du foyer.

⁸ Circulaire DGS/RI1 n°2010-163 du 17 mai 2010 relative aux modalités de mise en œuvre du plan anti-dissémination du chikungunya et de la dengue en métropole. Disponible sur https://sante.gouv.fr/IMG/pdf/plan_antidissemation_dengue_chikungunya_2010-2.pdf

⁹ L'incertitude est évaluée sur une échelle de 1 à 4, selon les modalités retenues dans le cadre de précédents travaux à l'Anses.

Le GT souligne que les grands événements internationaux organisés en période d'activité d'*Aedes albopictus* sont très favorables à la survenue d'épisodes de transmission d'arbovirus, du fait notamment de très forts flux de voyageurs et de conditions climatiques favorables.

3.3. Réponse à la question 3 prise en charge dans l'expertise

La littérature sur les impacts des arbovirus dans une zone tempérée est beaucoup plus réduite que la littérature relative aux impacts dans des zones tropicales. L'identification des impacts socio-économiques d'une épidémie d'arbovirose repose donc fortement, en plus des articles identifiés, sur les réponses à l'enquête conduite par le GT auprès des acteurs de terrain, et sur l'avis des experts du GT. En l'absence de données quantitatives, le recensement des impacts est principalement descriptif et qualitatif.

Une épidémie est susceptible d'avoir des impacts multiples, touchant plusieurs acteurs.

3.3.1. Impacts institutionnels : prévention, contrôle et gestion des arboviroses

Concernant les **activités de prévention et de contrôle des arboviroses**, à court terme, la situation actuelle sur le territoire hexagonal et les moyens matériels, humains et financiers contraints exposent à un risque de saturation des moyens de prévention et de contrôle en cas d'afflux de cas importés ou de transmission autochtone, quel que soit le niveau de cette dernière. Ainsi, plusieurs ARS interrogées ont signalé une mise en tension de leurs moyens pour traiter le nombre important de cas importés en 2023.

L'afflux inhabituel de cas importés et la multiplication des foyers autochtones conduisent à la mise en tension des moyens de LAV déjà observée en 2022 et 2023, à une dégradation des conditions de travail des différents acteurs (services des ARS, opérateurs de démoustication, SpF) et à une dégradation de la qualité des opérations. La saturation des moyens de LAV pourrait conduire à aggraver ces impacts.

Cette situation conduira les acteurs à réaliser en priorité certaines actions de surveillance, prévention et LAV. De plus, à moyens constants, la saturation conduira à des arbitrages dans l'allocation des moyens consacrés à la surveillance, à la prévention et au contrôle, ainsi qu'à ceux consacrés à d'autres interventions¹⁰. Ces arbitrages doivent être anticipés pour en réduire les impacts.

La saturation des moyens pourra conduire à l'activation des niveaux les plus élevés du plan ORSEC-LAV¹¹.

Concernant les **acteurs institutionnels hors prévention et contrôle**, de multiples acteurs, du niveau local au niveau national, seraient amenés à jouer un rôle en cas d'épidémie. Une augmentation modérée de la transmission autochtone aurait dans un premier temps des impacts ponctuels (pendant l'épisode de transmission) sur l'activité des collectivités locales, principalement pour accompagner les traitements de LAV (information de la population et accès aux zones à traiter).

Une transmission plus massive conduirait à une mobilisation de moyens plus intense dans les collectivités territoriales et les services déconcentrés de l'État. Une communication plus large

¹⁰ Par exemple, les ARS pourraient être conduites à retarder les enquêtes épidémiologiques et donc les traitements de LAV si les agents sont mobilisés au même moment pour gérer une épidémie de rougeole ou une toxi-infection alimentaire collective.

¹¹ Organisation de la Réponse de Sécurité Civile (ORSEC) : ce dispositif est conçu pour secourir les personnes et protéger les biens et l'environnement en situation d'urgence. Il est décliné selon le type de risque. Le plan ORSEC-LAV concerne la lutte antivectorielle.

auprès de la population générale serait mise en place, afin de ralentir la transmission et de répondre aux inquiétudes de la population.

L'augmentation du risque aurait également des impacts en dehors des épisodes de transmission, pour préparer à l'échelle locale et nationale une réaction organisée face à une transmission qui s'intensifie. Avec l'apparition du risque dans l'Hexagone, un plan avait été élaboré en 2006, en cours d'actualisation dans le cadre de l'élaboration du plan ORSEC-LAV. À l'avenir, avec l'augmentation du risque et la multiplication des foyers, voire la survenue d'épidémie, il sera nécessaire d'adapter ce plan notamment à la lumière des leçons tirées de l'expérience.

D'une façon générale, il est attendu une augmentation des coûts et des budgets des administrations publiques consacrés aux arboviroses en parallèle de l'augmentation du risque.

Les acteurs locaux sont dans l'attente d'une coordination nationale de la gestion des cas d'arboviroses, notamment pour la définition des critères de priorisation des cas à traiter, en lien avec l'avis relatif à la priorisation des lieux fréquentés par les cas importés d'arbovirose pour la réalisation des prospections entomologiques et des actions de lutte anti-vectorielle (saisine Anses n° 2022-AST-0103).

3.3.2. Impacts sur l'état de santé

L'évaluation des impacts d'une épidémie d'arboviroses transmise par les moustiques du genre *Aedes* doit tenir compte du fait que la population n'est majoritairement pas immunisée. L'impact sur l'état de santé est en effet fortement déterminé par les formes graves, les formes chroniques et les séquelles de la maladie. Il sera directement lié à l'arbovirus, à la fréquence et à la répartition des cas, ainsi qu'à l'intensité de la transmission. Il dépendra également d'autres facteurs, notamment la performance du système de prévention et de contrôle (LAV), la saison, la zone géographique, la souche virale, la pyramide des âges, les comorbidités au sein de la population et l'état du système de santé.

Il n'existe que peu de données sur le fardeau sanitaire des arboviroses transmises par *Aedes albopictus* en Europe. Les évaluations du fardeau sanitaire (exprimées en *disability-adjusted life years* – années de vie ajustées sur l'incapacité DALYs¹²) réalisées dans des pays étrangers ne sont pas directement transposables à la situation hexagonale, étant donné que le système de surveillance, l'efficacité de la riposte, le système de soins, la législation concernant l'interruption de grossesse (concernant essentiellement l'infection à virus Zika) et les comorbidités de la population sont différents.

Le système de santé hexagonal est *a priori* plus à même d'accueillir les patients dans de bonnes conditions de prise en charge que celui de nombreux pays dans lesquels l'impact des arboviroses a été étudié. Néanmoins, le GT attire l'attention sur l'importance pour la population et les professionnels de santé, de connaître les facteurs de risque et les signes d'alerte des formes graves des arboviroses. Le GT attire également l'attention sur le risque de saturation du système de soins hexagonal en cas d'épidémie, et notamment des services d'urgence en période estivale, qui pourrait compliquer l'accueil des patients et potentiellement alourdir l'effet de la maladie sur l'état de santé. De plus, la saturation de l'offre de soins pourrait également avoir un impact sur la prise en charge des autres maladies et donc sur l'état de santé de la population en général.

¹² Le DALY est un indicateur sanitaire composite intégrant la qualité de vie et les années de vies perdues à cause d'une maladie.

3.3.3. Impacts sur le système de soin

L'expérience acquise lors des épidémies d'arboviroses survenues ces dernières années dans les DROM indique que l'impact sur le système de soins se traduit essentiellement par deux problématiques principales : une augmentation de l'activité liée à la croissance du nombre de patients et une diminution de la disponibilité des professionnels de santé, eux-mêmes touchés par l'épidémie (avec des arrêts de travail pouvant atteindre deux semaines en cas d'infection).

Ces circonstances provoquent des tensions dans les capacités de diagnostic et peuvent entraîner la saturation de certains services, voire de l'ensemble du système de soins en cas d'épidémie étendue.

Cette problématique est exacerbée lorsqu'une autre épidémie survient simultanément, comme ce fut le cas par exemple aux Antilles, avec une double épidémie de Covid-19 et de dengue survenue en 2020¹³. Ces situations de tension extrême nécessitent la mobilisation de renforts et de la réserve sanitaire en phase épidémique.

En ce qui concerne la dengue, ce sont surtout la médecine de ville et les services d'urgence et de réanimation qui sont impactés. Pour l'infection à virus chikungunya, l'impact s'étend à la médecine de ville, aux urgences, et aux services hospitaliers de médecine et de rhumatologie. Concernant l'infection à virus Zika, le principal risque est la saturation des services de réanimation et des services de soins médicaux et de réadaptation (SMR), à cause de l'incidence élevée des syndromes de Guillain-Barré associés à ce virus. Selon le GT, les acteurs du suivi de grossesse pourraient également être particulièrement sollicités.

Une épidémie d'arbovirose peut également avoir un impact sur les collectes de sang, en limitant le nombre de donneurs éligibles, en augmentant le coût des tests de dépistage et en mettant en tension les stocks de produits.

Les groupes les plus à risque de développer des formes sévères incluent les patients atteints de drépanocytose, les personnes âgées et les jeunes enfants. Une vigilance accrue est nécessaire pour les femmes enceintes, en particulier infectées par le virus Zika, en raison des risques pour le fœtus. Pour les trois virus, des retards dans la prise en charge peuvent affecter les individus les plus précaires ou ceux éloignés du système de soins.

En France hexagonale, la formation des professionnels de santé, tant en ville qu'à l'hôpital, représente un enjeu crucial nécessitant une attention particulière. Les centres hospitaliers universitaires (CHU) interrogés n'ont pas rapporté de plan spécifique pour l'organisation des soins en cas d'épidémie d'arbovirose, ce qui peut s'expliquer par le nombre relativement faible de cas rapportés à ce jour. Cependant, divers CHU, principalement situés dans le Sud de la France (zone traditionnellement plus exposée aux arboviroses), ont mis en place différentes mesures spécifiques, telles qu'une surveillance sanitaire des cas d'arboviroses importés et autochtones, une sensibilisation de tous les professionnels de santé aux précautions à prendre pour limiter les risques de transmission, des plans pour augmenter les capacités diagnostiques sur site. Dans ces établissements, le risque de transmission vectorielle d'arbovirose en milieu hospitalier est également pris en compte, avec la mise en place de mesures préventives, qui combinent généralement plusieurs approches (utilisation de moustiquaires, diffuseurs électriques d'insecticides, application de répulsifs cutanés, actions visant à limiter les gîtes larvaires au sein de l'établissement, etc.).

¹³ Voir par exemple l'avis de l'Anses relatif à « l'évaluation du rapport bénéfice risque des pratiques de lutte antivectorielle habituellement mises en œuvre pour lutter contre la dengue, dans le contexte actuel de confinement global », [VECTEURS2020SA0057.pdf \(anses.fr\)](#) et [La pandémie de Covid-19 ne doit pas nous faire oublier la dengue \(theconversation.com\)](#).

Un niveau accru de transmission et l'implantation d'*Aedes albopictus* dans de nouvelles régions pourraient conduire d'autres établissements hospitaliers ou d'autres structures de soins susceptibles d'accueillir des patients en phase de virémie d'arbovirose à devoir mettre en place des protocoles équivalents à ceux déjà énoncés par les CHU dans le cadre de leur protocole.

Selon le GT, le financement des mesures de prévention sur les budgets propres des établissements pourrait limiter la montée en puissance nécessaire de ces mesures en cas d'augmentation de la transmission autochtone. Des budgets spécifiques et des achats groupés de produits répulsifs pourraient être nécessaires à une échelle plus importante, au niveau des Groupes hospitaliers de Territoire (GHT) ou au-delà.

Selon le GT, il n'est pas attendu un impact significatif des arboviroses sur le système de soins au niveau 2 de transmission autochtone (cf. Tableau 2). L'effet pour un niveau 3 de transmission est incertain, et un impact significatif est attendu pour le niveau 4. À ce dernier stade, l'expérience des DROM montre notamment la nécessité d'organiser une filière d'accueil spécifique des malades à l'hôpital.

3.3.4. Impacts sur les activités économiques

L'**impact macroéconomique** semble faible, avec trois modulations susceptibles d'entraîner un impact significatif, en cas de transmission massive (niveau 4 du tableau 2). Un effet domino des conséquences économiques d'épidémies massives sur d'autres continents vers les marchés européens pourrait être observé, via les chaînes de valeur qui subiraient les effets d'une crise sanitaire en amont. Le secteur du tourisme pourrait être particulièrement touché, du fait de la sensibilité et de la réactivité des touristes, notamment en lien avec la couverture médiatique de l'épidémie. Enfin, des pertes d'activité économique pourraient survenir, en lien avec des pertes de productivité dues aux arrêts de travail (cf. ci-dessous).

L'**impact microéconomique sur le marché de la prévention** se caractérise par un effet sur les coûts et sur les profits des entreprises qui utiliseront ces moyens de protection et qui ont pour objectif de préserver le volume d'affaires et l'activité, un effet sur le revenu des ménages dans tous les cas et un effet possible et non intentionnel des politiques publiques de protection avec une démobilisation de l'effort individuel face à l'effort public. Selon le GT, en parallèle de ces impacts négatifs, une épidémie entraînerait l'émergence d'opportunités de marché, liées aux moyens de protection, aux traitements et aux vaccins, aux assurances et à la recherche.

Concernant **le tourisme**, il ressort de la littérature et des témoignages des acteurs de terrain consultés que l'impact économique est largement mentionné par les opérateurs car les épidémies ont lieu dans des zones hautement touristiques mais la littérature ne rapporte pas d'études quantitatives sur l'amplitude de cet impact. L'impact serait d'autant plus important que la France est une destination très touristique, les impacts économiques semblent centrés sur les professionnels du tourisme (plus que sur les touristes eux-mêmes), l'impact le plus fortement attendu, qu'il conviendrait d'étudier, est lié aux transferts des flux de touristes vers des zones moins exposées. Enfin, l'impact est très fortement lié à la couverture médiatique car les touristes sont sensibles à l'information diffusée. Selon le GT, les impacts sur le tourisme pourraient survenir dès les premiers niveaux de transmission autochtone (niveau 2 du Tableau 2).

En l'absence de littérature spécifique relative à l'impact des arboviroses sur le **marché immobilier**, le GT s'est appuyé sur une littérature portant sur d'autres crises sanitaires. Le GT estime que les nuisances des moustiques, ainsi que leur capacité à transmettre les virus, pourraient générer une baisse potentielle des prix sur le marché immobilier local (toutes

choses égales par ailleurs) et une baisse potentielle de la valeur du patrimoine des ménages propriétaires sur ces territoires. Le GT estime qu'une épidémie d'arbovirose (niveau 3 du Tableau 2) viendrait aggraver ces effets à court terme.

Concernant l'impact sur **le travail**, le GT s'attend à ce qu'une épidémie d'arbovirose ait principalement deux effets : des absences au travail des malades et de leurs aidants et une baisse consécutive de la productivité, et une mondialisation des effets liés aux chaînes d'approvisionnement, qui toucherait tous les secteurs économiques. Selon le GT, il n'est pas attendu un impact significatif des arboviroses sur le travail au niveau 2 de transmission autochtone. L'effet pour un niveau 3 de transmission est incertain, et un impact significatif est attendu pour le niveau 4.

3.3.5. Impacts sur l'éducation

Peu de littérature académique sur les impacts d'une arbovirose sur l'éducation est disponible, mais il est possible de se référer aux travaux portant sur d'autres maladies infectieuses à transmission vectorielle.

Les impacts dépendent de la forme de la maladie (conséquences d'une exposition *in utero*), formes asymptomatiques, formes cliniques non sévères, formes cliniques et infections répétées, cas sévères) et relèvent de trois catégories. La première concerne les absences, soit directement des jours d'absence à l'école des enfants malades (10 jours en moyenne par cas), soit indirectement, par la fermeture des écoles, l'absence des enseignants, ou l'incapacité liée à la maladie des parents. La deuxième porte sur les effets de la maladie sur les capacités d'apprentissage et la cognition, les résultats scolaires et le développement de l'enfant : à court terme, du fait de la fatigue et de la fièvre, des absences répétées en cas de formes cliniques répétées ou sévères, à long terme, avec des effets sur le développement des individus, leur niveau d'éducation et leur niveau de revenu et enfin, d'autres conséquences possibles de nature comportementale (des effets de substitution entre les dépenses et le temps alloués à la santé versus à l'éducation). La troisième catégorie d'impact concerne des effets plus systémiques à court ou long terme : la gestion des absences des enseignants, la démoustication ou les fermetures d'école et les coûts liés, l'ajustement des programmes scolaires en période épidémique ou inter-épidémique.

Selon le GT, il n'est pas attendu un impact significatif des arboviroses sur l'éducation au niveau 2 de transmission autochtone cf. Tableau 2). L'effet pour un niveau 3 de transmission est incertain ; un impact significatif est attendu pour le niveau 4.

3.3.6. Impacts sur la recherche

La survenue d'une épidémie ou l'endémisation d'un arbovirus semble conduire à un développement de programmes de recherche visant à mieux connaître la maladie et ses impacts et à évaluer les meilleurs moyens de s'en prémunir ou d'y faire face.

Le volume financier dédié à ces programmes a sensiblement augmenté au cours des 20 dernières années, depuis que les pays à haut revenu de l'hémisphère nord sont directement concernés par un risque de transmission autochtone.

Le développement des programmes de recherche est directement tributaire des budgets dédiés. Il est possible que ces budgets proviennent en partie de la réallocation de budgets auparavant affectés à d'autres programmes de recherche.

Un impact sur la recherche est souvent observé à l'occasion d'une crise, mais se prolonge rarement au-delà de la crise, avec un risque de réorientation des moyens à l'occasion de la

crise suivante, une non pérennité des financements, et une fragilité des réseaux/consortiums mis en place.

L'expérience montre que lorsque les fonds sont débloqués au niveau national, européen ou mondial, les laboratoires de recherche français se mobilisent rapidement et efficacement et s'organisent en consortiums pour répondre aux questions de recherche qui émergent dans le sillage des virus et de leurs vecteurs. L'excellence et la compétitivité des équipes de recherche nationales doit être entretenue pendant l'inter-crise pour anticiper et assurer la réactivité nécessaire en cas de crise. Il est ainsi fondamental de soutenir l'émergence d'équipes de recherche travaillant sur ces thématiques ainsi que de maintenir un panel de compétences suffisamment large pour répondre à ces besoins. Ceci implique de pérenniser des postes dans les équipes de recherche dans des domaines relatifs au risque lié aux arboviroses : virologistes, entomologistes, modélisateurs, etc. La mobilisation de ces forces de recherche vers des approches préventives est un enjeu majeur.

3.3.7. Impacts en matière de couverture médiatique

L'augmentation de la transmission autochtone ou la survenue d'épidémie va avoir un impact sur l'activité des médias et inversement, l'activité des médias aura un impact sur la dynamique épidémique. La façon dont les médias relaient l'information sur l'épidémie a un impact sur l'attitude et les comportements de la population.

De même, l'activité médiatique peut servir de marqueur de la préoccupation publique et la couverture de l'évènement aura un effet sur la forme et le volume des informations transmises par les médias (traditionnels et sociaux).

Compte-tenu de l'intérêt déjà marqué des médias pour les arboviroses dans l'Hexagone, le GT anticipe un effet médiatique dès les premiers cas de transmission autochtone, qui pourrait être d'autant plus fort si l'arbovirose concerne un virus n'ayant jamais circulé sur le territoire ou touche un évènement majeur (sportif par exemple).

3.3.8. Impacts en terme de mouvements sociaux

Dans un contexte d'épidémie en France hexagonale, on peut s'attendre à ce que les autorités (comme les ARS) mettent en œuvre, ou renforcent, la mobilisation sociale, pour promouvoir les bons gestes de lutte contre les moustiques (élimination de gîtes larvaires, etc.).

L'émergence ou le développement éventuels de plusieurs types de collectifs mobilisés peuvent également être envisagés :

- des associations de patients et de personnes impactées par les maladies ;
- des collectifs opposés à la démoustication (dans le cadre de la LAV), dans la continuité de certains mouvements déjà observés (assez rarement) dans l'Hexagone. Cela soulignerait alors la nécessité d'approfondir la réflexion sur l'évolution de la LAV dans un contexte épidémique (approches alternatives au traitement chimique, association de la population à la définition des solutions, etc.) ;
- des collectifs réclamant une lutte contre les nuisances ;
- des collectifs soucieux face à la saturation des moyens de la lutte antivectorielle (en cas de saturation) ;
- des mouvements d'opposition à une éventuelle recommandation de vaccination.

Compte-tenu des mouvements sociaux déjà observés, le GT estime que des impacts en termes de mouvements sociaux sont attendus dès le niveau 2 de la transmission (cf. Tableau 2).

3.3.9. La question des inégalités en temps d'épidémie

La littérature académique qui porte spécifiquement sur les inégalités et les arboviroses est peu abondante. S'il est possible de se référer à l'expérience de l'épidémie de Covid, le GT recommande de le faire avec prudence car le mode de transmission diffère fondamentalement. Beaucoup d'études montrent que les crises de santé vont de pair avec une accentuation des inégalités en moyenne, mais ce résultat doit être nuancé selon les types d'inégalités analysées (géographiques ou spatiales, de santé, de revenu, d'accès aux soins ou au marché du travail, etc.), les niveaux géographiques analysés (du micro au macro) et la temporalité des effets. Le lien entre épidémie et inégalités est également bi-directionnel. D'une part, les inégalités ont un effet sur la dynamique épidémique, la transmission de la maladie ou la prévention de la maladie. D'autre part, la circulation épidémique peut avoir un effet sur l'évolution des inégalités, effets qui peuvent être très hétérogènes dans le temps et selon les indicateurs retenus. Les politiques peuvent renforcer ces inégalités ou, au contraire, les réduire.

3.3.10. Modification des impacts dans le contexte des changements climatiques et autres changements globaux

Le risque d'arbovirose augmente avec **les changements climatiques et autres changements globaux** dans certaines zones géographiques, dont l'Hexagone. Des mesures pour agir sur les facteurs à l'origine de ces changements peuvent être prises, en complément de celles déjà engagées :

- pour limiter les risques d'épidémie à court terme (comme limiter les déplacements intercontinentaux, qui facilitent la circulation virale et la circulation des vecteurs) ;
- pour aménager l'environnement urbain en conciliant l'adaptation aux changements climatiques et la prise en compte du risque d'arbovirose, par exemple dans les projets de végétalisation des villes ;
- concernant les crises, pour limiter les impacts des arboviroses en adaptant les moyens de lutte de sorte qu'une gestion de crises concomitantes soit réalisable sans arbitrage potentiellement défavorable pour l'être humain, la biodiversité et l'environnement ;
- pour lutter à plus long terme contre la hausse des émissions de CO₂ qui contribuent à l'augmentation des températures, préserver la biodiversité et les habitats naturels pour limiter les contacts entre hôtes, vecteurs et virus.

3.3.11. Commentaires généraux sur les impacts socio-économiques attendus d'une épidémie d'arbovirose

Le GT a analysé des impacts communément attendus des épidémies d'arboviroses (par exemple les impacts sur la santé ou le système de santé), mais aussi des impacts qui le seraient moins (comme ceux relatifs au logement). Il peut également exister des boucles de rétroactions entre les différents impacts (ce qui signifie que certains impacts peuvent exercer une influence sur d'autres). De plus, le GT rappelle deux limites au travail réalisé : d'une part, la littérature portant sur un contexte similaire à celui de l'Hexagone étant très limitée,

l'évaluation des impacts (attendus) est par conséquent marquée par des incertitudes (ces incertitudes ont fait l'objet d'une analyse dans le rapport) ; d'autre part, le GT n'est pas en mesure d'établir des relations de causalité et de quantifier l'ampleur et la durée des impacts dans l'état actuel des méthodes et des données disponibles.

Le GT a rapporté, parmi les impacts, des mesures prises par les acteurs concernés par la gestion d'épidémies sur la base d'expériences passées. Ces mesures n'ont pas toutes fait l'objet d'une évaluation et le fait que le GT les mentionne ne constitue pas une recommandation à les mettre en œuvre.

Le GT interpelle les décideurs sur l'importance de collecter les données qui sous-tendent les impacts observés lors d'épisodes d'épidémies pour mieux mesurer les impacts et mieux appréhender les épisodes futurs.

3.4. Recommandations

Les recommandations formulées par le GT visent à réduire la probabilité d'apparition et l'ampleur de la transmission autochtone ou à limiter les impacts de cette transmission. Toute action visant à limiter la transmission contribue à en réduire l'impact.

3.4.1. Recommandations générales

Le GT souligne l'intérêt du partage des expériences acquises dans les DROM, notamment celles qui sont décrites dans le rapport, et recommande de mieux valoriser ces expériences.

Il appelle à l'élaboration d'un plan interministériel pour l'Hexagone afin de lutter contre les arboviroses, impliquant également les acteurs publics locaux.

Il appelle à rechercher les synergies et à identifier les antagonismes qui peuvent exister entre la lutte contre les changements globaux et celle contre les arboviroses afin d'optimiser et de mettre en cohérence l'ensemble des actions et des normes.

Il appelle à la vigilance pour assurer l'accès des personnes les plus vulnérables : (i) aux moyens de lutte (répulsifs, produits de santé) (ii) aux soins et (iii) à l'information relative aux arboviroses, en amont et pendant les crises.

Le GT appelle également à la mise en place d'un comité de suivi non seulement des recommandations qu'il a émises, mais aussi de celles émises par les différentes institutions ayant été sollicitées sur le sujet (rapport COVARIS du 3 avril 2023, rapport parlementaire de juillet 2020, rapports Anses¹⁴ par exemple).

3.4.2. (In)former et (ré)agir aujourd'hui

De manière générale, le GT recommande de **sensibiliser** davantage la population au risque d'arboviroses et aux mesures de protection collectives et individuelles en utilisant des outils ou supports de sensibilisation adaptés aux différents publics visés : élus et agents des collectivités territoriales, élus nationaux, les différents ministères et les acteurs décentralisés de ces ministères, l'ensemble des professionnels de santé, les élèves et étudiants, ainsi que la population générale.

¹⁴ [Tout comprendre sur les vecteurs et les enjeux de lutte | Anses - Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail](#)

De manière plus spécifique, le GT recommande :

- de favoriser la coordination des acteurs, des actions et des moyens impliqués dans la surveillance entomologique et humaine, en s'appuyant sur l'optimisation des outils déjà utilisés comme Voozarbo¹⁵, le SI-LAV¹⁶, Signalement-moustique¹⁷ ;
- d'éviter la saturation des moyens de LAV en recensant, adaptant et mutualisant les moyens humains et matériels disponibles et en anticipant l'évolution des besoins ;
- de réduire l'incidence des facteurs de risque de formes sévères de la maladie en s'appuyant sur la mise en place d'un suivi des patients développant des formes graves, chroniques ou avec séquelles ;
- de développer la coopération ville-hôpital pour une coordination des prises en charge selon les besoins des patients en intégrant l'ensemble des parties prenantes des soins ;
- d'anticiper les stock nécessaires de produits de protection (répulsifs, moustiquaires), de produits de santé et du corps humain et leur distribution pour les rendre accessibles à tous en cas de crise ;
- d'évaluer l'opportunité de politiques publiques de soutien économique aux secteurs économiques les plus touchés par une crise, comme le tourisme, anticiper les opportunités économiques s'ouvrant dans les domaines de la prévention ou la protection contre ces nouveaux risques et encadrer les pratiques des acteurs concernés ;
- de soutenir la scolarité des élèves et des étudiants, avec un accompagnement scolaire ponctuel en cas de fermeture d'école et un système de remplacement en cas de personnel manquant ;
- de rendre visible les instances publiques d'information et informer en toute transparence pour instaurer la confiance ;
- d'associer les citoyens aux actions de mobilisation sociale pour lutter contre les arboviroses, en mettant en place des instances de concertation citoyennes dans le cadre de la lutte contre les arboviroses et en développant et en consolidant les sciences citoyennes ;
- de s'assurer de la mise en place d'une veille internationale efficace incluant la surveillance des souches virales et d'y consacrer les moyens nécessaires.

3.4.3. En matière de recherche et d'évaluation

Le GT recommande de **planifier des financements pérennes** de la recherche relative aux arboviroses sur le long terme et de maintenir une vigilance sur l'effet d'éviction des autres thèmes de recherche en cas d'épidémie.

¹⁵ La base Voozarbo est une base de données épidémiologiques des cas d'arboviroses gérée par SpF et partagée avec l'ARS et le CNR Arbovirus.

¹⁶ Le SI-LAV est une base de données entomologiques et LAV gérée par la DGS et les ARS et partagées avec les OpD et SpF.

¹⁷ <https://signalement-moustique.anses.fr>. Un rapport d'expertise est en cours pour faire évoluer cet outil (saisine n° 2023-SA-0004).

Afin de pallier le manque de données rencontré par le GT au cours de ses travaux, le GT recommande :

- d'améliorer les connaissances existantes sur les facteurs influençant l'apparition et l'ampleur d'un épisode de transmission autochtone d'arbovirose en zone tempérée, les facteurs socio-environnementaux d'exposition au risque vectoriel, les comportements favorisant la contamination et la perception du risque lié aux arboviroses par la population ;
- de mieux documenter les impacts observés de ces arboviroses ;
- d'évaluer les actions de lutte contre les arboviroses. Concernant en particulier les impacts sanitaires et environnementaux de la lutte chimique, ils restent un point d'attention majeur. Le GT appelle à un travail spécifique qui porterait sur les vecteurs concernés par la LAV et les effets sanitaires et environnementaux non intentionnels de la LAV ;
- d'améliorer la connaissance des maladies engendrées par les arbovirus transmis par *Aedes albopictus* ;
- de mesurer et développer la réponse du système de soin à une épidémie d'arbovirose ;
- d'évaluer les politiques d'accompagnement de l'activité économique qui pourraient être mises en œuvre ;
- d'évaluer l'efficacité des mesures de soutien aux populations vulnérables ;
- d'analyser les liens entre changements globaux et arboviroses.

4. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS DE L'AGENCE

L'augmentation du nombre de cas humains d'infections par des arbovirus transmis par des arthropodes vecteurs est une réalité dans le monde, l'Europe et la France, comme en atteste la recrudescence du nombre de foyers et de cas autochtones de dengue en France hexagonale, après celle déjà observée dans les territoires ultramarins aussi concernés par la fièvre à virus chikungunya et la fièvre à virus Zika. Les récentes épidémies de fièvre du Nil Occidental et les cas d'infection par le virus Usutu en Europe suggèrent également l'accroissement du risque d'épidémies d'arboviroses de différentes natures, à la faveur des modifications en cours des conditions climatiques sur le continent et sur le territoire national, Ces modifications favorisent l'expansion géographique des arthropodes vecteurs pouvant transmettre ces arbovirus, comme celle du moustique tigre *Aedes albopictus* dans l'hexagone, lequel, depuis sa détection dans les Alpes Maritimes en 2004, s'est implanté dans 78 départements.

Anticiper l'apparition de ces épidémies et caractériser leurs impacts, tant sanitaires, économiques que sociaux, revêt donc une grande importance en termes de santé publique afin de prévoir les mesures à prendre pour y faire face.

L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail endosse les conclusions et recommandations du GT « Arboviroses et impacts » relatives à la probabilité d'apparition et à l'ampleur d'une épidémie d'arbovirose transmise par le moustique *Aedes albopictus* en France hexagonale et aux impacts sanitaires, économiques et sociaux associés.

Elle souligne la probabilité très élevée d'avoir, au cours d'une saison en France hexagonale, au moins un épisode de transmission autochtone sous forme de foyer(s) localisé(s). L'Agence alerte également sur la probabilité d'apparition assez élevée, avec un niveau d'incertitude moyen, d'une épidémie d'arbovirose¹⁸ à cinq ans dans le contexte hexagonal. Cette expertise a identifié et caractérisé les différents impacts sur le système de soins, ainsi que sur d'autres activités socio-économiques qu'une épidémie d'arbovirose serait susceptible de générer.

L'incertitude associée à l'évaluation des impacts est forte, leur évaluation quantitative n'ayant pas pu être menée pour l'Hexagone. En effet, la plupart des épidémies ont été observées dans des pays différents, ce qui limite la transposabilité des résultats. Par rapport à ces pays, la France métropolitaine se distingue notamment par un climat tempéré, qui limite actuellement la diffusion virale en hiver, et par un système de soins et une organisation socio-économique susceptibles d'atténuer les impacts.

Parmi les facteurs de nature à accroître ces probabilités, les grands événements internationaux organisés en période d'activité d'*Aedes albopictus* sont très favorables à la survenue d'épisodes de transmission d'arbovirus, du fait de très forts flux de voyageurs – faisant augmenter la probabilité d'entrée d'hôtes virémiques - dans des conditions climatiques propices à la multiplication de ce vecteur.

Au vu de ces résultats, l'Anses souligne tout d'abord l'importance de renforcer les actions relatives aux facteurs identifiés dans cet avis comme protecteurs eu égard à l'apparition et à l'ampleur d'une telle épidémie. A cet égard, sa recommandation première est que le déploiement et l'interopérabilité de ces actions ainsi que l'identification des acteurs associés mériteraient d'être précisés dans un plan interministériel de lutte contre les arboviroses. Dans ce cadre, l'Agence souligne l'intérêt de partager et de valoriser les expériences acquises dans les DROM, notamment celles décrites dans le rapport associé au présent avis.

De plus, l'Anses recommande d'agir rapidement sur les leviers ayant un impact important sur la probabilité d'apparition ou l'ampleur d'une épidémie, ainsi que sur la connaissance et la limitation des impacts. Les consultations et auditions menées dans cette expertise ont permis d'identifier certains de ces leviers : favoriser le partage d'expérience, maintenir les compétences des acteurs impliqués dans la LAV, adapter les moyens aux besoins de la prévention, de la surveillance et du contrôle des arboviroses. Parmi les moyens de surveillance, l'Anses travaille actuellement à la refonte du dispositif Signalement-moustique afin qu'il réponde aux enjeux d'une situation de large implantation. La sensibilisation et l'adhésion des professionnels de santé et des populations est un autre facteur clef de l'efficacité des stratégies de prévention et de lutte contre les arboviroses. A ce titre, l'Anses rappelle sa recommandation, formulée dans des travaux antérieurs¹⁹, que les stratégies de LAV soient co-construites avec les acteurs concernés, notamment en associant la population à leur définition et à leur mise en place et en soutenant les recherches participatives, et en anticipant d'éventuelles inégalités sociales de santé.

L'Anses souligne de plus la nécessité de mener d'une part des travaux de recherche, ces travaux devant être suscités par des financements, tels que ceux qu'elle met en œuvre dans le cadre du Programme National de recherche Environnement Santé Travail (PNR-EST) :

¹⁸ Epidémie : répartition diffuse de cas humains autochtones au-delà des foyers déjà individualisés (niveau 3 du Tableau 2).

¹⁹ Voir les avis n° 2019-SA-0039 « Evaluation de la LAV » [BIOCIDES2019SA0039.pdf \(anses.fr\)](#) et l'application de la méthode à La Réunion : [BIOCIDES2023SA0003Ra.pdf \(anses.fr\)](#).

l'agence enregistre aujourd'hui des propositions de projets pertinents et scientifiquement robustes qu'elle a du mal à financer faute de moyens dédiés à ce domaine.

L'Anses appelle d'autre part à des travaux d'évaluation, complémentaires à ceux faisant l'objet du présent avis, concernant notamment d'autres arboviroses, tout particulièrement celles dues à des arbovirus zoonotiques, comme le virus *West Nile* transmis par les moustiques du genre *Culex*, ainsi que l'évaluation des effets sanitaires et environnementaux non intentionnels de la LAV pour l'ensemble des vecteurs concernés par la LAV.

Enfin, l'Anses souligne le fait que le contexte de dérèglement climatique impacte la probabilité d'apparition d'épidémie d'arbovirose, notamment du fait de l'augmentation de température. Certaines méthodes d'adaptation au dérèglement climatique, notamment la végétalisation des espaces urbains, sont susceptibles d'avoir des conséquences sur la probabilité d'apparition d'épidémie d'arbovirose, et doivent donc s'inscrire dans une réponse globale susceptible de concilier la prise en compte de risques très divers.

Pr Benoit Vallet

MOTS-CLÉS

Arbovirose, arbovirus, épidémie, analyse socio-économique, impacts, *Aedes albopictus*, dengue Zika, chikungunya

Arbovirus infection, arbovirus, disease outbreak, socio-economic analysis, impacts, *Aedes albopictus*, dengue Zika, chikungunya

CITATION SUGGÉRÉE

Anses. (2024). Avis de l'Anses sur la probabilité d'apparition et ampleur d'épidémies dues à un arbovirus transmis par *Aedes albopictus* en France hexagonale et leurs impacts sur la santé et l'économie. (saisine 2022-SA-0146). Maisons-Alfort : Anses, 26 p.

**Epidémies dues à un arbovirus transmis
par le moustique *Aedes albopictus* en France
hexagonale : probabilité d'apparition, ampleur de la
transmission et impacts sanitaires, économiques et
sociaux**

Saisine 2022-SA-0146 Arboviroses et impacts

**RAPPORT
d'expertise collective**

**CES Analyse Socio-Économique
CES Santé et Bien-Être des Animaux
GT Vecteurs**

GT Arboviroses et Impacts

Juillet 2024

Citation suggérée

Anses. (2024). Epidémies dues à un arbovirus transmis par le moustique *Aedes albopictus* en France hexagonale : probabilité d'apparition, ampleur de la transmission et impacts sanitaires, économiques et sociaux (saisine 2022-SA-0146). Maisons-Alfort : Anses, 247 p.

Mots clés

Arbovirose, arbovirus, épidémie, analyse socio-économique, impacts, *Aedes albopictus*, dengue Zika, chikungunya

Arbovirus infection, arbovirus, disease outbreak, socio-economic analysis, impacts, *Aedes albopictus*, dengue Zika, chikungunya

Présentation des intervenants

PRÉAMBULE : Les experts membres de comités d'experts spécialisés, de groupes de travail ou désignés rapporteurs sont tous nommés à titre personnel, *intuitu personae*, et ne représentent pas leur organisme d'appartenance.

GROUPE DE TRAVAIL

Présidente

Marie-Claire PATY – Médecin infectiologue, Santé publique France – Épidémiologie, santé humaine, santé publique.

Vice-Présidente

Bénédicte APOUEY – Chargée de recherche, CNRS et École d'économie de Paris – Économie de la santé, inégalités sociales de santé.

Membres

Clémentine CALBA – Chargée d'étude scientifique en épidémiologie – Arboviroses, surveillance, investigations épidémiologiques, épidémiologie participative.

Éric CARDINALE – Directeur Adjoint UMR Astre, CIRAD Montpellier – Épidémiologie, Microbiologie, zoonoses, maladies infectieuses, AMR, *One Health* (expert jusqu'au 1^{er} mai 2024).

Carine MILCENT – Directrice de recherche, CNRS et École d'économie de Paris – Système de santé, évaluation d'impact, inégalités, hôpital, économétrie appliquée.

David ROIZ – Chercheur, IRD Montpellier – Lutte antivectorielle, entomologie médicale, *Aedes*, évaluation des risques (contribution aux réponses aux questions 1 et 2 jusqu'en septembre 2023, et à la réponse à la question 3 jusqu'en juin 2024).

Élodie ROUVIERE – Maîtresse de conférences, AgroParisTech – Organisation industrielle, économétrie appliquée, filières agroalimentaires.

Jean-Michel SALLES – Directeur de recherche, CNRS, Centre d'économie de l'environnement - Montpellier (CEE-M) – Économie de l'environnement, économie écologique, services écosystémiques, coût des espèces invasives, dommages liés aux insectes invasifs dont moustiques.

Frédéric SIMARD – Directeur de recherche IRD Montpellier – Entomologie médicale, arboviroses, biologie évolutive, maladies infectieuses émergentes.

Yannick SIMONIN – Professeur des Universités en virologie, UMR Pathogenèse et contrôle des infections chroniques et émergentes, Université de Montpellier - INSERM – *One Health*, surveillance, diagnostic, neurotropisme, arbovirus, orthoflavivirus, virulence.

Josselin THUILLIEZ – Directeur de recherche, CNRS et Centre de Recherche en Economie et Management de l'Université de Rennes – Épidémiologie économique, évaluation d'impact.

.....

COMITÉS D'EXPERTS SPÉCIALISÉS

Les travaux, objets du présent rapport ont été suivis et adoptés par le CES suivant :

- CES Analyse Socio-Économique (ASE) – Dates : 7 mars 2023, 22 juin 2023, 5 octobre 2023, 11 janvier 2024, 19 mars, 2024, 23 avril 2024, 30 mai 2024, 4 juillet 2024.

Présidente

Laura MAXIM – Chargée de recherche, CNRS – Socio-économie, risques chimiques, incertitude.

Membres

Bénédicte APOUEY – Chargée de recherche, CNRS et École d'économie de Paris – Économie de la santé, inégalités sociales de santé.

Luc BAUMSTARK – Maître de conférences, Université Lyon 2 – Économie publique, économie de l'environnement, économie de la santé, calcul économique public.

Céline BONNET – Directrice de recherche, INRAE – Économie industrielle, analyse des politiques alimentaires.

Thierry BRUNELLE – Chargé de recherche, CIRAD – Modélisation, usages des sols, sécurité alimentaire, biodiversité, changement climatique.

France CAILLAVET – Directrice de recherche, INRAE – Déterminants socio-économiques des décisions alimentaires, inégalités, analyse des politiques alimentaires.

Alain CARPENTIER – Directeur de recherche, INRAE – Analyse des systèmes de production agricole, politique agro-environnementale, usage d'intrants chimiques.

Thomas COUTROT – Retraité – Statistiques du travail, évaluation économique, organisation du travail.

Cécile DETANG-DESSENDRE – Directrice scientifique adjointe, INRAE – Économie des espaces ruraux, marché du travail agricole.

Serge GARCIA – Directeur de recherche, INRAE – Économie des ressources naturelles, eau, forêt, services écosystémiques, politiques publiques environnementales.

Julien GAUTHEY – Chargé de mission Recherche, OFB – Sociologie, socio-économie, biodiversité, agroécologie, économie circulaire, micropolluants.

Emmanuelle LAVAINÉ – Enseignante-chercheuse, Université de Montpellier – Économie appliquée en santé-environnement, évaluation des externalités environnementales de santé (jusqu'au 8/12/2023).

Marc LEANDRI – Maître de conférences, Université Versailles-Saint Quentin – Économie du risque et de l'information, économie de la pollution, services écosystémiques, développement durable.

Christine LE CLAINCHE – Professeure, Université de Lille – Santé-travail, inégalités sociales de santé, prévention, équité et redistribution, économie comportementale.

Youenn LOHEAC – Enseignant-chercheur, CNRS, Université Rennes 1, Rennes School of Business – Économie expérimentale et comportementale, analyse des comportements alimentaires.

Selim LOUAFI – Directeur adjoint, UMR AGAP - CIRAD – Sciences sociales, biodiversité, biotechnologies, développement durable, sécurité alimentaire, décision publique (jusqu'au 16/01/2024).

Eric PLOTTU – Consultant– Théorie de la décision, méthodologie d'évaluation et aide multicritère à la décision, approches participatives, évaluation socio-économique et environnementale de projets.

Élodie ROUVIERE – Maîtresse de conférences, AgroParisTech – Organisation industrielle, économétrie appliquée, filières agroalimentaires.

Maïder SAINT JEAN – Enseignante-chercheuse, Université de Bordeaux – Économie de l'innovation, éco-industrielle, l'économie de l'environnement, transition sociotechnique.

Denis SALLES – Chargé de mission, INRAE – Sociologie de l'environnement et de l'action publique, gestion des ressources en eau.

Louis-Georges SOLER – Directeur scientifique adjoint, INRAE – Économie des filières agricoles et agroalimentaires, politiques nutritionnelles.

Léa TARDIEU – Chargée de recherche, INRAE – Services écosystémiques, justice environnementale, biodiversité, analyses spatialisées

Jean-Christophe VERGNAUD – Directeur adjoint, Centre d'économie de la Sorbonne - École d'économie de Paris – Économie publique appliquée en santé-environnement, théorie de la décision, économie expérimentale, REACh.

CES Santé et Bien-Être des Animaux (SABA) – Dates : 13 décembre 2022, 6 juin 2023, 12 septembre 2023, 20 février 2024, 19 mars 2024, 23 avril 2024, 28 mai 2024, 2 juillet 2024.

Président

Gilles MEYER – Professeur, École nationale vétérinaire de Toulouse - Virologie, immunologie, vaccinologie, maladies des ruminants.

Membres

Xavier BAILLY – Ingénieur de recherche, INRAE Saint Genes Champanelle - Épidémiologie moléculaire, écologie de la santé, épidémiologie-surveillance, modélisation, bactériologie.

Catherine BELLOC – Professeure, Oniris - École vétérinaire de Nantes - Infectiologie, approche intégrée de la santé animale, maladies des monogastriques.

Stéphane BERTAGNOLI – Professeur, École nationale vétérinaire de Toulouse - Virologie, immunologie, vaccination, maladies des lagomorphes.

Alain BOISSY – Directeur de recherche INRAE Clermont-Ferrand – Theix - Bien-être animal.

Séverine BOULLIER – Professeure, École Nationale Vétérinaire de Toulouse – Immunologie, vaccinologie.

Henri-Jean BOULOUIS – Retraité, École nationale vétérinaire d'Alfort - Bactériologie, diagnostic de laboratoire, immunologie, vaccinologie.

Eric CARDINALE – Directeur adjoint UMR Astre, CIRAD Montpellier - Épidémiologie, Microbiologie, zoonoses, maladies infectieuses, AMR, *One Health* (expert jusqu'au 1^{er} mai 2024).

Aurélie COURCOUL – Directrice de la recherche et des études doctorales, Oniris - École Vétérinaire de Nantes - Épidémiologie, appréciation des risques (modélisation), réglementation.

Alice DE BOYER DES ROCHES – Maîtresse de conférences, VetAgro Sup - Bien-être animal, animaux de rente, douleur, comportement, zootechnie.

Barbara DUFOUR – Professeure émérite, École nationale vétérinaire d'Alfort - Épidémiologie, maladies infectieuses, analyse du risque, zoonoses, lutte collective.

Emmanuelle GILOT-FROMONT – Professeure, VetAgro Sup – Épidémiologie quantitative, évaluation de risque, interface faune sauvage-animaux domestiques, maladies réglementées.

Étienne GIRAUD – Chargé de recherche, INRAE Toulouse – Microbiologie, antibiotiques, antibiorésistance, environnement, écologie microbienne.

Lionel GRISOT – Vétérinaire libéral - Médecine et chirurgie vétérinaire, médicament vétérinaire, maladies des ruminants, des équidés et des animaux de compagnie, sécurité sanitaire des aliments

Claire GUINAT – Chargée de recherche, INRAE Toulouse - Épidémiologie, génétique (analyses phylodynamiques), maladies infectieuses.

Nadia HADDAD – Professeure, École nationale vétérinaire d'Alfort - Infectiologie, maladies réglementées, zoonoses.

Elsa JOURDAIN – Chargée de recherche, INRAE Centre Clermont-Auvergne-Rhône-Alpes - Zoonoses, épidémiologie, interface faune sauvage-animaux domestiques.

Hervé JUIN – Ingénieur de recherches, INRAE Centre Poitou-Charentes – Bien-être animal, physiologie et nutrition des volailles

Sophie LE BOUQUIN – LE NEVEU – Cheffe d'unité adjointe, Unité Épidémiologie, santé et bien-être, Anses Ploufragan-Plouzané-Niort - Épidémiologie, évaluation de risque, approche intégrée de la santé animale

Caroline LE MARÉCHAL – Chargée de projet - Responsable LNR Botulisme aviaire, Unité HQPAP, Anses Ploufragan-Plouzané-Niort - Bactériologie, diagnostic de laboratoire, zoonose, botulisme aviaire, clostridies.

Sophie LE PODER – Maîtresse de conférences, École nationale vétérinaire d'Alfort - virologie, immunologie, vaccinologie.

Yves MILLEMANN – Professeur, École nationale vétérinaire d'Alfort – Pathologie des ruminants, infectiologie, antibiorésistance, médicament vétérinaire.

Pierre MORMÈDE – Directeur de recherche émérite INRAE - Bien-être animal, stress.

Carole PEROZ – Maîtresse de conférences, VetAgro Sup – Infectiologie, maladies réglementées, approche intégrée de la santé animale.

Claire PONSART – Cheffe de l'unité des zoonoses bactériennes, Laboratoire de Santé Animale, Anses Maisons-Alfort - Bactériologie, zoonoses, diagnostic de laboratoire.

Céline RICHOMME – Chargée de projets scientifiques, Anses-Laboratoire de la rage et la faune sauvage de Nancy - Épidémiologie, faune sauvage, interface faune sauvage-animaux domestiques, écologie.

Claude SAEGERMAN – Professeur, Faculté de médecine vétérinaire de l'Université de Liège - Épidémiologie, évaluation de risque.

Jean-François VALARCHER – Professeur, Swedish University of Agricultural Sciences (SLU) – Pathologie des ruminants, infectiologie, Immunologie, épidémiologie.

Isabelle VALLÉE – Cheffe de l'unité BIPAR, Responsable LNR Parasites transmis par les aliments, Anses Maisons-Alfort – Parasitologie, zoonoses, immunologie, diagnostic.

Agnès WARET-SZKUTA – Maîtresse de conférences, École nationale vétérinaire de Toulouse – Pathologie porcine, épidémiologie.

Natacha WORONOFF-REHN – Directrice, laboratoire vétérinaire départemental du Doubs – Infectiologie, parasitologie immunologie, biologie moléculaire, diagnostic.

GT vecteurs – Mandature 2018-2023. Dates : 5 juillet 2023, 18 septembre 2023, 6 décembre 2023.

Président

Philippe QUENEL – Professeur, EHESP Rennes – Épidémiologie, évaluation du risque, santé publique.

Membres

Frédéric ARNAUD – Directeur de recherche INRAE/Professeur cumulant EPHE Lyon – Virologie moléculaire, arbovirus, compétence vectorielle.

Thierry BALDET – Chercheur, CIRAD La Réunion – Entomologie médicale et vétérinaire, moustiques, culicoïdes, lutte antivectorielle.

Daniel BLEY - Directeur de recherches émérite au Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) – Anthropologue biologiste

Christophe BOETE – Chargé de recherche IRD – Écologie des vecteurs, biologie évolutive, nouvelles méthodes de lutte antivectorielle.

Sarah BONNET – Directrice de recherche, INRAE, Nouzilly – Parasitologie, entomologie médicale et vétérinaire, tiques.

Emmanuel LIENARD – Enseignant-chercheur, ENV Toulouse – Mécanismes de résistance aux insecticides, pathologie animale, parasitologie.

Antoinette LUDWIG – Vétérinaire épidémiologiste, Agence de santé publique du Canada – Santé animale, épidémiologie des zoonoses, modélisation, épidémiologie.

Sylvie MANGUIN – Directrice de recherche, IRD Montpellier – Entomologie médicale, maladies à transmission vectorielle, moustiques.

Marie-Claire PATY – Médecin infectiologue, Santé publique France – Épidémiologie, santé humaine, santé publique.

Christophe PAUPY – Directeur de recherche, IRD Montpellier – Entomologie médicale, bio-écologie des vecteurs, moustiques, arbovirus.

Jocelyn RAUDE – Maître de conférences, EHESP Rennes – Psychologie de la santé, sciences humaines et sociales.

Magalie RENE-MARTELLET – Enseignante-chercheuse, VetAgro Sup Lyon – Épidémiologie, santé animale, tiques, parasitologie.

David ROIZ – Chercheur, IRD Montpellier – Lutte antivectorielle, entomologie médicale, *Aedes*, évaluation des risques.

Claude SAEGERMAN – Professeur, Université de Liège – Épidémiologie, évaluation de risque, infectiologie et biosécurité.

Frédéric SIMARD – Directeur de recherche IRD Montpellier – Entomologie médicale, arboviroses, biologie évolutive, maladies infectieuses émergentes.

Jean-Paul STAHL – Médecin infectiologue, CHU Grenoble – Maladies infectieuses, pathologies tropicales.

PARTICIPATION ANSES

Coordination scientifique

Émeline BARRÈS – Coordinateur.rice d'expertise – Direction de l'évaluation des risques (DER), Unité d'évaluation des risques liés à la santé, à l'alimentation et au bien-être des animaux et aux vecteurs (UBSA2V).

Véronique RAIMOND – Cheffe de projet, économiste de la santé, Direction Sciences sociales, économie et société (DiSSES).

Johanna FITE - Cheffe de mission – Direction de l'évaluation des risques (DER), Unité d'évaluation des risques liés à la santé, à l'alimentation et au bien-être des animaux et aux vecteurs (UBSA2V).

Florence ÉTORÉ – Cheffe d'unité – Direction de l'évaluation des risques (DER), Unité d'évaluation des risques liés à la santé, à l'alimentation et au bien-être des animaux et aux vecteurs (UBSA2V).

Karine FIORE – Directrice adjointe de la Direction Sciences sociales, économie et société (DiSSES).

Secrétariat administratif

Virginie SADÉ – Anses

SOMMAIRE

Présentation des intervenants	3
Sigles et abréviations.....	12
Liste des tableaux	14
Liste des figures.....	15
Liste des encadrés	16
Glossaire.....	17
1 Contexte, objet et modalités de réalisation de l'expertise.....	22
1.1 Contexte	22
1.2 Objet de la saisine	23
1.3 Modalités de traitement de la saisine : moyens mis en œuvre et organisation	23
1.3.1 Organisation de l'expertise	23
1.3.2 Limites du champ de l'expertise.....	24
1.3.3 Moyens mis en œuvre	25
1.4 Prévention des risques de conflits d'intérêts	26
2 <i>Aedes albopictus</i> et arboviroses associées	27
2.1 Biologie, écologie, distribution d' <i>Aedes albopictus</i>	27
2.1.1 Bio-écologie d' <i>Aedes albopictus</i>	27
2.1.2 Distribution en France hexagonale.....	28
2.2 Généralités sur la transmission vectorielle par <i>Aedes albopictus</i>	29
2.3 Virus transmis par <i>Aedes albopictus</i> et maladies associées	30
2.3.1 Virus de la dengue.....	30
2.3.2 Virus chikungunya	34
2.3.3 Virus Zika.....	36
2.3.4 Stratégie diagnostique en cas d'infection par les virus de la dengue, chikungunya ou Zika 38	
2.3.5 Autres virus transmis par <i>Aedes albopictus</i>	39
2.4 Situation épidémiologique en Europe.....	41
2.4.1 Situation épidémiologique de la France hexagonale	41
2.4.2 Situation épidémiologique en Europe.....	46
2.5 Prévention, surveillance et contrôle du vecteur, des virus et des maladies	48
2.5.1 Surveillance épidémiologique, sensibilisation et engagement des parties prenantes 48	
2.5.2 Surveillance entomologique et lutte antivectorielle.....	51
2.5.3 Vaccins.....	54

3	Probabilité d'apparition et ampleur d'épisodes de transmission autochtone d'arbovirus par <i>Aedes albopictus</i> en France hexagonale — Réponse aux questions 1 et 2	58
3.1	Méthodologie	58
3.2	Les facteurs influençant l'apparition d'un épisode de transmission autochtone et son ampleur	61
3.2.1	Description des facteurs influençant l'apparition et l'ampleur d'un épisode de transmission autochtone d'arbovirus par <i>Aedes albopictus</i>	61
3.2.2	Importance des facteurs influençant l'apparition et l'ampleur d'un épisode de transmission autochtone d'arbovirus par <i>Aedes albopictus</i>	65
3.3	Probabilité d'apparition d'une épidémie due à un arbovirus transmis par <i>Aedes albopictus</i>	70
3.4	Ampleur d'un épisode de transmission autochtone d'arbovirus par <i>Aedes albopictus</i>	71
4	Impacts socio-économiques d'une augmentation de la transmission autochtone d'arbovirus (réponse à la question 3)	73
4.1	Méthode	73
4.1.1	Catégorisation des impacts	73
4.1.2	Recherche bibliographique	74
4.1.3	Consultation des acteurs de terrain	76
4.2	Résultats : impacts socio-économiques d'une augmentation de la transmission autochtone d'arbovirus dans l'Hexagone	78
4.2.1	Préambule	78
4.2.2	Une pluralité d'impacts attendus	79
4.2.3	Impacts institutionnels : prévention, contrôle et gestion des arboviroses	86
4.2.4	Impacts sur l'état de santé et la démographie	101
4.2.5	Impacts sur le système de soins	110
4.2.6	Impacts sur les activités économiques	123
4.2.7	Impacts sur l'éducation	133
4.2.8	Impacts sur la recherche	136
4.2.9	Impacts en matière de couverture médiatique	141
4.2.10	Impacts en termes de mouvements sociaux	143
4.3	La question des inégalités en temps d'épidémie	149
4.3.1	Les effets des inégalités sur l'épidémie	149
4.3.2	Les effets de la circulation épidémique sur l'évolution des inégalités de revenu et de santé	152
4.3.3	Les effets des politiques publiques sur les inégalités	153

4.4	Modifications des impacts dans le contexte des changements climatiques et autres changements globaux	155
4.5	Commentaires généraux sur les impacts socio-économiques attendus d'une épidémie d'arbovirose	157
5	Analyse des incertitudes.....	159
6	Conclusions et recommandations.....	162
6.1	Conclusions du groupe de travail et réponses aux questions de la saisine	162
6.2	Recommandations.....	173
6.2.1	Recommandations générales	173
6.2.2	(In)former et (ré)agir aujourd'hui	174
6.2.3	En matière de recherche et d'évaluation	177
7	Bibliographie.....	181
	Annexe 1 : Lettre de saisine	213
	Annexe 2 : Tableau des incertitudes de notation.....	214
	Annexe 3 : Valeurs chiffrées proposées pour chaque qualificatif de probabilité et correspondance avec les valeurs ordinales (Afssa, 2008).....	215
	Annexe 4 : Description des facteurs influençant l'apparition ou l'ampleur d'un épisode de transmission d'arbovirus transmis par <i>Aedes albopictus</i>	216
	Annexe 5. Version monochrome des Figures 7 et 8. Influence des facteurs sur l'apparition et l'ampleur d'un épisode de transmission d'arbovirus transmis par <i>Ae. albopictus</i>.....	238
	Annexe 6 : Questionnaires adressés aux acteurs de terrain	240
	Annexe 7 : Liste des répondants aux questionnaires	247

Sigles et abréviations

ADE	: <i>Antibody-dependent enhancement</i>
AEM	: Agence européenne du médicament
ARA	: Auvergne-Rhône-Alpes
ARS	: Agence régionale de santé
BFC	: Bourgogne-Franche-Comté
BRE	: Bretagne
BTP	: Bâtiment-travaux publics
CES	: Comité d'experts spécialisé
CHIKV	: <i>Chikungunya virus</i> / Virus du chikungunya
CNR	: Centre national de référence
COR	: Corse
CSP	: Code de la santé publique
CVL	: Centre-Val-de-Loire
DALY	: <i>Disability-adjusted life years</i>
DDT	: Dichlorodiphényltrichloroéthane
DENV	: <i>Dengue virus</i> / virus de la dengue
DGS	: Direction générale de la santé
DGV	: Dépistage du génome viral
DROM	: Départements et Régions d'Outre-Mer
ECDC	: <i>European Center for Disease Prevention and Control</i>
EID	: Ententes interdépartementales de démoustication
EIP	: <i>Extrinsic incubation period</i>
ETP	: Equivalent temps plein
FDA	: <i>Food and Drug Administration</i>
GDD	: <i>Growing Degree Days</i>
GES	: Grand-Est
GT	: Groupe de travail
HDF	: Hauts-de-France
IDF	: Île-de-France

IVG	: Interruption volontaire de grossesse
LAV	: Lutte antivectorielle
MES	: Matières en suspension
NOR	: Normandie
NAQ	: Nouvelle-Aquitaine
OCC	: Occitanie
OMS	: Organisation mondiale de la santé
OpD	: Opérateur de démoustication
PACA	: Provence-Alpes-Côte d'Azur
PDL	: Pays-de-la-Loire
PMSI	: Programme de médicalisation des systèmes d'information
RSI	: Règlement sanitaire international
SpF	: Santé publique France
TIAC	: Toxi-infection alimentaire collective
TCDI	: <i>Tissue culture infectious dose</i>
USUV	: <i>Usutu virus / Virus Usutu</i>
WNV	: <i>West Nile virus / Virus West Nile</i>
YLD	: <i>Years of life with disability (années de vie avec incapacité)</i>
YLL	: <i>Years of life lost (années de vie perdues)</i>
ZIKV	: <i>Zika virus / Virus Zika</i>

Liste des tableaux

Tableau 1. Notes évaluant l'influence d'un facteur sur la probabilité d'apparition et l'ampleur d'un épisode de transmission autochtone d'arbovirus par <i>Aedes albopictus</i>	59
Tableau 2. Description des facteurs pouvant influencer la probabilité d'apparition et l'ampleur d'un épisode de transmission autochtone d'arbovirus par <i>Aedes albopictus</i>	62
Tableau 3. Définition des différents niveaux d'ampleur d'un épisode de transmission menant à une épidémie selon le GT, adapté à partir du plan anti-dissémination du chikungunya et de la dengue en France hexagonale	71
Tableau 4. Équations de recherche	75
Tableau 5. Nature des informations recherchées selon le type d'acteurs	77
Tableau 6. Taux de réponse au questionnaire par type d'acteur	78
Tableau 7. Analyse des incertitudes	159

Liste des figures

Figure 1. Cartes de présence d' <i>Aedes albopictus</i> et population exposée en France hexagonale (données SI-LAV Direction Générale de la Santé).....	28
Figure 2. Illustration du lien entre épidémies de dengue aux Antilles et l'origine des cas importés en France hexagonale (source : Santé publique France 2023).....	42
Figure 3. Nombre de cas autochtones de dengue, de fièvre à virus chikungunya et virus Zika identifiés par épisode, France hexagonale, 2010-2023 (Source : Santé publique France)....	43
Figure 4. Répartition des épisodes de transmission autochtone de dengue, de fièvre à virus chikungunya et Zika par mois de circulation, France hexagonale, 2010-2023 (source : Santé publique France).	44
Figure 5. Localisation des épisodes de transmission en 2023 en France hexagonale (données Santé publique France)	45
Figure 6. Dispositif de traitement d'un cas d'arbovirose en France hexagonale	49
Figure 7. Influence des facteurs sur l'APPARITION d'un épisode de transmission d'arbovirus par <i>Aedes albopictus</i>	65
Figure 8. Influence des facteurs sur l'AMPLEUR d'un épisode de transmission autochtone d'arbovirus par <i>Aedes albopictus</i>	68
Figure 9. Diagramme de flux de la recherche bibliographique relative aux impacts des arboviroses.....	76
Figure 10. Interactions entre une épidémie d'arbovirose dans l'Hexagone et les changements globaux	155
Figure 11.. Dynamique saisonnière d' <i>Aedes albopictus</i> conditionnée par la diapause (gauche, tiré de Lacour <i>et al.</i> , 2015) et par la température accumulée et les précipitations (droite, tiré de Roiz <i>et al.</i> , 2015).	217

Liste des encadrés

Encadré 1. Mobilisation sociale et lutte antivectorielle	50
Encadré 2. Une pluralité d'impacts : l'épidémie d'infection par le virus chikungunya à La Réunion en 2005-2006.....	79
Encadré 3. Retour d'expérience sur l'épidémie de chikungunya à La Réunion et à Mayotte en 2005-2006.....	112
Encadré 4. Des impacts sur le système de soins aggravés en cas de crises multiples : illustration en Guyane en 2024.....	113
Encadré 5. Logement et mal-logement	151

Glossaire

A

- **Arbovirus** : virus transmis par un arthropode vecteur.
- **Arthropode** : groupe taxonomique regroupant l'ensemble des animaux caractérisés par un corps segmenté dont chaque segment est muni d'une ou plusieurs paires d'appendices articulés (ailes, pattes, antennes, etc.) et recouverts d'une cuticule ou d'une carapace rigide qui constitue l'exosquelette. C'est l'embranchement qui compte le plus d'espèces dans le règne animal, regroupant l'ensemble des insectes (six pattes), acariens (huit pattes), crustacés et autres myriapodes.
- **Arthropode vecteur** : arthropode hématophage (se nourrissant de sang) assurant la transmission d'un agent infectieux (virus, bactérie, parasite) d'un vertébré à un autre vertébré. La plupart du temps l'agent pathogène se réplique à la fois dans le corps du vecteur et chez l'hôte vertébré. Le mode de transmission au vertébré est le plus souvent par piqûre ou morsure, parfois par déjection (punaises triatomes, *Trypanosoma cruzi* et maladie de Chagas, tiques et certaines rickettsioses) ou régurgitation (puces, *Yersinia pestis* et peste), parfois par combinaison des modes pré-cités. Ces vecteurs peuvent être des puces, des poux, des tiques, des simulies ou mouches noires, des taons, des glossines ou mouches tsé-tsé, des punaises, des moucherons, des phlébotomes, des moustiques.

C

- **Capacité vectorielle** : Assimilable au taux de reproduction R_0 en épidémiologie, cette quantité représente l'aptitude d'une population de vecteurs (génétiquement compétente) à assurer la transmission d'un agent infectieux à un moment donné, en un endroit donné. Elle peut être déterminée mathématiquement et estimée expérimentalement (voir section 2.2). Elle représente également la réceptivité d'une zone donnée, sa vulnérabilité en cas d'introduction d'un agent pathogène.
- **Cas autochtone de dengue, d'infection à virus chikungunya ou Zika** : Cas (suspect, probable ou confirmé) n'ayant pas voyagé en zone de circulation connue du virus dans les 15 jours précédant le début des symptômes.
- **Cas importé de dengue, d'infection à virus chikungunya ou Zika** : Cas (suspect, probable ou confirmé) ayant séjourné en zone de circulation connue du virus dans les 15 jours précédant le début des symptômes.
- **Cas suspect** :
 - concernant le virus de la dengue et chikungunya : cas ayant présenté une fièvre supérieure à 38,5°C d'apparition brutale et au moins un signe algique (céphalées, arthralgies, myalgies, lombalgie, douleurs rétro-orbitaires) en l'absence de tout autre point d'appel infectieux ;
 - concernant le virus Zika : cas ayant présenté une éruption cutanée à type d'exanthème avec ou sans fièvre, et au moins deux signes parmi les suivants : hyperhémie conjonctivales, arthralgies, myalgies, en l'absence de tout autre point d'appel infectieux.

- **Cas probable de dengue, d'infection à virus chikungunya ou Zika** : cas suspect présentant une sérologie positive avec des anticorps de type IgM (qui signent une infection récente) isolés (absence d'anticorps IgG qui apparaissent un peu plus tard et persistent des années voire à vie). La spécificité des IgM seules est souvent faible (variable selon les kits diagnostics).
- **Cas confirmé de dengue, d'infection à virus chikungunya ou Zika** : Cas suspect présentant une RT-PCR (*Reverse transcriptase - Polymerase chain reaction*) positive ou une sérologie positive (avec des anticorps de type IgM et IgG positifs) ou un antigène NS1 positif (virus de la dengue) ou une séroconversion ou une augmentation par quatre du titre des IgG sur deux prélèvements distants (virus de la dengue, chikungunya et Zika).
- **Changements globaux** : les changements globaux désignent l'ensemble des transformations qui s'observent à l'échelle de la planète entière et de ses habitants. Dans le contexte actuel, le terme se réfère plus spécifiquement aux effets de l'activité humaine sur l'environnement. Ainsi, les changements globaux désignent des évolutions à la fois sociétales et environnementales. Ils englobent les modifications environnementales comme les changements climatiques, la perte de biodiversité, la déforestation, et la dégradation des sols. Ces changements sont exacerbés par l'activité humaine, incluant l'industrialisation, l'essor des moyens de transport comme le transport aérien, l'urbanisation rapide et les mouvements de population qui influencent les dynamiques sociales et les infrastructures urbaines. Sur le plan économique, la mondialisation et les avancées technologiques modifient les marchés et les modes de vie. Ces changements sont largement interconnectés, nécessitant des solutions coordonnées pour atténuer leurs impacts.
- **Commune colonisée par *Ae. albopictus*** : La notion de commune colonisée est définie dans l'instruction n°DGS/VSS1/2019/258 relative à la prévention des arboviroses¹ : *« une commune est considérée comme colonisée par une même espèce vectrice si au moins l'un des trois critères suivants est rempli :*
 - *des œufs sont observés sur 3 relevés successifs des pièges pondoirs ;*
 - *la prospection entomologique permet l'observation de larves et/ou d'adultes dans un rayon supérieur à 150 mètres autour d'un signalement ou d'un piège positif ;*
 - *la distance entre 2 pièges positifs ou 2 signalement positifs de particuliers est supérieure à 500 m. »*

Coût direct : valorisation des ressources consommées par la prise en charge de la ou des maladies associées à la situation analysée.

Coût direct médical : valorisation des ressources consommées par la prise en charge de la ou des maladies associées à la situation analysée dans le champ sanitaire (par ex. diagnostic, séjour hospitalier, soins ambulatoires).

Coût direct non-médical : valorisation des ressources consommées par la prise en charge de la ou des maladies associées à la situation analysée en-dehors du champ sanitaire (par ex. transport des patients, hébergement des aidants à proximité des lieux de soins).

¹ <https://www.legifrance.gouv.fr/circulaire/id/44904>

Coût indirect : valorisation des ressources non directement consommées par la prise en charge (cf. coûts directs) mais rendues indisponibles par un état de santé dégradé ou par un décès prématuré (Haute Autorité de santé 2020).

Coûts intangibles : valorisation des pertes de bien-être et de qualité de vie dues à la maladie.

Coûts observés : coûts fondés sur des observations ou des estimations directes.

Coûts futurs : coûts qui ne pas encourus mais prévus (par ex. les coûts dus aux séquelles de maladies).

Coûts potentiels : coûts estimés selon des scénarios hypothétiques (par exemple, les coûts qui interviendraient si une maladie devenait endémique dans un endroit où il n'y a actuellement que des cas sporadiques, ou les coûts liés à la perte de productivité due à une mortalité prématurée).

D

Disability-adjusted life years (DALY) : indicateur composite agrégeant la perte des années de vie et de la qualité de vie du fait de la maladie.

E

Effet : voir Impact.

Épisode de transmission autochtone : survenue d'au moins un cas autochtone dans une zone géographique et à une période donnée. S'applique à toute chaîne de transmission autochtone.

Épidémie : la survenue d'un nombre de cas (humains ou animaux) d'une maladie supérieur à ce qui est attendu dans une zone géographique donnée ou dans une population pendant une certaine période de temps.

Endémique (maladie endémique) : la présence constante d'une maladie humaine ou d'un agent infectieux dans une zone géographique ou dans une population. Ce terme peut aussi faire référence à la prévalence habituelle ou attendue d'une maladie dans cette zone ou cette population.

F

Fardeau sanitaire : impact de la maladie sur la santé humaine ou sur d'autres dimensions. Il est estimé par l'indicateur DALY (*disability-adjusted life years*) qui permet de valoriser dans un seul indicateur l'impact sur la qualité de vie et la mortalité prématurée liée à la maladie. Le fardeau peut être valorisé d'un point de vue économique à travers les études de coût de la maladie.

Foyer de transmission autochtone : survenue d'au moins deux cas autochtones groupés dans le temps et l'espace (cf. Tableau 3) (voir aussi épisode de transmission autochtone). Un épisode de transmission autochtone peut comprendre plusieurs foyers géographiques épidémiologiquement liés (par exemple un cas d'un 1^{er} foyer est à l'origine d'un 2^{ème} foyer dans un lieu distinct, qu'il a fréquenté en période virémique).

H

Hexagone (ou France hexagonale) : dans ce rapport, fait référence au territoire européen de la France, y compris la Corse et les autres îles européennes.

I

Impact (ou effet) : modification d'un état due à la situation à risque.

Incidence : nombre de nouveaux cas identifiés sur une période définie.

L

Lutte antivectorielle (LAV) : lutte et protection contre les arthropodes hématophages (insectes et acariens), vecteurs d'agents pathogènes à l'homme et aux vertébrés, et leur surveillance. Elle inclut la lutte contre les insectes nuisants quand ces derniers sont des vecteurs potentiels ou lorsque la nuisance devient un problème de santé publique ou vétérinaire.

M

Mobilisation sociale : encouragement (par les ARS, les opérateurs de démoustication ou d'autres acteurs) de la population à lutter contre les vecteurs, par la suppression des gîtes larvaires notamment.

P

Perte(s) : valeur perdue des produits/services échangés sur le marché, qui dans ce cas couvre le tourisme, le commerce et la croissance économique, et sont supportés par les communautés et, dans certains cas, les individus. Les coûts associés à la prise en charge des pertes causées par *Aedes* et les maladies qu'ils transmettent.

Prévalence : nombre total de cas identifiés dans une population identifiée. La prévalence peut être évaluée à un instant donné (prévalence instantanée) ou pendant une période donnée (prévalence mensuelle, annuelle, etc.).

R

Reste à charge (*out-of-pocket*) : dépenses à la charge des patients ou des aidants après remboursement par l'assurance maladie obligatoire et les assurances complémentaires.

S

Syndrome de Guillain-Barré : maladie auto-immune inflammatoire aiguë du système nerveux périphérique, d'évolution rapide, résolutive dans la majorité des cas, provoquant une faiblesse musculaire en général limitée aux régions proximales des membres, pouvant aller jusqu'à la paralysie. Elle est accompagnée de troubles sensitifs et d'une perte des réflexes. Les patients récupèrent en général en quelques mois. Le plus souvent ce syndrome se déclenche suite à une infection bactérienne ou virale. Un lien de causalité entre l'infection par le virus Zika et l'augmentation des cas de syndrome de Guillain-Barré a pu être démontré (Cao-Lormeau *et al.* 2016).

V

Virémie : La virémie fait référence à la présence de particules virales infectieuses dans le sang d'un individu infecté. Elle peut être mesurée par la quantité de particules virales infectieuses présentes par millilitre de sang (charge virale) et par la durée pendant laquelle les virus infectieux sont détectables dans le sang (période de virémie). Elle peut varier en fonction du virus (sa capacité à se répliquer et à se propager dans l'organisme) et de la réponse de l'hôte infecté (notamment de son système immunitaire).

1 Contexte, objet et modalités de réalisation de l'expertise

1.1 Contexte

Les arboviroses sont des infections virales dont les virus sont transmis par des arthropodes vecteurs. Elles constituent une menace de santé publique en hausse dans le monde ces dernières décennies (Messina *et al.* 2019). En France hexagonale² et plus globalement en Europe, le nombre de cas humains d'infections par des arbovirus transmis par les moustiques *Aedes albopictus* (comme la dengue, la fièvre à virus chikungunya, la fièvre à virus Zika) ou *Culex* spp. (comme la fièvre du Nil Occidental) identifiés par le dispositif de surveillance épidémiologique est en augmentation.

Depuis les premières détections dans les Alpes Maritimes en 2004, la colonisation du territoire hexagonal par le moustique tigre *Aedes albopictus* a été continue. Début 2024, il était implanté dans 78 départements de l'Hexagone³. La part de la population exposée au moustique tigre augmente parallèlement à cette avancée. En 2023 45 % de la population de France hexagonale résidait dans des communes colonisées et était donc exposée à un risque de transmission vectorielle.

Des vecteurs historiquement présents sur le territoire hexagonal, comme les moustiques du genre *Culex*, peuvent transmettre des arbovirus qui font aussi l'objet d'une surveillance et de mesures de prévention. C'est le cas du virus West Nile (WNV) (à l'origine de cas de fièvre du Nil Occidental), responsable d'épidémies tous les ans en Europe depuis les années 2000 et dont l'impact a été particulièrement marqué en 2018 et en 2023. Plus récemment, des cas d'infection par le virus Usutu (USUV) ont été identifiés en Europe⁴.

Le système de surveillance des arboviroses repose principalement sur la déclaration obligatoire (DO) des cas humains aux Agences Régionales de Santé (ARS) et à Santé publique France (SpF), complétée par un dispositif de surveillance renforcée pendant la période d'activité des vecteurs (entre le 1^{er} mai et le 30 novembre), et vise à une intervention rapide autour des cas détectés. Ces dispositifs ont contribué de manière efficace à prévenir les départs d'épidémies et limiter la taille des foyers de transmission autochtone. En 2022 et 2023, une nette augmentation du nombre de foyers et de cas autochtones de dengue, ainsi que leur extension à de nouveaux départements à l'ouest de la région Occitanie (Cochet *et al.* 2022) et en Île-de-France (Fournet *et al.*, 2024) a été observée. Celle-ci a confirmé l'augmentation du risque de transmission autochtone d'arbovirus par *Aedes albopictus* dans l'Hexagone et mis en tension les services locaux chargés des enquêtes épidémiologiques et de lutte antivectorielle (LAV).

² Dans l'ensemble du rapport, la France hexagonale désigne le territoire européen de la France (Corse et îles bretonnes comprises).

³ <https://sante.gouv.fr/sante-et-environnement/risques-microbiologiques-physiques-et-chimiques/especes-nuisibles-et-parasites/article/cartes-de-presence-du-moustique-tigre-aedes-albopictus-en-france-metropolitaine>.

⁴ <https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/surveillance-prevention-and-control-west-nile-virus-and-usutu-virus-infections>.

L'intensification de la transmission des arbovirus sur le territoire hexagonal soulève la question des impacts sanitaires et socio-économiques qu'une épidémie pourrait avoir en fonction des niveaux de transmission observés.

1.2 Objet de la saisine

Dans ce contexte, l'Agence nationale de sécurité sanitaire (Anses) a été saisie le 3 août 2022 par la Direction générale de la santé (DGS) pour une demande d'avis sur l'évaluation de la probabilité d'apparition d'épidémies dues à des arbovirus transmis par les moustiques en métropole et leurs impacts sur la santé et l'économie (voir Annexe 1, lettre de saisine).

Les questions de la saisine sont les suivantes :

1. « évaluer la probabilité d'apparition d'épidémies d'arboviroses transmises par les moustiques (*Aedes albopictus* ou *Culex*) en métropole ;
2. estimer l'ampleur d'une éventuelle épidémie ;
3. évaluer les impacts socio-économiques de ces épidémies (dont les impacts sur la santé humaine, le système de santé et les activités économiques – tourisme, arrêts de travail, etc.– et sociales notamment). »

1.3 Modalités de traitement de la saisine : moyens mis en œuvre et organisation

1.3.1 Organisation de l'expertise

L'Anses a confié au groupe de travail (GT) « Arboviroses et impacts » l'instruction de cette saisine. Ce GT a été créé après appel à candidature public et rattaché aux comités d'experts spécialisés (CES) « ASE – Analyse socio-économique » et « SABA – Santé et bien-être des animaux ».

Ces travaux sont ainsi issus d'un collectif d'experts aux compétences pluridisciplinaires et complémentaires (épidémiologie, santé publique, surveillance, *One Health* - Une seule santé, entomologie médicale, arboviroses, virologie, épidémiologie économique, économie de la santé, système de santé, économie de l'environnement). La mise en commun des contributions et des échanges s'est tenue en réunions de GT, à raison d'environ une réunion par mois de janvier 2023 à juin 2024.

Les travaux du GT ont été soumis régulièrement aux CES ASE et SABA, tant sur les aspects méthodologiques que scientifiques. Le rapport produit par le GT tient compte des observations et éléments complémentaires transmis par les membres des CES ASE et SABA. Le GT vecteurs a également été associé aux travaux du GT en charge de cette saisine, dans son champ de compétence.

Les travaux du GT « Arboviroses et impacts » ont été adoptés en CES SABA le 2 juillet 2024 (chapitres 2 et 3) et en CES ASE le 4 juillet 2024 (chapitres 1, 4, 5 et 6).

L'expertise a été réalisée dans le respect de la norme NF X 50-110 « Qualité en expertise – prescriptions générales de compétence pour une expertise (mai 2003) ».

1.3.2 Limites du champ de l'expertise

Zone géographique

D'un point de vue géographique, comme dans la demande de la saisine, seul le territoire de la France hexagonale a été considéré.

Vecteurs

Le rapport d'expertise ne porte que sur les arbovirus transmis par les moustiques de l'espèce *Aedes albopictus*. Les autres vecteurs (autres moustiques, tiques, phlébotomes, culicoïdes, etc.) ainsi que les agents pathogènes qu'ils peuvent transmettre sont hors du champ de la saisine.

Concernant les autres espèces du genre *Aedes*, notamment *Aedes aegypti* :

Ces espèces sont considérées comme hors du champ de la saisine. En effet, bien qu'*Ae. aegypti* soit un vecteur majeur du virus de la dengue et d'autres arbovirus comme le virus de la fièvre jaune dans le monde (Gratz 2004; Vazeille *et al.* 2003; Gabiane, Yen et Failloux 2022), l'espèce n'est actuellement pas présente sur le territoire hexagonal. *Ae. aegypti* est arrivé à Nice en 1917 (Blanchard 1917) mais a disparu du territoire dans les années 1950. Cette disparition est attribuée soit aux traitements au dichlorodiphényltrichloroéthane (DDT) mis en place à cette époque pour lutter contre d'autres espèces de moustiques, soit aux changements de mode de vie des populations humaines (disparition ou diminution des gîtes larvaires potentiels) (Holstein 1967). Les autres espèces du genre *Aedes* invasives et signalées en Europe sont, au moment de la réalisation de ces travaux⁵ :

- signalées en France mais absentes d'autres pays européens : *Ae. triseriatus* ;
- signalées comme sporadiquement importées mais éliminées en France et installées dans d'autres pays européens limitrophes : *Ae. atropalpus*, *Ae. koreicus* (Giunti *et al.* 2023) ;
- détectées et installées en France mais ne sont pour le moment pas des vecteurs d'intérêt prioritaire : *Ae. japonicus*⁶ (Fontenille, Jourdain et Perrin 2013).

Concernant les moustiques du genre *Culex* :

Le texte de la saisine mentionne « *Aedes albopictus* ou *Culex* ». Le GT a fait le choix après discussion avec le demandeur de ne traiter dans cette saisine que les arbovirus transmis par *Aedes albopictus* et de ne pas traiter ceux transmis par *Culex* spp. dans ses travaux.

Les infections à virus *West Nile* et Usutu transmises par *Culex* spp. sont des zoonoses avec un cycle épidémiologique complexe impliquant :

- des réservoirs aviaires ;

⁵ La présence ou absence de ces espèces est rapportée par l'ECDC. <https://www.ecdc.europa.eu/en/disease-vectors/surveillance-and-disease-data/mosquito-maps> et <https://www.ecdc.europa.eu/en/disease-vectors/facts/mosquito-factsheets>

⁶ Ce vecteur, qui n'est pas considéré comme une espèce vectrice majeure sur son aire d'origine, pourrait jouer un rôle dans la transmission du virus West Nile, de la dengue ou du chikungunya (compétence démontrée en laboratoire). Il pourrait également être à l'origine de nuisances.

- des espèces mammifères sensibles mais considérées comme culs-de-sac épidémiologiques ;
- un vecteur résidant notamment dans des zones humides, habitats très riches en biodiversité dont de nombreux sites protégés (notamment grâce à la convention de Ramsar⁷), ayant des conséquences sur les modes de gestion possibles ;
- une grande diversité de lignées et de souches pouvant circuler simultanément, notamment dans les zones d'endémicité de ces deux virus.

De plus, en comparaison aux arbovirus transmis par les moustiques du genre *Aedes*, les travaux sur *Culex* spp. présentent davantage d'incertitudes scientifiques qui demandent une expertise plus large.

Les experts du GT ont donc considéré que le temps imparti pour réaliser les travaux ne suffisait pas pour traiter à la fois les arbovirus transmis par *Ae. albopictus* et ceux transmis par *Culex* spp. Ils ont fait le choix de prioriser les travaux d'expertise sur *Ae. albopictus*, la saison de transmission 2022 ayant marqué une évolution en termes d'augmentation de la transmission autochtone du virus de la dengue.

Impacts environnementaux des traitements chimiques utilisés en lutte anti vectorielle contre *Ae. albopictus*

L'évaluation des impacts environnementaux des traitements chimiques de la LAV ne fait pas partie de la demande de la saisine et n'a donc pas été traitée par le GT.

Ces impacts sont cependant un élément majeur de la LAV et des inquiétudes ont à plusieurs reprises été mentionnées par des acteurs de terrain interrogés au cours des travaux du GT. Le GT recommande de traiter ces impacts dans un travail spécifique et s'appliquant aussi aux autres moustiques concernés par la LAV.

1.3.3 Moyens mis en œuvre

Les questions 1 et 2 de la saisine ont été traitées sur la base de publications sélectionnées sur avis d'experts par le GT. La méthodologie de notation employée est détaillée dans le chapitre 3.

La question 3 de la saisine a été principalement alimentée par une revue systématique de la littérature et l'interrogation d'acteurs de terrain directement impliqués dans la gestion des arboviroses en France hexagonale et dans les DROM⁸.

Les méthodes mises en œuvre au cours de l'expertise étant spécifiques aux questions posées, elles sont présentées dans les parties correspondantes.

⁷ <https://www.ramsar.org/>

⁸ Dans ce rapport, le terme DROM (départements et régions d'Outre-Mer) est retenu, bien qu'il puisse également renvoyer dans certains cas aux collectivités d'Outre-Mer (COM) concernées par les arboviroses transmises par *Aedes albopictus*.

1.4 Prévention des risques de conflits d'intérêts

L'Anses analyse les liens d'intérêts déclarés par les experts avant leur nomination et tout au long des travaux, afin d'éviter les risques de conflits d'intérêts au regard des points traités dans le cadre de l'expertise.

Les déclarations d'intérêts des experts sont publiées sur le site internet <https://dpi.sante.gouv.fr/>.

Un expert du groupe de travail a noué en cours d'expertise un nouveau lien d'intérêt susceptible de générer un conflit sur les questions 1 et 2, après la finalisation des réponses aux questions. Cet expert n'a pas participé aux discussions portant sur les recommandations relatives aux questions 1 et 2.

2 *Aedes albopictus* et arboviroses associées

En 2024, *Aedes albopictus*, appelé communément moustique tigre, est le seul vecteur connu comme étant capable d'assurer la transmission interhumaine du virus de la dengue, du virus chikungunya et du virus Zika présent en France hexagonale.

2.1 Biologie, écologie, distribution d'*Aedes albopictus*

2.1.1 Bio-écologie d'*Aedes albopictus*

Ae. albopictus est une espèce invasive particulièrement adaptable, capable de résister à des hivers froids, et dotée d'une forte prolificité (la femelle peut pondre plusieurs centaines d'œufs au cours de sa vie dans des conditions optimales). En Europe, cette espèce se rencontre principalement dans des habitats urbains ou périurbains.

❖ Cycle de développement

Ae. albopictus est un moustique de container : ses larves se développent dans de petites collections d'eau temporaires d'origine naturelle (phytotelmes⁹, creux d'arbre ou de rochers, etc.) ou artificielle (pneus, coupelles, récupérateurs d'eau, avaloirs, gouttières, etc.).

La femelle fécondée peut pondre une centaine d'œufs tous les quatre à cinq jours. Les œufs sont déposés à la limite air-eau, sur deux ou trois sites de ponte (ponte fractionnée). Les œufs sont capables de résister à la dessiccation pendant plusieurs semaines, voire quelques mois (résistance aux périodes de sécheresse). Ils peuvent entrer en diapause hivernale et résister à des températures de -10°C pendant quelques heures (Thomas *et al.* 2012).

Après éclosion des œufs au contact de l'eau, une première phase aquatique a lieu avec succession de quatre stades larvaires et un stade nymphal. Cette première phase dure de sept à 28 jours en moyenne (entre 12 et 32°C), l'augmentation de température accélérant le développement des larves (Briegel et Timmermann 2001). Après émergence, l'adulte prend un repas sucré à base de nectar, et l'accouplement a lieu. La femelle *Aedes* n'est en général fécondée qu'une fois au cours de sa vie. Elle doit ensuite prendre un repas sanguin avant chaque ponte pour obtenir les protéines nécessaires à la maturation des œufs. Seules les femelles sont hématophages, les mâles se nourrissant exclusivement de jus sucrés. Une femelle adulte peut vivre jusqu'à un mois et pique en général durant la journée, à l'extérieur. Les adultes se dispersent peu et restent en général dans un rayon de 150 mètres autour de leur lieu d'éclosion. Leur comportement diurne et leur capacité à déposer leurs œufs sur de nombreux supports les rendent en revanche particulièrement propices au transport passif sur de longues distances (Renault *et al.* 2023).

⁹ Microhabitat aquatique constitué d'une petite quantité d'eau douce contenue dans une plante terrestre.

❖ Préférences trophiques des femelles

Aedes albopictus est un moustique anthropophile qui pique préférentiellement les êtres humains, mais peut également prendre son repas de sang sur d'autres mammifères à sang chaud (chiens, chats, rongeurs, lagomorphes, etc.) et plus rarement sur les oiseaux (Delatte *et al.* 2010; Pereira dos Santos *et al.* 2020; Fikrig et Harrington 2021). Par exemple, 95 % des repas sanguins d'*Ae. albopictus* capturés à l'état sauvage dans des sites périurbains au Cameroun contenaient du sang humain et très peu de moustiques ont été trouvés avec des repas de sang mixte humain-animal (Kamgang *et al.* 2012). Cette préférence apparente pour les humains confirme qu'*Ae. albopictus* peut jouer un rôle important dans la transmission des arbovirus entre humains.

Il est aussi important de remarquer son comportement alimentaire interrompu (Delatte *et al.* 2010), avec de multiples sujets humains piqués en un jour par une femelle moustique, qui augmente ainsi sa capacité vectorielle pour la transmission interhumaine des arbovirus.

Ae. albopictus est surtout actif pendant la journée, avec un pic d'agressivité à l'aube et au crépuscule. Ces plages horaires ont toutefois tendance à s'étendre, et leur amplitude varie en fonction de la latitude et de l'altitude (Romiti *et al.* 2022; Anses 2024).

2.1.2 Distribution en France hexagonale

Aedes albopictus est arrivé en France à Menton, depuis l'Italie, en 2004 (Delaunay *et al.* 2007) (voir aussi la section 4.4.). Depuis, *Ae. albopictus* progresse vers le nord et l'ouest de la France, en suivant les principaux axes de communication. La période d'activité des adultes sur le territoire s'étend traditionnellement de début mai à fin novembre, mais les détections précoces (dès début avril) et tardives (jusqu'en décembre) favorisées par les changements climatiques sont de plus en plus fréquentes (Petrić *et al.* 2021).

Au 1^{er} janvier 2024, 78 départements (sur les 96 départements hexagonaux) présentent au moins une commune officiellement colonisée (cf. Figure 1A).

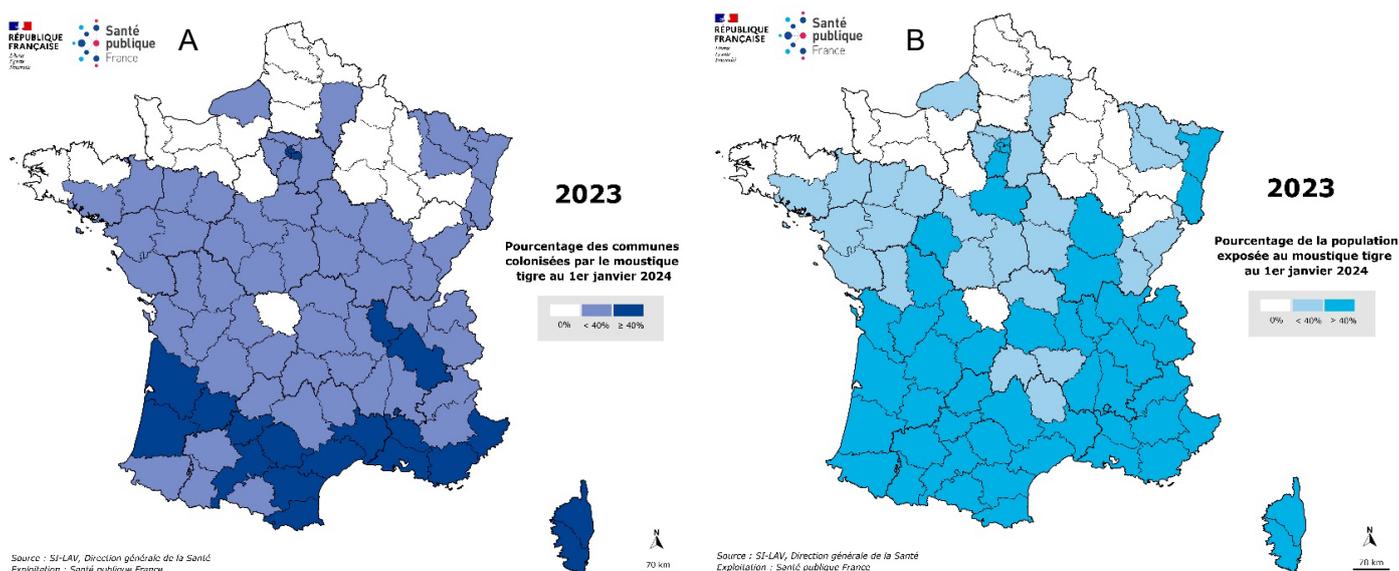


Figure 1. Cartes de présence d'*Aedes albopictus* et population exposée en France hexagonale (données SI-LAV Direction Générale de la Santé).

A-Pourcentage des communes du département colonisées par le moustique tigre au 1^{er} janvier 2024.

B-Pourcentage de la population du département exposée au moustique tigre au 1^{er} janvier 2024.

Les nouvelles communes colonisées sont identifiées soit par prospection entomologique (prospections des opérateurs de démoustication (OpD) et réseau de pièges pondoirs), soit par les signalements de particuliers par le site signalement-moustiques¹⁰. Ce mode de détection non systématique, qui repose sur des recherches entomologiques ciblées et la participation citoyenne, explique que certaines communes puissent encore être considérées comme non colonisées au sein de départements très fortement colonisés (absence de signalement citoyens ou de prospection).

La situation évolue cependant rapidement sur le terrain, la dispersion du moustique tigre s'effectuant en tâches d'huiles (dispersion naturelle), ainsi que par bonds grâce aux déplacements humains (camions, voitures, trains, etc.).

Un département est considéré colonisé dès qu'une commune de ce département est colonisée. Comme illustré sur la Figure 1A, une grande partie du territoire français n'est que partiellement colonisée par *Ae. albopictus*. Au sein des départements comme des communes colonisées, la proportion de la population exposée au risque de piqûre est très hétérogène, et le niveau réel d'exposition dépend également d'autres facteurs liés notamment aux comportements individuels (activités en extérieur, utilisation de protections individuelles, etc.), à l'environnement (météo, végétation, etc.) et à la bio-écologie des moustiques (horaires d'agressivité qui peuvent varier en fonction du contexte et évoluer dans le temps, densité locale de moustiques, etc.). La part de la population exposée augmente cependant d'année en année.

Synthèse

Aedes albopictus est une espèce de moustiques invasive vectrice notamment des virus de la dengue, du chikungunya et Zika. Rencontrée principalement dans des habitats urbains ou périurbains en Europe, cette espèce est surtout active en journée, et les femelles hématophages piquent fréquemment et préférentiellement les êtres humains.

Arrivé en 2004, *Ae. albopictus* colonise progressivement le territoire de la France hexagonale, avec les trois quarts des départements colonisés en moins de 20 ans. L'exposition des populations au risque de piqûre augmente donc d'année en année, mais varie cependant entre et au sein des communes et en fonction de facteurs liés aux comportements individuels, à l'environnement (météo, végétation) et à la bio-écologie des moustiques.

2.2 Généralités sur la transmission vectorielle par *Aedes albopictus*

Pour qu'il y ait transmission vectorielle, une femelle *Ae. albopictus* doit s'infecter en piquant un hôte vertébré virémique dont le sang contient des particules infectieuses du virus en quantité suffisante. Après avoir franchi plusieurs épithélia¹¹ au sein desquels il se multiplie

¹⁰ https://signalement-moustique.anses.fr/signalement_albopictus/

¹¹ Epithélium : tissu constitué de cellules juxtaposées ou jointives, pouvant assurer une fonction glandulaire (émission de substance hors d'un organe) ou marquer la bordure avec un tissu (épithélium de revêtement, comme dans la paroi intestinale de l'insecte).

activement, le virus gagne les glandes salivaires de la femelle, qui devient infectante. Elle transmettra alors le virus à tout nouvel hôte qu'elle piquera, jusqu'à la fin de sa vie. La transmission verticale de virus d'une femelle à sa descendance n'a été mise en évidence qu'en de rares occasions et joue probablement un rôle très modeste dans la dynamique de transmission (Lequime et Lambrechts 2014; Ferreira-de-Lima et Lima-Camara 2018).

L'aptitude d'une espèce de moustique à assurer la transmission d'un virus définit sa compétence vectorielle pour ce virus. La durée du développement du virus dans son vecteur est appelée période de développement extrinsèque (*extrinsic incubation period - EIP*, en anglais). Ces deux paramètres sont modulés par des interactions Génotype_virus x Génotype_vecteur x Environnement qui reflètent la coévolution des virus et de leurs vecteurs.

Le système vectoriel implique ainsi des populations d'*Ae. albopictus* compétentes, des arbovirus circulants (tels que virus de la dengue, virus chikungunya, virus Zika) et des hôtes humains réceptifs à l'infection dans un environnement (paysage et climat) adéquat (Fontenille *et al.* 2009). L'intensité de la transmission, assimilable au taux de reproduction de base du virus (R_0), peut être estimée par l'équation de la capacité vectorielle, d'après le modèle de Ross-Macdonald (McDonald 1961) modifié par Black et Moore (Black et Moore 1996) :

Équation 1 :

$$V_c = \frac{ma^2 b p^n}{-\ln(p)}$$

m : densité ou abondance vectorielle ; *a* : nombre des sujets humains piqués en un jour par une femelle moustique ; *b* : compétence vectorielle : taux d'infection fois taux de transmission, ou proportion des piqûres par des vecteurs infectés qui sont réellement infectantes ; *p* : probabilité quotidienne de survie d'un vecteur ; *n* : durée de la période extrinsèque d'incubation ; $1/\ln(p)$ quantifie l'espérance de vie infectieuse du vecteur.

Cette équation reflète le fait que l'abondance (*m*) et la compétence vectorielle (*b*) des populations de moustiques influencent le taux de reproduction de l'arbovirus de manière linéaire, donc relativement faiblement. En revanche, les préférences trophiques du vecteur (*a*), la longévité du vecteur (*p*) et l'EIP (*n*) l'influencent de manière beaucoup plus importante, apparaissant sous la forme d'un carré ou d'une exponentielle.

Ces paramètres peuvent varier en fonction de facteurs extrinsèques aux moustiques, tels que la température, la biodisponibilité en hôtes ou encore la souche virale impliquée (Zouache *et al.* 2014).

2.3 Virus transmis par *Aedes albopictus* et maladies associées

2.3.1 Virus de la dengue

2.3.1.1 Agent étiologique

Le virus de la dengue, appartenant à la famille des *Flaviridae*, est un virus à ARN de polarité positive du genre *Orthoflavivirus* transmis par les moustiques du genre *Aedes*, notamment *Ae. aegypti* (actuellement absent de France hexagonale) et *Ae. albopictus*. D'autres *Orthoflavivirus* sont transmis par des moustiques *Aedes*, notamment le virus Zika et le virus de la fièvre jaune.

Le virus de la dengue comprend quatre sérotypes différents (DENV1 à DENV4) pour lesquels il n'existe pas d'immunité croisée durable (une immunité croisée est possible les premiers mois après l'infection). Une personne infectée par un sérotype de virus de la dengue pourra être de nouveau infectée par un autre sérotype, le risque de développement de dengue sévère étant plus important lors d'une 2^{ème} infection (Wilder-Smith *et al.* 2019).

2.3.1.2 Épidémiologie et transmission

La dengue est endémique dans la zone intertropicale et près de la moitié de la population mondiale est à risque d'infection. Au cours des dernières décennies, le nombre de cas dans le monde a considérablement augmenté avec des épidémies majeures dans les zones endémiques (Brady *et al.* 2012; WHO 2023a; 2023b; Paz-Bailey *et al.* 2024). L'OMS rapporte que le nombre de cas a culminé en 2023 avec plus de 6,5 millions d'individus infectés dans le monde. Depuis le début de l'année 2024 un record historique est atteint avec plus de 8 millions d'individus infectés au 30 avril 2024¹².

Cette situation se retrouve dans les territoires ultramarins français situés en zone tropicale. La dengue est endémo-épidémique dans les Antilles françaises et en Guyane où des épidémies sévissent régulièrement (L'Azou *et al.* 2014; Santé publique France 2023). En 2024, alors que l'OMS lançait une alerte sur les épidémies de dengue affectant le continent latino-américain et notamment le Brésil (PAHO/WHO 2024), une épidémie débutée en octobre 2023 en Guyane a atteint en janvier et février 2024 des niveaux jamais atteints depuis la mise en place du système de surveillance en 2006 (Santé publique France 2024).

À La Réunion, après une quarantaine d'années de transmission sporadique, quatre vagues épidémiques ont frappé l'île en 2018, 2019, 2020 et 2021 (Vincent *et al.* 2023). À Mayotte, l'épidémie la plus importante, après plusieurs années caractérisées par des épisodes limités de transmission, a sévi en 2020 avec plus de 4 000 cas (Santé publique France 2020; Hafsia *et al.* 2022). En Europe et en France hexagonale, de nombreux cas importés sont signalés chaque année, conséquence de l'augmentation du nombre de cas observés chaque année dans le monde et du nombre de voyageurs.

Depuis 2010, en zone tempérée, des épisodes de transmission autochtone du virus de la dengue sont régulièrement identifiés en Europe du Sud (cf. paragraphes 2.4.1 et 2.4.2) mais aussi au Japon en 2014 (Kutsuna *et al.* 2015).

La transmission du virus de la dengue se fait essentiellement par voie vectorielle à partir de personnes virémiques mais elle est aussi possible par les produits du corps humain (sang, organes, tissus et cellules) (Cedano *et al.* 2019; Rosso *et al.* 2019; Lecadiou *et al.* 2021), ainsi que lors d'accident d'exposition au sang, par exemple lorsque des soignants se piquent avec des aiguilles souillées lors de pratique d'actes de soin (Morgan *et al.* 2015). La transmission de la mère au fœtus pendant la grossesse ou autour de l'accouchement a été documentée (Basurko *et al.* 2018; Hcini *et al.* 2024). Par ailleurs, deux cas de transmission sexuelle ont été récemment publiés (Grobusch *et al.* 2020).

¹² <https://www.who.int/emergencies/disease-outbreak-news/item/2024-DON518>.

Chez le moustique, la durée de la phase dite extrinsèque de multiplication du virus varie entre deux et dix jours selon le virus considéré et la température (qui peut accélérer ou ralentir la multiplication virale au sein du vecteur, l'augmentation de la température accélérant la multiplication du virus jusqu'à un seuil critique, dépendant du vecteur et du virus, au-delà duquel la multiplication virale décroît rapidement) (Delatte *et al.* 2008). Chez l'être humain, la période d'incubation est de deux à 15 jours (en moyenne quatre à sept jours). La période de virémie dure en moyenne huit à dix jours, elle commence un à deux jours avant le début des symptômes et se termine après sept jours en moyenne (pouvant aller jusqu'à 12 jours). Ces durées peuvent varier en fonction de l'hôte, des sérotypes et des souches virales, et selon que l'infection est primaire ou secondaire (Duyen *et al.* 2011).

La concentration minimale de virus dans le sang requise pour permettre la transmission est estimée à environ 10^5 TCID₅₀/mL¹³, cette dose pouvant varier selon les virus et les souches impliquées. Chez les personnes asymptomatiques, la durée de la virémie et l'intensité de la transmission sont encore mal connues. Néanmoins, il a été montré que la virémie chez les personnes asymptomatiques est moins élevée que chez les personnes symptomatiques mais suffisante pour infecter un moustique, elle peut par ailleurs se maintenir jusqu'à deux semaines (Duong *et al.* 2015; Matangkasombut *et al.* 2020). De plus, le fait que ces personnes ne se protègent pas des moustiques pendant leur infection asymptomatique peut fortement contribuer au cycle de transmission du virus de la dengue (Duong *et al.* 2015). Selon certaines études, les patients asymptomatiques pourraient contribuer jusqu'à 84 % de l'ensemble des transmissions (Halstead 2019).

2.3.1.3 Aspects cliniques

L'infection par le virus de la dengue ne provoque pas systématiquement de symptômes. Le pourcentage de cas asymptomatiques ou paucisymptomatiques (ne présentant que très peu de symptômes) varie selon les souches virales, l'âge du patient, l'exposition antérieure au virus ou encore la réponse immunitaire individuelle des patients infectés (Nikolich-Zugich *et al.* 2021; Vahey *et al.* 2021). La plupart des études, réalisées en zone d'endémie, rapportent de 50 à 90 % d'infections asymptomatiques ou paucisymptomatiques (suivant les travaux et les populations étudiées) (Grange *et al.* 2014; Wang *et al.* 2015; Chikaki et Ishikawa 2009; Wilder-Smith *et al.* 2019; ECDC 2023b; WHO 2023a; De Santis, Bouscaren et Flahault 2023) Très peu d'études sont disponibles sur des populations comparables à la population hexagonale (population naïve dans des milieux socio-économiques comparables). De Santis *et al.* (De Santis *et al.* 2023) obtient toutefois des pourcentages plus faibles dans une étude conduite à la Réunion, zone non endémique à l'époque de l'étude (2020), avec une proportion de cas asymptomatiques de 29 % parmi les individus présentant une infection récente (sur des critères sérologiques, IgM positives) dans un rayon de 100 m autour du cas index¹⁴

Les signes cliniques de la dengue les plus couramment rapportés sont peu spécifiques : fièvre d'apparition brutale pouvant être associée à des maux de têtes, myalgies, arthralgies, éruption cutanée maculo-papulaire. Après trois ou quatre jours, une phase de rémission est souvent observée, puis les symptômes peuvent s'intensifier avec des symptômes hémorragiques

¹³ TCDI : *Tissue culture infectious dose*.

¹⁴ Un cas index correspond au premier individu chez qui une infection par un agent pathogène donné a été documenté au cours d'une épidémie ou d'un foyer épidémiologique au sein d'une population donnée.

mineurs (hémorragies conjonctivales, ecchymoses, etc.). Les symptômes régressent généralement en une dizaine de jours (ECDC 2023b; Paz-Bailey *et al.* 2024).

Dans certains cas, les symptômes peuvent évoluer vers des formes sévères avec fuite plasmatique, choc hypovolémique, défaillance viscérale et hémorragies. Ces formes peuvent être fatales en l'absence de traitement adapté. Leur proportion est variable et peut concerner 2 à 5 % des patients (Paz-Bailey *et al.* 2024). La classification de l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) de 2009 distingue la dengue sans signe d'alerte, la dengue avec signes d'alerte et la dengue sévère (WHO 2009).

Les mécanismes de déclenchement de dengue sévère sont mal connus. Les dengues sévères sont plus fréquentes en cas de dengue secondaire. Des phénomènes immunologiques de facilitation de l'infection par des anticorps (*Antibody-dependent enhancement* ou ADE en anglais) sont classiquement considérés à l'origine de la survenue des formes sévères lors des infections secondaires (Wilder-Smith *et al.* 2019; ECDC 2023b; WHO 2023a). De plus l'existence de comorbidités, en particulier de maladies chroniques (diabète, maladies cardiaques, pulmonaires et rénales, drépanocytose) augmente le risque de formes sévères (Sangkaew *et al.* 2021; Vincent *et al.* 2023). L'âge, le sérotype et le génotype viral mais aussi le système de soins auquel le patient a accès influencent le risque de développement de formes sévères. A l'inverse, les cas de dengue sévère sont moins souvent observés lors de la troisième ou quatrième infection d'un même individu.

La dengue peut être fatale, même si dans les pays disposant de services de santé performants et accessibles, notamment de services de réanimation, les patients atteints de formes sévères guérissent le plus souvent. La létalité varie selon les territoires et les épidémies, sa mesure dépend aussi des systèmes de surveillance et de soins (déclaration des cas et des décès, caractère attribuable du décès à la dengue). L'OMS rapporte une létalité globale à 0,06% en 2019 et 0,05% en 2024¹⁵. Dans les DROM, Vincent *et al.* (2023) ont mis en évidence une létalité de 0,03 à 0,07 % des cas cliniquement évocateurs lors des vagues épidémiques de 2018 à 2021 à la Réunion. La létalité était de 0,02 % à 0,05 % des cas cliniquement évocateurs aux Antilles françaises (données SpF sur les épidémies de 2005 à 2020). En Guyane elle était de 0,01 à 0,05 % lors des épidémies de 2009 à 2013 (Flamand *et al.* 2017).

Classiquement la dengue ne donne pas de séquelles notables, hormis celles qui peuvent suivre un séjour en réanimation. Des cas d'asthénies prolongées, longtemps méconnus dans les viroses aiguës, avec une convalescence de plusieurs semaines, voire plusieurs mois sont néanmoins évoqués chez certains patients (Pr. R. Césaire, Pr. A Cabié, communications personnelles).

Une autre complication de la dengue, la dengue ophtalmique, peut apparaître. Ces atteintes ophtalmiques, déjà connues, ont notamment été identifiées à La Réunion en 2020. L'évolution de la dengue ophtalmique est incertaine.

Concernant les conséquences pour la mère et l'enfant d'une infection par le virus de la dengue pendant la grossesse, les connaissances sont assez limitées à ce stade. Certains travaux peuvent souffrir de biais méthodologiques, comme la non-prise en compte de facteurs confondants (Basurko *et al.* 2018). Les travaux récents montrent un effet délétère. Ainsi, dans leur revue de littérature systématique et leur méta-analyse, Paixão *et al.* (Paixão *et al.* 2022) concluent que la dengue symptomatique pendant la grossesse pourrait avoir des conséquences délétères pour le fœtus. Pour le Brésil, Koppensteiner et Menezes (2024)

¹⁵ https://worldhealthorg.shinyapps.io/dengue_global/

montrent un effet négatif sur le poids à la naissance et la santé de l'enfant pendant les premières années de vie.

Le traitement des patients est symptomatique, aucun traitement antiviral spécifique n'existe actuellement.

2.3.2 Virus chikungunya

2.3.2.1 Agent étiologique

Le virus chikungunya est un virus à ARN de polarité positive qui appartient à la famille des *Togaviridae*. Il existe trois lignages, initialement caractérisés par leur répartition géographique : Asie, Afrique de l'Ouest, et Afrique Est-Centre-Sud (ECSA). Certaines souches de ce dernier lignage possèdent des mutations conférant une adaptation particulière à *Ae. albopictus*, dont la mutation E1-226V (Tsetsarkin *et al.* 2007; Vega-Rúa *et al.* 2020).

2.3.2.2 Épidémiologie et transmission

Le virus chikungunya sévit dans l'ensemble de la zone intertropicale (WHO 2022a). Initialement présent en Afrique et en Asie, il a diffusé à l'Océan Indien en 2005-2006 où il a été responsable d'une épidémie majeure sur l'île de La Réunion et à Mayotte (Renault *et al.* 2007; Sissoko *et al.* 2008) puis a atteint la Caraïbe et l'ensemble du continent sud-américain en 2013 (Weaver et Forrester 2015). La première détection dans cette zone avait été faite par le dispositif de surveillance français sur l'île de Saint Martin (Cassadou *et al.* 2014). Depuis, le virus circule de façon endémique en Amérique du Sud avec des périodes de transmission plus intense comme en 2023 avec l'émission d'une alerte par l'OMS¹⁶. Il n'y a plus eu de transmission de virus chikungunya dans les territoires ultramarins français depuis 2014 en Guyane et dans les Antilles françaises, depuis 2012 à Mayotte (résurgence limitée à une dizaine de cas) et depuis 2010 à La Réunion (résurgences avec moins de 200 cas). En zone tempérée, des épisodes de transmission autochtone sont observés depuis 2010 en Italie et en France (paragraphe 2.4.1 et 2.4.2).

La transmission du virus chikungunya se fait essentiellement par voie vectorielle à partir de personnes virémiques. Il y a cependant un risque de transmission maternofoetale en période périnatale, si la mère est infectée dans les derniers jours de la grossesse et virémique au moment de l'accouchement, l'infection néonatale pouvant être sévère (Gérardin *et al.* 2014; Hcini *et al.* 2024; Basurko *et al.* 2022).

Le virus chikungunya est théoriquement transmissible par les produits du corps humain en période virémique. Aucun cas de transmission par transfusion n'a été publié, mais des cas de transmission par transplantation d'organe l'ont été, sans complications (Rosso *et al.* 2018; Pozzetto *et al.* 2023).

¹⁶ <https://www.who.int/fr/emergencies/disease-outbreak-news/item/2023-DON448>.

2.3.2.3 Aspects cliniques

La part des formes asymptomatiques et paucisymptomatiques de l'infection par le virus chikungunya est estimée entre 20 % et 40 % selon les études (CDC 2023; ECDC 2017; Moro *et al.* 2010; Gay *et al.* 2016; Rueda *et al.* 2019).

L'incubation est d'un à 12 jours (en général trois à sept jours). Les signes cliniques les plus couramment rapportés sont peu spécifiques : fièvre d'apparition brutale pouvant être associée à des arthralgies, le plus souvent symétriques, une éruption cutanée, une asthénie. Les arthralgies peuvent être particulièrement intenses lors de fièvre à virus chikungunya. La phase aiguë dure une dizaine de jours. Depuis l'épidémie qui a frappé l'île de La Réunion, le spectre clinique de la maladie a été mieux décrit, notamment les complications chroniques et les formes sévères. Dans 30 à 40 % des cas, une forme chronique est rencontrée, caractérisée par des douleurs articulaires persistantes, et pouvant durer plusieurs mois voire années. Des formes sévères nécessitant une hospitalisation peuvent se développer, notamment chez des patients âgés et porteurs de comorbidités, mais aussi chez les jeunes enfants (Sissoko *et al.* 2008; Economopoulou *et al.* 2009; Schilte *et al.* 2013; Weaver et Forrester 2015).

Des formes neurologiques graves (comme des encéphalites) et des défaillances d'organe ont été mises en évidence lors de l'épidémie de 2005 à La Réunion, ces complications sont principalement rencontrées chez des personnes âgées, ou atteintes de comorbidités, et chez des nouveau-nés, infectés in utero lors de l'infection de la mère (Weaver et Forrester 2015).

L'infection à virus chikungunya peut se compliquer de syndrome de Guillain-Barré (l'infection à virus Zika est également associée à ce syndrome, voir section 4.2.4.3). Ce syndrome est « *une polyradiculonévrite inflammatoire de mécanisme auto-immun, post-infectieuse dans deux-tiers des cas* » (Stegmann-Planchard *et al.* 2018). Dans une étude menée suite à l'épidémie de chikungunya en Martinique et en Guadeloupe en 2014 (qui a touché 308 000 personnes), Balavoine *et al.* (2017) ont observé la survenue de 13 cas de syndrome de Guillain-Barré, chez des patients âgés en moyenne de 61 ans. Sur ces 13 cas, ils ont répertorié deux décès, et 7 sur les 11 restants ont recouvré leur santé en six mois. De plus, les auteurs ont montré que le taux d'incidence annuel pour le syndrome de Guillain-Barré dans les Antilles françaises est passé de 1,76 en 2011 à 3,45 en 2014, soit une augmentation de 100 % liée à l'épidémie de chikungunya.

Les manifestations chroniques de l'infection à virus chikungunya (un an et plus) dans les domaines de la rhumatologie, de la neurologie et de la santé neurosensorielle, représentent un fardeau important (Gérardin *et al.* 2011). À La Réunion, en moyenne, deux ans après l'infection, de 43 % à 75 % des personnes infectées ont signalé des symptômes prolongés ou tardifs hautement attribuables au virus du chikungunya (enquête à large échelle représentative de la population). Ces symptômes englobent des douleurs musculo-squelettiques, des arthralgies, des troubles neurologiques, des troubles neurosensoriels, des troubles digestifs et des problèmes cutanés (Schilte *et al.* 2013).

La qualité de vie après deux ans et six ans a été évaluée à l'aide de l'échelle SF-36, à La Réunion entre 2006, 2008 et 2012 (Couturier *et al.* 2012; Marimoutou *et al.* 2015). Comparés aux individus non infectés par le chikungunya, les individus infectés présentaient, six ans après l'infection, une morbidité rhumatismale plus élevée, mais aussi une morbidité non spécifique, comme des maux de tête et de la fatigue, associées à un impact psychologique important, à des humeurs dépressives fréquentes et à des handicaps sociaux, entraînant une altération significative de la qualité de vie et une plus grande consommation de soins. Certains effets

semblent diminuer dans le temps, mais les effets psychologiques semblent augmenter au cours du temps. Les personnes âgées semblent avoir une qualité de vie encore plus dégradée (Couturier *et al.* 2012).

MC. Jaffar-Bandjee et MP. Moiton indiquent également un impact d'une infection pré-partum sur les nourrissons, dont peuvent résulter des formes cutanées graves.

Le taux de létalité varie selon les épidémies, avec des taux de 0,1 % rapportés lors de l'épidémie de 2005-2006 à La Réunion (Josseran *et al.* 2008; Flahault 2009), de 0,05 à 0,13 % dans les Caraïbes et les Amériques (Souza *et al.* 2023; 2024) et de 0,024 % à 0,1 % pour les Antilles françaises (Santé publique France 2014; Dorléans *et al.* 2018). Il augmente avec l'âge et l'existence de comorbidités.

Une étude récente, menée au Brésil sur une cohorte de 143 787 patients infectés par le virus chikungunya, rapporte un risque de décès (mortalité toutes causes¹⁷) jusqu'à huit fois supérieur chez les patients infectés, dans les sept jours suivant le début des symptômes. Ce sur-risque persistait jusqu'à 84 jours après le début des symptômes (Cerqueira-Silva *et al.* 2024). Les décès étaient notamment en lien avec des maladies cardiovasculaires, diabète et accidents vasculaires cérébraux. La létalité était de 0,9 %. Cette étude indique que le risque de décès (toutes causes) consécutif à une infection par le virus chikungunya a pu être sous-estimé.

Après une infection, l'immunité apparaît robuste et durable (Chandley *et al.* 2023).

2.3.3 Virus Zika

2.3.3.1 Agent étiologique

Le virus Zika est un virus à ARN de polarité positive qui appartient à la famille des *Flaviridae* et du genre *Orthoflavivirus*. Il existe deux lignées : une lignée africaine, probablement endémique dans certains pays, notamment africains, et une lignée asiatique responsable de la majorité des cas symptomatiques identifiés.

2.3.3.2 Épidémiologie et transmission

Le virus Zika a été identifié pour la première fois, sur un singe, en Ouganda en 1947. Des cas sporadiques d'infections humaines ont ensuite été identifiés en Afrique subsaharienne et en Asie du Sud-Est. En 2007, une première épidémie a été identifiée et décrite sur l'île de Yap (Micronésie) au cours de laquelle il a été estimé que 73 % de la population de 7 400 habitants avait été infectée, sans identification de formes sévères (Duffy *et al.* 2009).

Le virus a ensuite diffusé dans la zone Pacifique avec l'identification de premiers cas en octobre 2013 en Polynésie française où une épidémie s'est rapidement développée (Petersen *et al.* 2016). Au cours de cette épidémie, les premières complications de l'infection ont été mises en évidence avec une augmentation des syndromes de Guillain-Barré (Cao-Lormeau *et al.* 2016).

¹⁷ C'est à dire quel que soit la cause du décès, et en ne considérant pas uniquement les causes directes de l'infection.

Entre 2014 et 2015, le virus Zika a diffusé au Brésil, probablement depuis le Pacifique, puis à toute l'Amérique latine et la Caraïbe (Baud *et al.* 2017). À cette occasion, il a pour la première fois été identifié comme étant associé, lors d'infection pendant la grossesse, à des microcéphalies chez le nouveau-né et des anomalies du développement fœtal. Cette découverte a conduit l'OMS à déclarer une urgence de santé publique de portée internationale en février 2016, terminée en novembre 2016 (Cauchemez *et al.* 2016; Schuler-Faccini *et al.* 2016; WHO 2022b). L'infection, jusqu'alors décrite comme bénigne et limitée à une éruption cutanée le plus souvent sans fièvre, s'est ainsi avérée potentiellement grave avec des complications neurologiques rares et des anomalies du développement fœtal, responsables de séquelles et potentiellement fatales. C'est également lors de cette épidémie que la transmission sexuelle, déjà suspectée, a été confirmée, notamment lors de contaminations survenues en zone tempérée indemne du vecteur, comme ce fut le cas en France (D'Ortenzio *et al.* 2016).

L'épidémie démarrée au Brésil a atteint les Antilles françaises et la Guyane en décembre 2015 (Daudens-Vaysse *et al.* 2016; Santé publique France 2016; 2017).

Les transmissions ont été initialement observées dans les régions où *Ae. aegypti* est présent. Cependant, les premières transmissions par *Ae. albopictus* ont été suspectées en France en 2019 lorsque trois cas autochtones ont été identifiés (Santé publique France 2023b; ECDC 2021c).

La durée de la virémie chez l'être humain est courte, entre trois et cinq jours. Bien que les moustiques vecteurs soient la principale voie de transmission pour le virus Zika, cet arbovirus a aussi la particularité de pouvoir être transmis par voie sexuelle et par voie verticale de la mère au fœtus.

La majorité des cas rapportés de transmission sexuelle sont des rapports homme-femme, mais des cas ont été rapportés de transmission femme-homme et homme-homme, avec un risque potentiellement augmenté dans ce dernier cas (Major *et al.* 2021). La durée d'excrétion de virus infectieux dans le sperme a été décrite jusqu'à 69 jours et des cas de transmission sexuelle ont été décrits jusqu'à 41 jours après le début des signes chez l'être humain. (Musso, Ko, et Baud 2019; Major *et al.* 2021; HCSP 2022a). La durée d'excrétion dans les sécrétions vaginales est beaucoup plus courte mais les études restent peu nombreuses (HCSP 2022). La différence de durée d'excrétion conduit Allard *et al.* (2017) à affirmer que les hommes seraient dix fois plus infectieux que les femmes.

La transmission par transfusion sanguine ou par greffe d'organes, tissus ou de cellules est décrite mais aucun cas n'a été rapporté en France (Bloch *et al.* 2018; Pozzetto *et al.* 2023; HCSP 2022b).

2.3.3.3 Aspects cliniques

La plupart des infections sont asymptomatiques (entre 70 et 90 % – (Musso, Ko et Baud 2019). Chez les personnes présentant une manifestation clinique, les symptômes sont peu spécifiques. Après une incubation de trois à 14 jours, les patients peuvent manifester une éruption cutanée, inconstamment associée à une fièvre modérée, des douleurs articulaires et musculaires, une conjonctivite ou des céphalées. Les symptômes durent deux à sept jours (Musso, Ko et Baud 2019; WHO 2022b).

L'infection par le virus Zika a cependant été associée à des complications importantes.

Un syndrome de Zika congénital a été caractérisé, à l'origine de malformations congénitales chez 5 à 15 % des enfants nés de mères infectées. Ce syndrome rassemble des microcéphalies et d'autres malformations comme des atteintes oculaires, des contractures des membres, ou des pertes auditives. Le virus peut aussi être à l'origine d'avortements, de mortalité, ou de naissances prématurées. Ces complications peuvent avoir lieu même en cas d'infections asymptomatiques. Le risque est considéré comme étant le plus important lors de l'infection de la mère au premier trimestre de grossesse (Hoen *et al.* 2018).

Le syndrome de Guillain-Barré a été associé à une épidémie de Zika, pour la première fois, en Polynésie française entre 2013 et 2014 (Lowe *et al.* 2018). Sur 32 000 cas suspectés, 42 cas de syndrome de Guillain-Barré ont été décrits (pour 268 270 habitants), pour lesquels le lien de causalité a été prouvé (Mallet, Vial et Musso 2016). Cette observation a été confirmée au cours de la dernière décennie avec une augmentation des cas de syndrome de Guillain-Barré atypiques potentiellement mortels, dont la fréquence est estimée entre 0,04 à 0,24 % (Rozé *et al.* 2017). Comme expliqué *supra* (section 2.3.2.3), il s'agit d'une affection auto-immune du système nerveux périphérique (polyradiculonévrite). Ce syndrome est répertorié dans de nombreuses infections virales. Dans le cas de Zika, la proportion de formes sévères de ce syndrome apparaît supérieure. Les mécanismes liant l'infection à virus Zika et le syndrome de Guillain-Barré sont mal caractérisés, à l'heure actuelle.

2.3.4 Stratégie diagnostique en cas d'infection par les virus de la dengue, chikungunya ou Zika

Le diagnostic d'une infection par le virus de la dengue, le virus chikungunya ou le virus Zika peut être réalisé :

- par diagnostic direct durant la phase de virémie, par amplification du génome viral issu du sérum ou du plasma, par RT-PCR (*Reverse transcriptase - Polymerase chain reaction*). Une détection par RT-PCR peut également être effectuée dans les urines avec une fenêtre de détection potentiellement plus large que dans le sang. Concernant le diagnostic de la dengue, il existe des kits amplifiant les quatre sérotypes (pan-dengue) ou deux sérotypes sans distinction. Le diagnostic différencié des quatre sérotypes est réalisé par quelques laboratoires, essentiellement le Centre National de Référence (CNR) arboviroses. Les autres laboratoires (privés ou centres hospitaliers) réalisent en majorité des RT-PCR pan-dengue.
- le diagnostic de la dengue peut aussi être fondé sur la détection de l'antigène NS1 par technique ELISA, technique spécifique mais peu sensible ;
- par diagnostic sérologique, qui ne permet pas de dater précisément l'infection, les anticorps IgM traduisent une infection récente (moins de trois à six mois) les anticorps de type IgG persistant durablement (à vie) témoignent d'une infection ancienne en l'absence d'IgM. La sérologie peut être d'interprétation difficile en raison de réactions croisées entre virus d'une même famille. Dans le cas de la dengue, elle ne permet pas non plus de différencier le sérotype viral à l'origine de l'infection. Des réactions non spécifiques par activation polyclonale d'immunoglobulines en réponse à un processus infectieux ou immunologique peuvent aussi avoir lieu.

Le CNR ne fait pas le diagnostic de première ligne pour ces trois virus et analyse les prélèvements en seconde intention, après un premier test positif en laboratoire privé ou

hospitalier. Il confirme systématiquement les premiers cas de chaque nouvel épisode de transmission autochtone d'arbovirus et, dans le cas de la dengue, réalise le sérotypage. Il réalise de plus des analyses génotypiques pour les prélèvements précoces qui lui parviennent.

Des informations supplémentaires sur les méthodes diagnostiques et leurs performances sont disponibles dans le paragraphe 3.2.1 (réponse aux questions 1 et 2 de la saisine).

2.3.5 Autres virus transmis par *Aedes albopictus*

En conditions de laboratoire, *Ae. albopictus* est capable de transmettre plus d'une trentaine d'arbovirus et l'espèce a été trouvée naturellement infectée par plus d'une quinzaine d'entre eux (Pereira dos Santos et al. 2020), comme les virus de la fièvre jaune, de la fièvre de la vallée du Rift et du *West Nile*. Ces observations justifient de faire preuve de vigilance et de poursuivre les études. Ces virus font d'ailleurs l'objet de surveillances spécifiques, ils sont sujet à la déclaration obligatoire et sont suivis par les Centres Nationaux de Référence (des arbovirus et des fièvres hémorragiques).

2.3.5.1 Le virus amaril ou virus de la fièvre jaune

La fièvre jaune est une maladie hémorragique virale zoonotique, causée par un virus à ARN de polarité positive, de la famille des *Flaviviridae* et du genre *Orthoflavivirus*, transmis par la piquûre d'un moustique du genre *Aedes*.

Le virus de la fièvre jaune se rencontre en Afrique et en Amérique du Sud. Il existe un cycle de transmission sylvatique, où les moustiques s'infectent en piquant des singes, qui sont les réservoirs du virus. Il existe également un cycle urbain à l'origine de grandes épidémies en Afrique, avec une transmission entre êtres humains par le vecteur *Ae. aegypti* (ECDC 2021a).

Il a été montré que dans des conditions de laboratoire, les populations françaises d'*Ae. albopictus* sont capables de transmettre le virus de la fièvre jaune, ce qui pourrait constituer un risque en cas d'importation du virus (Amraoui, Vazeille et Failloux 2016) et justifie de poursuivre les études.

2.3.5.2 Le virus de la fièvre de la Vallée du Rift

La fièvre de la Vallée du Rift (FVR) est une zoonose virale, causée par un virus à ARN de polarité négative de la famille des *Bunyaviridae* transmis par la piquûre de moustiques du genre *Aedes*. Cette maladie est le plus souvent asymptomatique chez les humains mais peut néanmoins être à l'origine de symptômes graves (rétinite, hépatite, fièvre hémorragique, atteintes neurologiques). Chez le bétail (bovins et petits ruminants), la maladie est responsable de mortalité sur les jeunes animaux et de vagues d'avortements provoquant de fortes pertes économiques dans les troupeaux infectés.

Le virus a été identifié au Kenya en 1931, et a été responsable de foyers en Afrique tout au long du XXe siècle, notamment à la suite d'épisodes *El Niño* et d'inondations en 1997-98 en Somalie, Kenya et Tanzanie. Suite au commerce de bétail infecté, la FVR a été détectée en Arabie Saoudite et au Yémen en 2000.

2.3.5.3 Cas particulier du virus West Nile

Dans des conditions de laboratoire, il a été démontré qu'*Ae. albopictus* est capable de transmettre les virus West Nile et Usutu. Par ailleurs le virus West Nile a été retrouvé chez des populations naturelles d'*Ae. albopictus* (Amérique du Nord) (Holicki *et al.* 2020; Rothman *et al.* 2021; Martinet *et al.* 2023; Bohers *et al.* 2024). Des études supplémentaires doivent être menées pour savoir si *Ae. albopictus* peut jouer un rôle épidémiologique dans la transmission de ces arbovirus, pour lesquelles l'être humain est une impasse épidémiologique, et considérant qu'*Ae. albopictus* est une espèce peu ornithophile ; ce qui n'est actuellement pas démontré.

En conséquence, et comme déjà mentionné, les experts du GT n'ont pas intégré le virus West Nile dans la liste des arbovirus transmis par *Ae. albopictus*.

Synthèse

En France hexagonale, *Ae. albopictus* peut être responsable de la transmission du virus de la dengue, du virus chikungunya et du virus Zika. Répandus dans la zone intertropicale, ces virus aux conséquences parfois graves pour les personnes infectées, peuvent être transmis sur le territoire hexagonal après introduction par un cas importé compte-tenu de l'implantation et de la diffusion d'*Ae. albopictus*.

Les maladies provoquées par ces trois arbovirus présentent des caractéristiques communes impactant leur transmission et la prise en charge des patients :

- la grande majorité des infections ont lieu par voie vectorielle suite à la piqûre d'un moustique vecteur porteur de l'arbovirus considéré. Cependant, des cas de transmission non vectorielle sont possibles ;
- la transmission par la transfusion et la greffe de tissus, organes et cellules est démontrée pour le virus de la dengue et possible pour les virus chikungunya et Zika, même s'il n'y a pas de cas avéré publié. Cela justifie la mise en place de mesures de sécurisation de la transfusion et de la greffe ;
- la transmission par voie sexuelle est très bien documentée pour le virus Zika et quelques très rares cas ont également été rapportés pour le virus de la dengue ;
- la transmission verticale maternofoetale est démontrée pour le virus Zika avec des conséquences pouvant être majeures pour le fœtus, notamment pour les infections survenues pendant le premier trimestre de grossesse. Une transmission en période périnatale lorsque la mère a été infectée dans les jours précédant l'accouchement est démontrée pour le virus chikungunya avec des conséquences pouvant être sévères pour le nouveau-né ;
- les formes asymptomatiques ou paucisymptomatiques sont fréquentes, le pourcentage de formes asymptomatiques variant de 20 à 90 % selon les études et en fonction du virus et, pour le même virus, en fonction de divers facteurs comme l'exposition antérieure au virus (par exemple à différents sérotypes de virus de la dengue), la souche virale, les réponses immunitaires individuelles mais aussi la perception de la maladie par le patient ;
- la virémie chez les personnes infectées, correspondant à la période pendant laquelle la personne infectée va pouvoir contaminer un moustique lors d'une piqûre et donc

transmettre le virus à une autre personne, est assez courte (de un à douze jours, en moyenne de trois à cinq jours) ;

- l'infection par chacun de ces virus peut engendrer chez les patients des maladies aux conséquences parfois très graves : dengue sévère, complications neurologiques des infections à virus chikungunya et Zika, formes rhumatologiques chroniques de l'infection à virus chikungunya, syndrome de Zika congénital ;
- le diagnostic de ces arbovirus peut être réalisé par RT-PCR (pendant la phase de virémie) ou par sérologie. La sérologie pose des problèmes de réactions croisées, notamment entre orthoflavivirus mais aussi de réactions non spécifiques, rendant le diagnostic délicat.

2.4 Situation épidémiologique en Europe

2.4.1 Situation épidémiologique de la France hexagonale

2.4.1.1 Historique des cas importés entre 2010 et 2023

La surveillance de la dengue et de l'infection à virus chikungunya par la déclaration obligatoire est mise en place en France hexagonale depuis 2006 dans le cadre du plan national « anti-dissémination du chikungunya et de la dengue en métropole », élargi aux infections à virus Zika à partir de 2016. Ce plan, dans lequel les actions concernaient essentiellement les départements considérés comme colonisés par *Aedes albopictus*, a été abrogé le 1^{er} janvier 2020 par l'instruction du 12 décembre 2019 relative à la prévention des arboviroses qui s'applique à l'ensemble du territoire national, quel que soit le statut (colonisé ou non par le moustique tigre) du département.

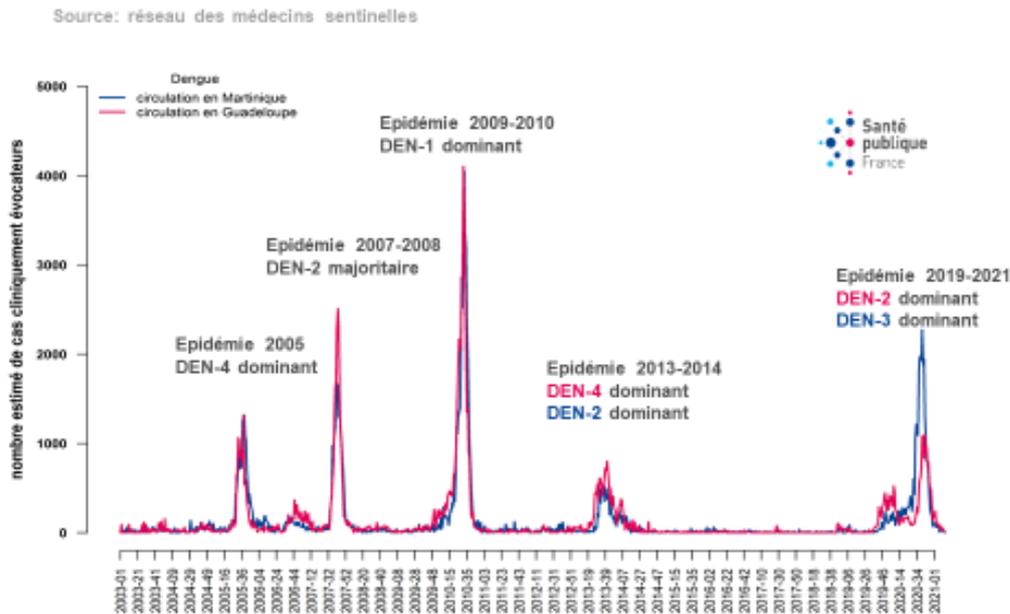
Des cas de dengue importés sont signalés chaque année, notamment au cours de la période de surveillance renforcée (du 1^{er} mai au 30 novembre dans toutes les régions de France hexagonale), avec un pic atteint en 2023 où 2 524 cas ont été identifiés sur l'ensemble de l'année dont 2 014 pendant la période de surveillance renforcée (Fournier *et al.* 2024). Les cas importés d'infection à virus chikungunya sont moins nombreux, bien que 443 cas importés aient été identifiés en 2014, lors de l'épidémie qui a sévi aux Antilles et sur le continent Sud-américain. En 2023, Santé publique France a rapporté 44 cas importés de chikungunya sur l'ensemble de l'année dont 28 pendant la période de surveillance renforcée (Fournier *et al.* 2024).

En ce qui concerne les cas importés d'infection à virus Zika, depuis l'épidémie de 2016 où presque 800 cas importés ont été signalés par la Déclaration Obligatoire (Franke *et al.* 2017), ils sont plus rares.

Les fluctuations observées entre les années dépendent principalement de la situation épidémiologique mondiale et notamment de la circulation virale dans les DROM. En effet, les épidémies dans ces territoires augmentent la pression d'importation en France hexagonale, notamment depuis les Antilles françaises : les cas importés suivent les dynamiques épidémiques qui y sont rencontrées, ainsi que celles des flux de voyageurs (impact des périodes de congés) comme illustré sur la Figure 2 (Paty *et al.* 2014; Septfons *et al.* 2016). Les évolutions de la couverture géographique de la surveillance renforcée, permettant une surveillance plus exhaustive que la seule déclaration obligatoire, expliquent également ces

fluctuations. Initialement mise en place uniquement dans les départements colonisés, et avec un nombre de départements concernés plus important chaque année, elle s'est étendue en 2020 à l'ensemble du territoire hexagonal.

A



B

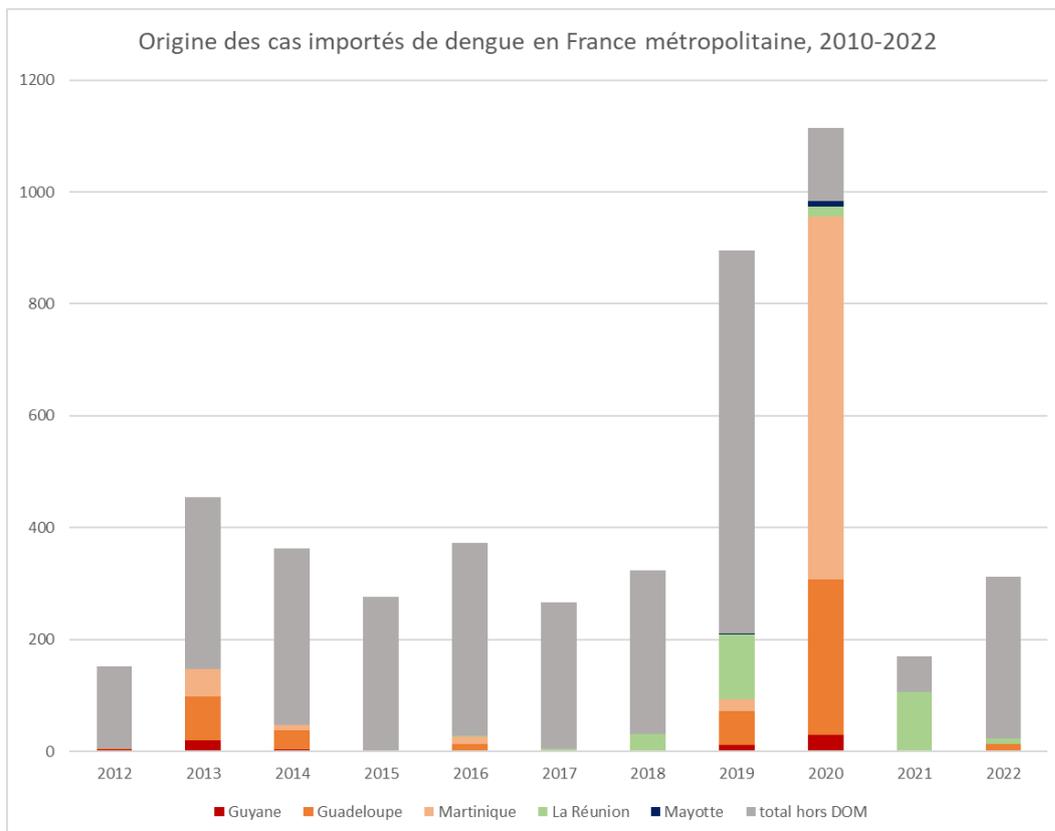


Figure 2. Illustration du lien entre épidémies de dengue aux Antilles et l'origine des cas importés en France hexagonale (source : Santé publique France 2023)

A : Historique des épidémies de dengue en Martinique et Guadeloupe entre 2013 et 2021.

B. Origine des cas importés de dengue en France hexagonale sur la période 2010-2022.

2.4.1.2 Historique des cas autochtones

Les premiers épisodes de transmission autochtone¹⁸ dans l'Hexagone ont été identifiés en 2010, avec deux cas de dengue signalés à Nice dans les Alpes-Maritimes (La Ruche et al. 2010) et deux cas d'infection à virus chikungunya identifiés à Fréjus dans le Var (Grandadam et al. 2011) (Figure 3). Un épisode de transmission autochtone du virus Zika, par voie vectorielle, a été identifié à Hyères dans le Var en 2019 (Giron et al. 2019). Il s'agirait du premier épisode hexagonal documenté de transmission de ce virus par *Aedes albopictus*.

Des épisodes de transmission autochtone sont régulièrement identifiés chaque année depuis ces premières émergences (Franke et al. 2019). Au total, entre 2010 et 2023, 192 cas autochtones ont été identifiés en France hexagonale : 158 cas de dengue, 31 cas d'infection à chikungunya et 3 cas d'infection à virus Zika (Figure 3). Les épisodes de dengue autochtone sont les épisodes les plus fréquemment rencontrés, en lien avec la circulation internationale du virus. Jusqu'en 2021, ces épisodes concernaient un nombre de cas limité avec toutefois une tendance à l'augmentation déjà identifiée. Les épisodes de transmission de virus chikungunya sont moins fréquents pour le moment, mais peuvent générer un nombre de cas autochtone élevé.

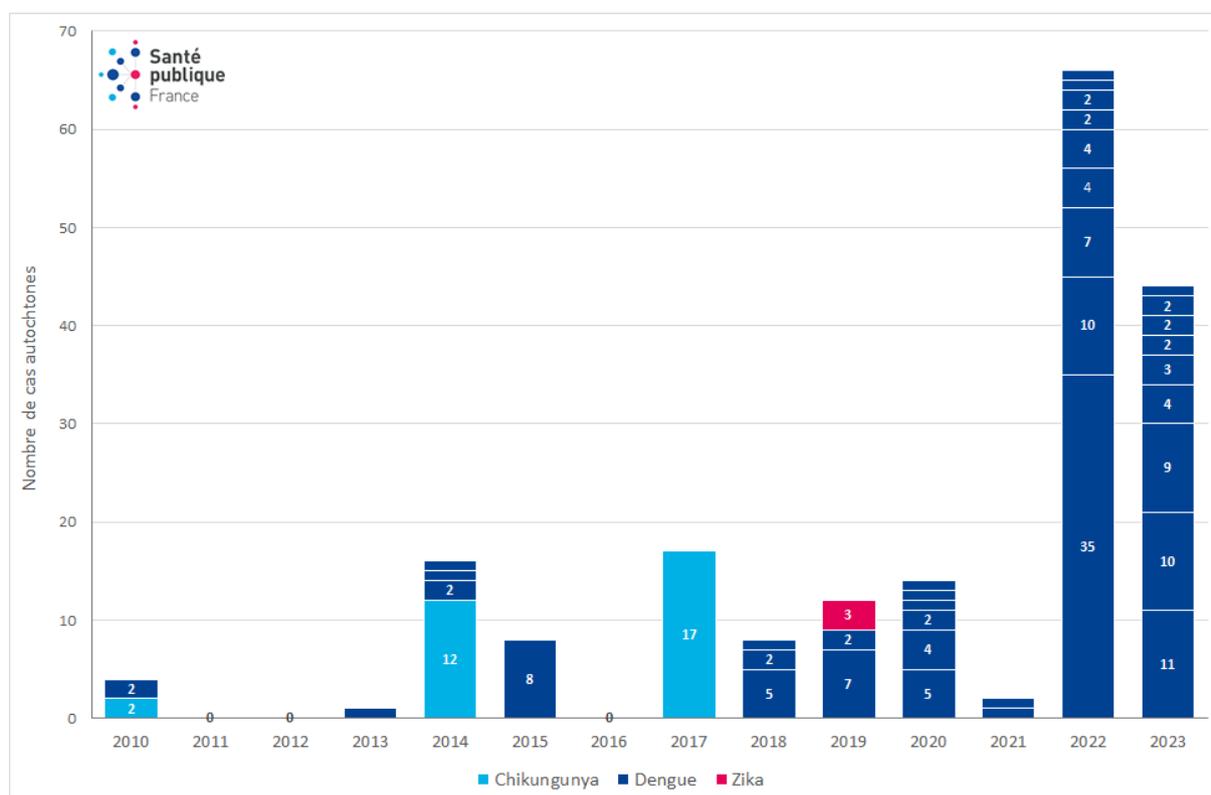


Figure 3. Nombre de cas autochtones de dengue, de fièvre à virus chikungunya et virus Zika identifiés par épisode, France hexagonale, 2010-2023 (Source : Santé publique France)

En 2022, dans l'Hexagone, les transmissions autochtones de virus de la dengue ont été particulièrement importantes avec un nombre de cas identifiés plus élevé au cours de cette seule année (66 cas) que pour l'ensemble de la période 2010-2021 (48 cas). Cette augmentation de l'intensité de la transmission se traduit également par un nombre plus élevé de cas rattachés à chaque épisode et notamment l'épisode de plus grande ampleur identifié

¹⁸ Les termes cas importé, cas autochtone et épisode de transmission autochtone sont définis dans le glossaire.

jusqu'ici en Europe (à savoir un épisode de 35 cas dans les Alpes-Maritimes) (Cochet *et al.* 2022). A noter qu'au cours de cette année 2022, 378 cas importés de dengue ont été notifiés en France hexagonale (Santé publique France 2023b). L'année a également été marquée par des épisodes de transmission autochtone dans des départements jusqu'alors épargnés (départements des Hautes Pyrénées, de Haute Garonne, des Pyrénées-Orientales, du Tarn-et-Garonne et de la Corse-du-Sud) et par une précocité de la transmission (premiers cas notifiés avec des signes ayant débuté au mois de juin au lieu de juillet habituellement) (Figure 4).

La saison 2023 a confirmé cette dynamique avec une augmentation de l'intensité des épisodes, bien que moins marquée qu'en 2022. Les cas de dengue autochtone ont été moins nombreux ($n = 45$) mais le nombre d'épisodes de transmission autochtone était aussi élevé ($n = 9$). Il est important de noter que ce bilan s'inscrit dans une année particulièrement marquée par la pression d'importation des cas de dengue de retour de Martinique et de Guadeloupe (67 % des cas importés). L'année 2023 confirme l'augmentation des zones à risque concernées sur le territoire hexagonal, avec la survenue des premiers épisodes dans la Drôme (Auvergne-Rhône Alpes) et dans le Val-de-Marne (Île-de-France). La localisation des épisodes de transmission autochtone de la saison 2023 est disponible sur la Figure 5.

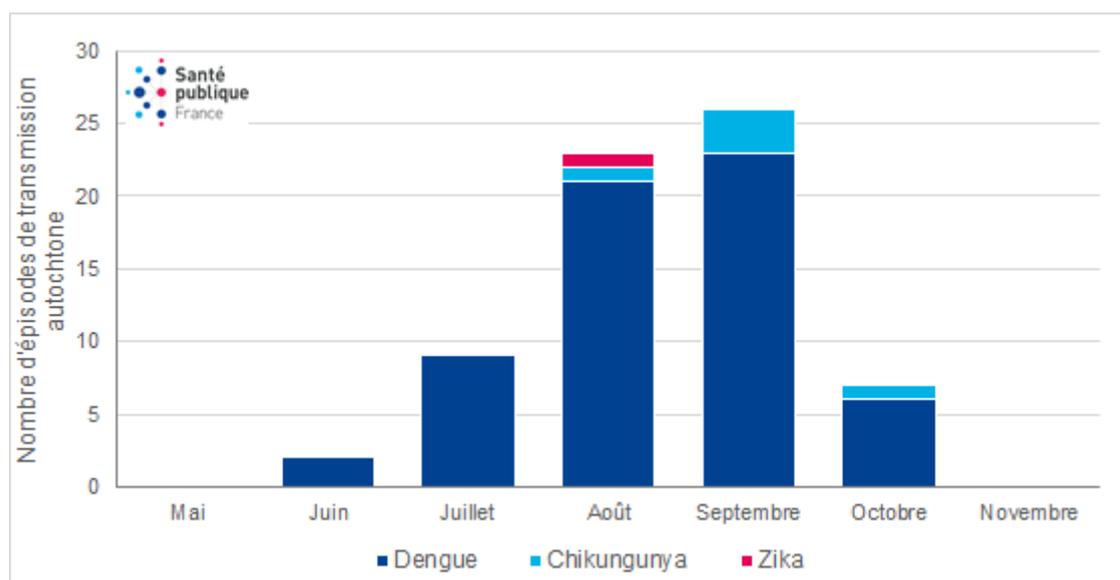


Figure 4. Répartition des épisodes de transmission autochtone de dengue, de fièvre à virus chikungunya et Zika par mois de circulation, France hexagonale, 2010-2023 (source : Santé publique France).

La somme totale est supérieure au nombre total d'épisodes car un même épisode peut se dérouler sur différents mois de l'année.

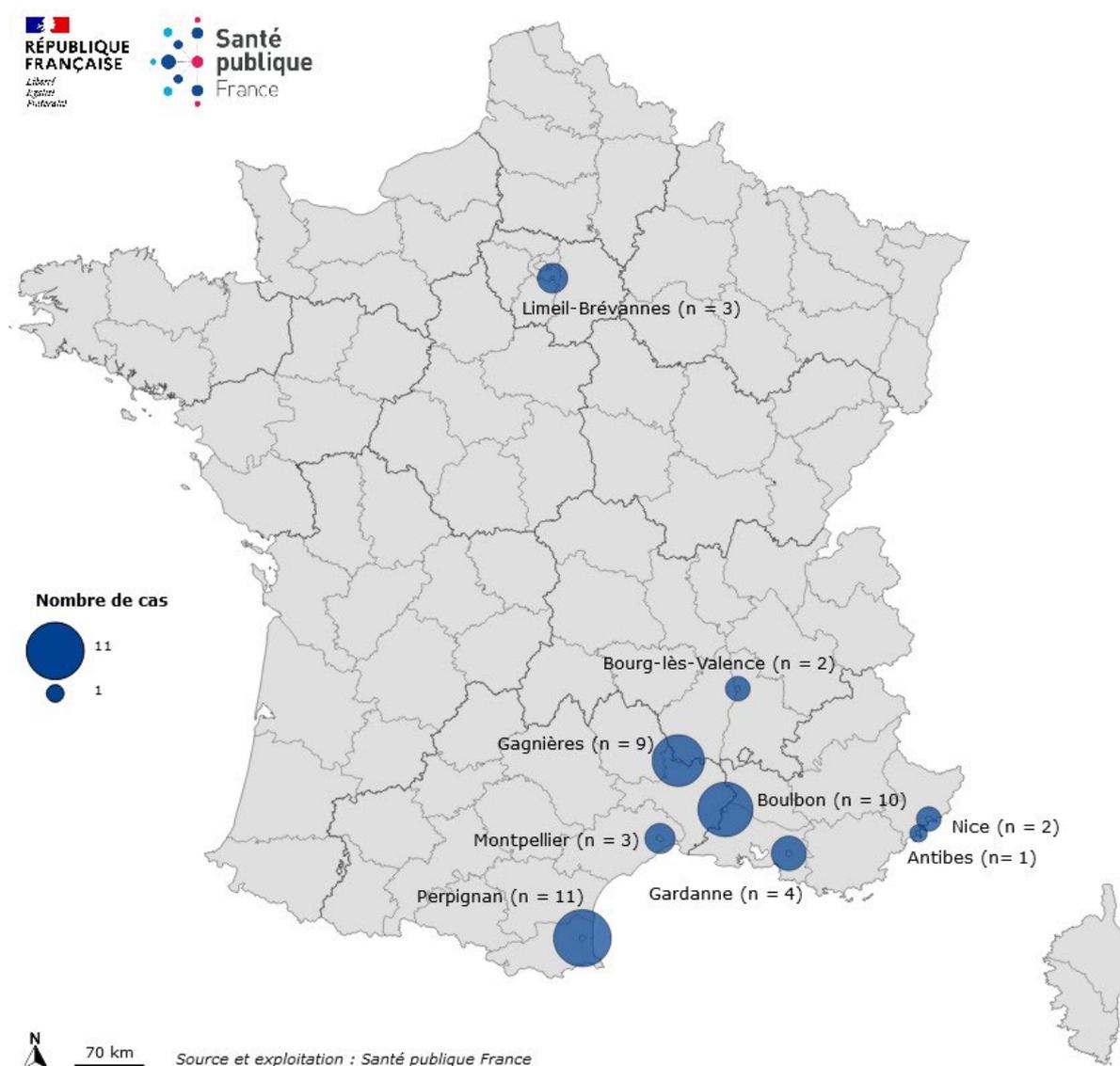


Figure 5. Localisation des épisodes de transmission en 2023 en France hexagonale (données Santé publique France)

2.4.1.3 Situation en 2024

En 2024, 2 166 cas importés de dengue ont fait l'objet d'une déclaration obligatoire entre le 1^{er} janvier et le 30 avril 2024, contre 128 cas en moyenne sur la même période les cinq années précédentes et 2 524 cas pour toute l'année 2023 ; cinq cas importés de chikungunya et deux cas importés de Zika ont été également déclarés (Fournier *et al.* 2024). Depuis le début de la saison de surveillance renforcée, entre le 1^{er} mai et le 23 juillet, 885 cas de dengue importés, six de chikungunya, deux de Zika ; un épisode de transmission autochtone de dengue a été recensé, au cours duquel un cas a été identifié, dans l'Hérault¹⁹.

¹⁹

<https://www.santepubliquefrance.fr/maladies-et-traumatismes/maladies-a-transmission-vectorielle/chikungunya/articles/donnees-en-france-metropolitaine/chikungunya-dengue-et-zika-donnees-de-la-surveillance-renforcee-en-france-hexagonale-2024>, page consultée le 24 juillet 2024.

Une mise en tension du dispositif de surveillance et de lutte

Ces deux années exceptionnelles (2022 et 2023), tant en termes de cas autochtones que de cas importés, ont mis en tension l'ensemble du dispositif de surveillance et de lutte contre ces arboviroses²⁰ (ARS, opérateurs de démoustication et SpF).

Le seuil de saturation des moyens de LAV est un point critique dans la gestion du risque de transmission autochtone en France hexagonale. Le nombre de cas n'est pas le seul facteur à l'origine de cette saturation, la répartition spatio-temporelle des cas et des foyers, tout comme les mouvements des personnes, sont également à prendre en considération.

Bien que la pression d'importation influence le risque de transmission autochtone, le risque étant plus élevé lorsque la pression est plus forte, cette relation n'est pas strictement linéaire. En 2022, près de 300 cas importés de dengue et 9 épisodes de transmission de dengue autochtone ont été identifiés contre plus de 2 000 cas importés et 9 épisodes en 2023.

2.4.2 Situation épidémiologique en Europe

La France n'est pas le seul pays européen à avoir déclaré des foyers de transmission autochtone de dengue et d'infection à virus chikungunya, même si elle en a identifié le plus grand nombre. Les arboviroses sont à déclaration obligatoire à l'échelle européenne, bien que les situations épidémiologiques des différents pays ne soient pas directement comparables (nombre de cas) et qu'il existe des spécificités nationales des systèmes de surveillance. Le GT considère que les foyers d'une certaine importance finissent par être détectés quelle que soit la sensibilité du système de surveillance.

Concernant la dengue (ECDC 2024) :

- un premier foyer a été identifié en 2010 en Croatie, il totalisait une dizaine de cas, identifiés rétrospectivement après confirmation du diagnostic chez un touriste allemand de retour de Croatie (Gjenero-Margan *et al.* 2011) ;
- depuis 2018, des foyers sont régulièrement identifiés en Espagne : un cas en Catalogne et un foyer de cinq cas liés à Murcia ou Cadiz en 2018 (Monge *et al.* 2020) ; un cas en 2019 en Catalogne ; six cas en 2022 à Ibiza (Campelli *et al.* 2023), chez des touristes pour lesquels le diagnostic a été posé à leur retour en Allemagne ; trois cas en Catalogne en 2023 ;
- en Italie, le premier foyer de dengue a été identifié en 2020 en Vénétie, il totalisait 11 cas (Barzon *et al.* 2021) ; en 2023 plus de 80 cas ont été identifiés²¹ : 41 cas à Lodi, 38 dans l'agglomération de Rome, 2 cas dans la région de Latina et 1 cas à Anzio.

Concernant l'infection à virus chikungunya (ECDC 2023a) :

Deux épidémies de quelques centaines de cas sont survenues en Italie :

- en 2007, une épidémie de plus de 330 cas a affecté la province de Ravenne, entre début juillet et fin septembre. Les cas étaient concentrés dans la commune de Castiglione di Cervia et quatre foyers secondaires sont survenus dans des communes voisines dont la plus éloignée était à 50 km (Angelini *et al.* 2007; Rezza *et al.* 2007) ;

²⁰ Ce dispositif est décrit dans le paragraphe 2.5

²¹ <https://www.epicentro.iss.it/arboviroosi/dashboard>

- en 2017, une épidémie de presque 500 cas au total a sévi dans les régions du Lazio et de Calabre. Le foyer d'une centaine de cas en Calabre était secondaire au foyer initial (400 cas environ), la transmission a duré de fin juin à fin octobre (Lindh *et al.* 2019; Riccardo *et al.* 2019).

Aucun épisode de transmission vectorielle de virus Zika n'a été identifié en Europe en dehors de celui de France en 2019 (Giron *et al.* 2019).

Synthèse

Le virus de la dengue, le virus chikungunya et le virus Zika sont des arbovirus, transmis par des moustiques vecteurs du genre *Aedes*, qui circulent essentiellement en zone intertropicale où ils sont responsable d'épidémies. Ces dernières décennies, à la faveur des changements climatiques et globaux (urbanisation, déforestation, mouvements de biens et personnes), le nombre de cas d'infection par ces arbovirus dans le monde a considérablement augmenté avec un nombre record de cas de dengue notifiés à l'OMS en 2023 et 2024 et l'émergence des virus chikungunya et Zika dans des territoires précédemment indemnes (comme l'Amérique latine en 2013-14 et 2015-16) où ils ont été responsables d'épidémies majeures.

Des cas importés de ces arboviroses sont identifiés chaque année en France hexagonale. Leur nombre et leur provenance varient d'année en année, en fonction des épidémies dans le monde et notamment dans les zones avec de forts échanges comme les DROM (déplacements nombreux des populations résidentes entre les DROM et l'Hexagone). Cela a notamment été le cas pour la dengue en 2023 avec le nombre le plus important de cas importés de dengue déclaré depuis le début de la surveillance (plus de 2 000), ceci en lien avec l'épidémie qui sévit dans les Antilles françaises. Le lien entre la provenance des cas importés et épidémies dans les DROM a également pu être observé en 2014 pour l'infection à virus chikungunya et en 2016 pour l'infection à virus Zika.

Avec l'implantation et la progression du vecteur *Ae. albopictus*, des foyers de transmission autochtone de ces virus sont régulièrement observés en France hexagonale depuis 2010. S'ils sont restés limités en nombre entre 2010 et 2021 (moins de dix cas autochtones de dengue chaque année jusqu'en 2019, 48 cas identifiés au total entre 2010 et 2021 et 17 cas maximum pour l'infection par le virus chikungunya en 2017), l'année 2022 a marqué une évolution. Le nombre de cas autochtones de dengue était sensiblement supérieur aux chiffres observés depuis 2010, avec un total de 66 cas pour cette seule année (dont un foyer de 35 cas) contre 48 cas identifiés entre 2010 et 2021. Les épisodes sont survenus dans des zones jusque-là indemnes (départements des Hautes Pyrénées, de Haute Garonne, des Pyrénées-Orientales, du Tarn-et-Garonne et de la Corse-du-Sud). Cette évolution s'est confirmée en 2023 avec un nombre de foyers de dengue identique et avec, pour la 1^{ère} fois, un foyer détecté en Île-de-France.

Ces très nombreux cas importés et la multiplication des foyers de transmission autochtones ont représenté une forte pression sur les services des ARS, les opérateurs de démoustication et les services de Santé publique France qui ont été mis en tension voire en situation de saturation dans certaines régions.

2.5 Prévention, surveillance et contrôle du vecteur, des virus et des maladies

2.5.1 Surveillance épidémiologique, sensibilisation et engagement des parties prenantes

2.5.1.1 Surveillance et investigations épidémiologiques

Le dispositif de surveillance des infections par les virus de la dengue, chikungunya et Zika est fondé sur la déclaration obligatoire (DO) des cas documentés biologiquement. Les patients, symptomatiques ou non, dont les analyses biologiques sont positives pour l'un de ces trois virus sont signalés par les professionnels de santé (médecins libéraux, hospitaliers, biologistes) à l'ARS de leur région de résidence. Cette surveillance est mise en place toute l'année sur l'ensemble du territoire hexagonal.

La surveillance est renforcée pendant la période estimée d'activité du vecteur, du 1^{er} mai au 30 novembre, par une sensibilisation des professionnels de santé au diagnostic et au signalement des cas et la mise en place d'un dispositif de transfert automatisé des résultats des laboratoires Eurofins Biomnis et Cerba (principaux laboratoires libéraux à réaliser ces diagnostics) permettant d'identifier les cas qui n'auraient pas été signalés par les professionnels de santé (« rattrapage laboratoire »).

Pendant cette période, l'objectif est d'identifier précocement les cas, importés et autochtones, afin de mettre en place immédiatement les interventions permettant de prévenir ou limiter une transmission sur le territoire hexagonal. Des investigations épidémiologiques et entomologiques spécifiques et des mesures de lutte antivectorielle (LAV) sont ainsi mises en place autour des cas identifiés.

Les cas sont contactés par l'ARS afin de déterminer ou confirmer le statut importé ou autochtone et de lister les lieux qu'ils ont fréquentés au cours de la période de virémie. Ces informations sont par la suite transmises aux opérateurs de démoustication (OpD) qui se rendent sur le terrain afin de réaliser des prospections entomologiques et de mettre en place les mesures de LAV appropriées. La Figure 6 illustre ce dispositif (voir aussi la section 2.5.2).

Lors de l'identification de cas autochtone(s), les lieux fréquentés pendant la période de contamination possible ou période d'exposition, qui correspond à la période d'incubation, sont également identifiés. Des investigations spécifiques sont mises en place avec notamment une recherche active de cas dont l'objectif est de détecter d'autres cas autochtones et d'identifier le cas primaire importé à l'origine de la transmission. Elle repose notamment sur une sensibilisation renforcée des professionnels de santé du secteur concerné et du grand public, ainsi que sur une enquête en porte-à-porte mise en place par l'ARS et SpF dans le quartier où le(s) cas autochtone(s) sont rapporté(s). Cette investigation permet de caractériser l'ampleur et la dynamique spatio-temporelle de la transmission et ainsi de guider les mesures de prévention et contrôle, notamment les mesures de lutte antivectorielle (LAV) et de sécurisation des produits issus du corps humain.

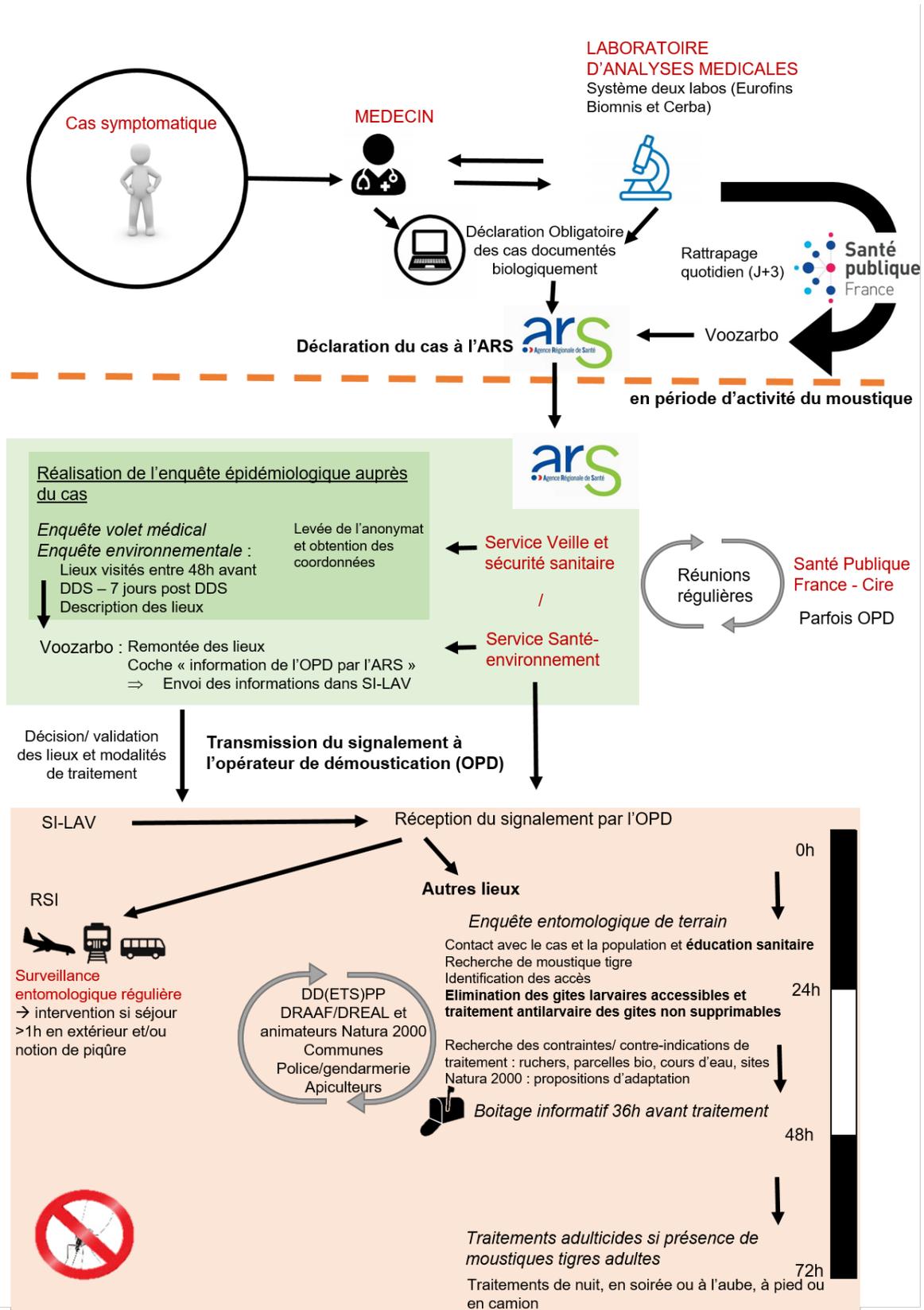


Figure 6. Dispositif de traitement d'un cas d'arbovirose en France hexagonale

ARS : Agence régionale de santé ; Cire : Cellule d'intervention en région (SpF) ; DD(ETS)PP : Direction départementale de (l'emploi, du travail et) la protection des populations ; DDS : date de début des signes ; DRAAF : Direction régionale de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt ; DREAL : Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement ; OPD : Opérateur de démositication ; RSI : règlement sanitaire international ; SI-LAV : base de données entomologiques et LAV (ARS et DGS) ; Voozarbo : base de données des cas d'arboviroses (SpF)

2.5.1.2 Actions d'information et de sensibilisation de la population et des professionnels de santé

Le début de la saison de surveillance renforcée s'accompagne généralement d'un courrier d'information transmis par les ARS aux professionnels de santé : médecins libéraux et hospitaliers, laboratoires d'analyse et de biologie médicale, laboratoires hospitaliers principalement. Les objectifs de ces courriers sont de rappeler (i) le lancement de la saison en lien avec le début de la période à risque de transmission autochtone (i.e. période d'activité du vecteur), (ii) les signes cliniques et les modalités de diagnostic, et (iii) le circuit de signalement des cas.

Des campagnes d'information peuvent viser également les voyageurs revenant de pays en situation d'épidémie ou d'endémie, en utilisant des panneaux d'affichages dans les aéroports et encourageant les voyageurs à consulter un médecin en cas de symptômes évocateurs de dengue, de fièvre à virus chikungunya ou de fièvre à virus Zika et à se protéger des piqûres de moustiques. Cependant, ces campagnes ne sont pas systématiques et ne sont pas présentes dans tous les terminaux internationaux.

Enfin, la population générale peut être sensibilisée par plusieurs biais :

- lorsqu'une commune est déclarée colonisée, une information sur le vecteur et les dangers sanitaires associés est envoyée aux mairies afin qu'elles informent leurs concitoyens. Ces informations peuvent être affichées en mairie ou diffusées par les moyens habituels de communication ;
- en cas de signalement d'un cas d'arbovirose, les opérateurs de démoustication sensibilisent la population à la lutte mécanique contre le vecteur lors de leur enquête en porte à porte ;
- l'ARS peut également financer des actions de sensibilisation à destination de la population générale, pouvant être élaborées et mises en œuvre par des associations telles que le GRAINE Occitanie²².

Encadré 1. Mobilisation sociale et lutte antivectorielle

Les actions visant à « promouvoir la participation des populations et des organisations concernées par la limitation des nuisances et la prévention des maladies vectorielles » (CNEV 2016a) relèvent de la « mobilisation sociale ». Il existe un consensus international sur l'importance de la mobilisation sociale dans le cadre de la prévention et du contrôle des arboviroses. Dans leurs réponses à nos questionnaires, les ARS soulignent aussi le rôle de cette mobilisation.

Plusieurs définitions de la mobilisation sociale ont été proposées (voir le glossaire). Par exemple, dans un document de 2014 consacré à la mobilisation sociale et à la communication pour lutter contre la dengue, l'OMS définit la mobilisation sociale en ces termes : « *Social mobilization is the process of bringing together all feasible and practical intersectoral social allies to raise people's awareness of and demand for dengue prevention and control, to assist in the delivery of resources and services, and to strengthen community participation for sustainability and self-reliance* »²³. Dans un cadre de mobilisation sociale, la communication peut être descendante (*top-down*) et/ou ascendante (*bottom-up*).

Pour des informations détaillées sur la mobilisation sociale, le lecteur pourra se référer à deux documents produits par l'Anses en 2016 portant sur la mobilisation sociale pour la prévention et le contrôle de la dengue et du chikungunya. Ces documents font suite à une saisine de la DGS visant à « évaluer les différents outils mis en œuvre en matière de mobilisation sociale, afin de fournir les éléments nécessaires pour la définition d'une stratégie en France métropolitaine » contre les vecteurs de la dengue et du chikungunya (CNEV, 2016a). Le

²² <https://graine-occitanie.org/>

²³ <https://iris.who.int/handle/10665/42832>.

premier document (CNEV 2016a) cherche à « réaliser un inventaire et une synthèse des pratiques existantes en matière de mobilisation sociale contre les vecteurs de dengue et de chikungunya », tandis que le second (CNEV 2016b) propose « un cadre pour la définition d'une stratégie de mobilisation sociale ».

2.5.2 Surveillance entomologique et lutte antivectorielle

Dans son acception la plus large, la stratégie de LAV intégrée dans une démarche globale de santé publique comprend la surveillance intégrée (épidémiologique et entomologique), le contrôle des vecteurs (comme LAV proprement dite), la mobilisation sociale et la coordination inter- et intrasectorielle. La gestion intégrée des vecteurs vise à améliorer l'efficacité, l'efficience, l'acceptabilité, la durabilité de la LAV et à limiter ses impacts écologiques indésirables. Les stratégies doivent tenir compte du contexte local et être proactives, préventives plutôt que réactives, en réponse à une crise. Les outils de LAV sont variés : adulticides, larvicides, lutte mécanique, protection personnelle, piégeage de masse, etc. Ces moyens de lutte doivent être utilisés de manière combinée, orientée par la réglementation et si possible, leur utilisation doit être formalisée dans un référentiel. Les modalités réglementaires sont décrites dans l'arrêté du 23 juillet 2019 relatif aux modalités de mise en œuvre des missions de surveillance entomologique, d'intervention autour des détections et de prospection, traitement et travaux autour des lieux fréquentés par les cas humains de maladies transmises par les moustiques vecteurs²⁴.

❖ Description de l'organisation de la LAV et des moyens disponibles en France hexagonale

Depuis le décret n°2019-258 du 29 mars 2019 relatif à la prévention des maladies vectorielles²⁵, la mise en œuvre des missions de surveillance entomologique et d'intervention autour des nouvelles implantations de moustiques vecteurs et des cas suspects d'arboviroses est confiée aux ARS. La lutte contre les nuisances liées aux moustiques endémiques dépend toujours des Conseils départementaux, parfois fédérés au sein des Ententes Interdépartementales de Démoustication (EID). La gestion des épidémies dépend du dispositif ORSEC²⁶, coordonné par le préfet du département.

Les objectifs du décret du 29 mars 2019 en termes de LAV pour les ARS sont les suivants :

- prévenir l'introduction et lutter contre l'implantation de nouvelles espèces de moustiques vecteurs invasifs (ex. *Ae. aegypti*, *Ae. japonicus*, etc.) ;
- lutter contre la transmission d'agents pathogènes pour éviter l'apparition de (nouveaux) cas humains d'une maladie vectorielle ou réduire le nombre de cas (pas de données cibles chiffrées) ;
- éviter la circulation pérenne d'un agent pathogène (ou le passage à l'état d'endémie) ;

²⁴ <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000038829411>

²⁵ <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000038318199>

²⁶ Organisation de la Réponse de Sécurité Civile (ORSEC) : ce dispositif est conçu pour secourir les personnes et protéger les biens et l'environnement en situation d'urgence. Il est décliné selon le type de risque. Le plan ORSEC-LAV concerne la lutte antivectorielle.

- réduire le risque de transmission et réduire la capacité vectorielle (voir 2.2). La lutte peut limiter la densité des vecteurs, éviter le contact humain-vecteur ou réduire la longévité des vecteurs ;
- obtenir des changements de comportement de la population humaine locale (gestion des gîtes larvaires, protection personnelle et recommandations aux voyageurs) ;
- minimiser le risque d'atteinte à l'environnement et/ou à la biodiversité, et à la santé des populations dû aux biocides utilisés dans la lutte contre les vecteurs, en identifiant et protégeant les espaces et les espèces protégés.

L'attribution des prestations pour la surveillance entomologique et la LAV dans une région est réalisée par marché public conclu pour une période de quatre ans entre une ARS et un ou plusieurs opérateurs publics ou privés. Ces prestations ont lieu sur la période de surveillance renforcée entre le 1^{er} mai et le 30 novembre, et concernent :

- la surveillance entomologique, : elle est réalisée à travers l'installation et le suivi d'un réseau de pièges pondoirs dans chaque département, sur les fronts de colonisation et au niveau des sites sensibles en application du Règlement Sanitaire International (RSI). L'opérateur assure également la confirmation des signalements de moustiques tigres réalisés par les citoyens via l'outil en ligne signalement-moustique²⁷ lorsque ceux-ci ont lieu dans une zone encore non signalée comme colonisée ;
- la mise en œuvre des mesures de démoustication : des prospections entomologiques préliminaires aux traitements sont diligentées afin de confirmer la présence du vecteur dans les différents lieux fréquentés par le cas (importé ou autochtone) pendant sa période de virémie. La décision de traiter ou non un périmètre est prise en concertation entre l'ARS, l'opérateur et les éventuelles parties prenantes concernées (DRAAF/DREAL si empiètement sur une zone d'exclusion par exemple zone Natura 2000, groupements d'apiculteurs, périmètres de cultures biologiques). Dans la plupart des cas, l'opérateur contribue également à la mobilisation sociale pour l'élimination des gîtes larvaires²⁸.

Le marché signé entre l'ARS et son ou ses opérateur.s définit un nombre d'enquêtes et de traitements maximaux réalisables par semaine au cours de la saison d'activité du moustique. L'opérateur est légalement tenu d'intervenir dans un délai de 72 heures après notification du cas par l'ARS. Les éventuelles sanctions en cas de défaut de l'opérateur tout comme les modalités d'intervention au-delà des seuils fixés ne sont pas publiées.

❖ Modalités de traitement de LAV

²⁷ https://signalement-moustique.anses.fr/signalement_albopictus/

²⁸ Lors de l'enquête entomologique, l'opérateur indique aux particuliers comment éliminer les gîtes (identification et vidange des réserves d'eau stagnantes susceptibles d'accueillir les pontes).

Après signalement du cas à l'ARS, les résultats de l'enquête épidémiologique sont saisis dans la base de données Voozarbo²⁹ puis transmis à l'opérateur de démoustication via le SI-LAV³⁰, tel qu'illustré sur la Figure 6.

Les lieux fréquentés par les cas importés d'arbovirose pendant leur période de virémie sont prospectés par l'opérateur au cours d'une enquête de terrain (priorisation éventuelle des lieux par l'ARS – Anses 2024). Les gîtes larvaires repérés dans ces lieux, et notamment autour du domicile, sont neutralisés (destruction mécanique ou traitement chimique si la destruction est impossible). Les vecteurs adultes sont ensuite éliminés par pulvérisation d'insecticide (deltaméthrine)³¹ dans un rayon de 150 m autour du lieu fréquenté : nébulisation à froid autoportée (c'est-à-dire à partir d'un véhicule spécialisé) et thermonébulisation pédestre au cœur des zones de LAV, ou nébulisation à froid seule si contexte défavorable à l'utilisation d'un thermonébulisateur. Ces interventions adulticides sont en général nocturnes (aube et soirée).

L'objectif de la LAV est de réduire la capacité vectorielle en réduisant la densité et la longévité des vecteurs autour des cas humains.

En cas de circulation autochtone, l'opérateur réalise deux traitements de la zone concernée à trois ou quatre jours d'écart³² (en fonction des conditions météorologiques) et peut être amené à étendre son périmètre d'intervention, notamment pour les traitements pédestres. Les interventions de l'ARS et de l'OpD autour d'un cas autochtone mobilisent donc plus de moyens humains et matériels que les interventions autour d'un cas importé, notamment en raison d'une recherche renforcée des personnes absentes et des accès aux logements des riverains.

Lorsque les cas se multiplient, si le nombre d'interventions dépasse les capacités de l'opérateur (telles que définies dans le marché public), les services peuvent être saturés. La situation de saturation peut concerner la disponibilité humaine (qui peut être palliée par des recrutements de renforts) ou de matériel. Cette saturation n'est cependant pas complètement reliée au nombre de cas autochtones, mais plutôt au nombre de foyers et à l'extension géographique de la zone à traiter au cours d'un temps t , tout comme à la pression d'importation. Le nombre de traitements maximal par semaine est dimensionné pour répondre aux situations rencontrées depuis 2010 dans les marchés actuels et non à des situations exceptionnelles comme 2022 et 2023, et la saturation au niveau régional peut être assez vite atteinte. Chez les opérateurs ayant des contrats dans plusieurs régions, la question du partage et du déplacement des ressources peut également jouer un rôle majeur pour faire face à la situation de saturation.

En situation de saturation, les opérateurs doivent : i) prioriser certaines interventions et/ou renoncer au traitement autour de certains cas, ii) réduire la surface de traitement et/ou le nombre de passages autour d'un cas, et/ou iii) traiter des zones de circulation ou des quartiers et non plus de manière localisée autour des cas. Ces adaptations de protocoles peuvent aussi

²⁹ La base Voozarbo est une base de données épidémiologiques des cas d'arboviroses gérée par SpF et partagée avec l'ARS et le CNR Arbovirus

³⁰ Le SI-LAV est une base de données entomologiques et LAV gérée par la DGS et les ARS et partagées avec les OpD et SpF.

³¹ Seule modalité de LAV adulticide autorisée dans l'arrêté du 23 juillet 2019.

³² Annexe 3 de l'arrêté du 23 juillet 2019 relatif aux modalités de mise en œuvre des missions de surveillance entomologique, d'intervention autour des détections et de prospection, traitement et travaux autour des lieux fréquentés par les cas humains de maladies transmises par les moustiques vecteurs. (JORF n°0174 du 28 juillet 2019)

être mises en place lorsque la population rejette les mesures de LAV et ne laisse pas les opérateurs accéder aux jardins privés. L'efficacité de ces mesures est alors très diminuée car les traitements sont effectués depuis la rue.

C'est lorsque la LAV doit passer sous la forme d'interventions à l'échelle de quartiers que la demande en matériel est la plus élevée, les surfaces à traiter étant plus importantes. À La Réunion, au vu de leur faible efficacité et de leur rejet par la population, les traitements nocturnes avec véhicule autoporté ont été abandonnés (ARS de la Réunion).

En cas d'épidémie sur le territoire hexagonal, la gestion de la crise reposera sur le volet LAV du dispositif ORSEC (ORSEC-LAV en cours d'élaboration par les ARS à la date de rédaction de ce rapport). En particulier, il permettra de recenser des organismes publics ou privés pouvant être mobilisés sur la LAV (y compris des opérateurs hors marché et des collectivités) et d'anticiper un plan de communication et de gestion de crise. Le dispositif sera déclenché par l'ARS sur la base de l'évolution de l'activité en lien avec la situation épidémique.

2.5.3 Vaccins

L'arsenal vaccinal disponible actuellement pour lutter contre les arbovirus demeure assez limité.

❖ Vaccins historiques contre les arbovirus

On dispose actuellement d'un vaccin vivant atténué très efficace et très bien toléré contre le virus de la fièvre jaune (anti-amarile, souche 17D) qui est considéré comme l'un des meilleurs vaccins viraux actuels. Il induit une protection d'environ 90 % après une seule injection. Ce vaccin est recommandé, voire obligatoire, pour les voyageurs se rendant dans des zones où la fièvre jaune est endémique. En France hexagonale, le vaccin est uniquement disponible dans les centres de vaccination agréés.

Il existe également plusieurs vaccins dirigés contre le virus de l'encéphalite japonaise. Le vaccin Ixiaro® qui est commercialisé en France est basé sur l'utilisation de virus inactivé et nécessite l'administration de deux doses avec la production d'anticorps protecteurs dans 95 % des cas. Une dose de rappel (troisième dose) est recommandée au cours de la seconde année (c'est-à-dire 12 à 24 mois après la première dose) pour les individus se trouvant en situation d'exposition persistante au virus de l'encéphalite japonaise.

❖ Vaccins contre le virus de la dengue

Il existe actuellement deux vaccins contre la dengue possédant une autorisation de mise sur le marché (AMM) européenne.

Le vaccin vivant atténué, chimérique recombinant quadrivalent (sérotypes 1, 2, 3 et 4) Dengvaxia®, commercialisé par le laboratoire Sanofi, est autorisé depuis 2015 dans certains pays. Chaque sérotype est obtenu par une recombinaison génétique entre le virus de la fièvre jaune et les sérotypes sauvages du virus de la dengue. Néanmoins des études ont montré que des jeunes enfants de moins de neuf ans jamais exposés au virus de la dengue et vaccinés avaient plus de risque de présenter une dengue grave que des enfants non vaccinés. C'est pourquoi ce vaccin a obtenu une AMM européenne le 12 décembre 2018 sous certaines restrictions. Ainsi, en France il n'est indiqué que chez les personnes âgées de 9 à 45 ans vivant dans les territoires français d'Amérique (Antilles et Guyane) et apportant la preuve

documentée d'une infection antérieure par le virus de la dengue confirmée virologiquement (HAS 2021). La Haute Autorité de Santé (HAS) dans son avis du 3 novembre 2021 souligne que les conditions d'utilisation de ce vaccin ne sont pas optimales en raison de l'absence actuelle de test performant et validé de diagnostic d'antécédents d'infection au virus de la dengue.

Le laboratoire japonais Takeda a développé plus récemment un autre vaccin contre la dengue, QDENGGA®, tétravalent vivant atténué, chimérique recombinant, constitué de quatre virus recombinants construits sur la base du virus dengue 2 (DENV 2) et exprimant les protéines de surface des quatre virus de la dengue (DEN 1 à DEN 4). Dans ce cas, le support viral est un virus dengue 2 atténué. Trois virus recombinants ont été créés pour exprimer les protéines prM et E des virus dengue 1, 3 et 4, puis les quatre souches ont été combinées dans le vaccin. Cette approche présente l'avantage par rapport à celle adoptée par Sanofi de contenir tous les antigènes (à l'exception de prM et E) de quatre virus différents de la dengue, ce qui est supposé offrir une meilleure protection. L'efficacité de protection contre l'infection après deux doses, variable suivant les sérotypes (notamment plus faible pour le DENV-3), est estimé autour de 60 % en moyenne (mais plus basse chez les sujets n'ayant jamais été infectés) ; et à plus de 83 % contre les infections graves nécessitant une hospitalisation. Ce vaccin a obtenu une AMM pour l'Union Européenne le 5 décembre 2022, pour les personnes à partir de quatre ans, et ceci quel que soit leur statut sérologique. La discussion concernant les éventuelles indications de QDENGGA® en France est en cours, avec une recommandation de la HAS attendue pour juin 2024³³.

Par ailleurs, l'institut brésilien Butantan développe un vaccin monodose dont les premiers résultats de phase 3 à deux ans ont été récemment publiés (Kallas *et al.*, 2024 ; Halstead, 2024).

L'OMS dans un « *position paper* » de mai 2024 reste prudente quant aux vaccins et indique notamment que « la vaccination contre la dengue doit être considérée comme l'un des éléments d'une stratégie intégrée comprenant également d'autres mesures de lutte contre cette maladie, notamment la lutte antivectorielle, la prise en charge adéquate des cas, l'éducation et la mobilisation des communautés.../...La mise en œuvre de mesures exhaustives de lutte antivectorielle reste une composante fondamentale des programmes de lutte contre la dengue, d'autant plus que les moustiques vecteurs de cette maladie transmettent aussi d'autres virus importants, notamment les virus de la fièvre jaune et du chikungunya et le virus Zika »³⁴

❖ Vaccin contre le virus chikungunya

Concernant le virus chikungunya, un vaccin vivant atténué a été développé par l'armée américaine dans les années 1980, mais ne respectant pas les normes de sécurité requises, il a été depuis abandonné. Actuellement, plusieurs candidats vaccins sont en cours de développement. Le plus avancé est celui élaboré par le laboratoire Français Valneva, un vaccin monovalent vivant atténué nécessitant une seule injection (Schneider *et al.* 2023). Ce vaccin (Ixchiq) est actuellement le premier et le seul candidat vaccin contre le virus chikungunya pour lequel un processus de revue réglementaire est en cours. Il fait l'objet d'une

³³ https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2023-09/recommandation_vaccinale_contre_la_dengue_note_de_cadrage.pdf

³⁴ <https://www.who.int/publications/i/item/WER9918>

demande d'autorisation de mise sur le marché auprès de l'Agence européenne des médicaments (EMA) depuis octobre 2023. Compte tenu « de l'intérêt majeur pour la santé publique », il s'est vu accorder une revue accélérée de cette demande par le Comité des médicaments à usage humain (CHMP) de l'EMA, qui a rendu un premier avis positif le 27 novembre 2023. L'EMA a demandé à la Commission européenne l'octroi d'une autorisation de mise sur le marché le 31 mai 2024. Il a par ailleurs été autorisé aux États-Unis par la *Food and Drug Administration* (FDA) le 9 novembre 2023³⁵. D'autres candidats vaccins exploitent la technologie de l'ARNm et sont en cours de développement notamment par le laboratoire Moderna (Shaw *et al.* 2023).

❖ Vaccin contre le virus Zika

À ce jour il n'y a pas de vaccin disponible contre le virus Zika malgré des recherches très actives suite à l'épidémie de 2015/2016. Une vingtaine de candidats vaccins sont en cours de développement (Vouga *et al.* 2016).

Il est important de noter que la disponibilité des vaccins peut varier en fonction des zones géographiques, et que, par ailleurs, tous les vaccins contre les arbovirus ne sont pas universellement recommandés ou largement utilisés.

Synthèse

Le dispositif de surveillance de la dengue, des fièvres à virus chikungunya et virus Zika est fondé sur la déclaration obligatoire (DO) à l'ARS des cas documentés biologiquement (cas confirmés et probables³⁶). Cette surveillance est renforcée chaque année entre mai et novembre, correspondant à la période estimée d'activité du vecteur au moment de la rédaction de ce rapport, avec notamment une sensibilisation des professionnels de santé au diagnostic et au signalement des cas et l'activation d'un dispositif de transfert automatisé des résultats biologiques des principaux laboratoires permettant le rattrapage des cas non signalés. Ce dispositif permet de déclencher les mesures de prévention et de contrôle autour des cas.

Les cas signalés à l'ARS, qu'ils soient importés ou autochtones, font l'objet d'une enquête épidémiologique et entomologique. Lorsqu'il s'agit de cas autochtones, les investigations sont plus poussées, avec une recherche active de cas qui, le plus souvent, inclut une enquête en porte à porte. Cette recherche active de cas vise à détecter d'autres cas autochtones ainsi que le cas importé à l'origine de la transmission, afin de caractériser l'ampleur et la dynamique temporelle et spatiale de la transmission et ainsi guider les mesures de prévention et de contrôle, notamment les mesures de lutte antivectorielle (LAV) et de sécurisation des produits issus du corps humain.

La LAV a pour objectif de lutter contre la transmission et la circulation d'agents pathogènes transmis par des moustiques vecteurs, en agissant sur les populations de vecteurs, mais aussi sur le comportement de la population humaine et en minimisant les risques d'atteinte à l'environnement, à la biodiversité et aux populations. Ces missions, déléguées par l'ARS

³⁵ <https://www.fda.gov/news-events/press-announcements/fda-approves-first-vaccine-prevent-disease-caused-chikungunya-virus>

³⁶ Cas probable et cas confirmé : voir glossaire

à des opérateurs de démoustication, voient leur fréquence augmenter au cours des saisons, avec un risque de saturation des services observé depuis quelques années dans les régions présentant le plus grand nombre de cas autochtones ou en cas de nombreux cas importés.

À la date de ce rapport, aucun traitement antiviral contre ces trois virus ni aucun vaccin contre le virus de la dengue ou le virus chikungunya n'est recommandé dans la situation épidémiologique du territoire hexagonal, et aucun vaccin n'existe contre le virus Zika. Des évolutions des stratégies vaccinales dans les pays endémiques et pour les voyageurs seront néanmoins envisageables dans un avenir proche.

3 Probabilité d'apparition et ampleur d'épisodes de transmission autochtone d'arbovirus par *Aedes albopictus* en France hexagonale — Réponse aux questions 1 et 2

Le GT a souhaité adopter une approche pragmatique permettant d'identifier des leviers d'action pour limiter les risques de déclenchement d'épidémies dues à un arbovirus transmis par *Ae. albopictus* en France hexagonale. Pour ce faire, le GT a décrit de la manière la plus exhaustive possible les facteurs pouvant augmenter ou, au contraire, diminuer la probabilité d'apparition d'un épisode de transmission autochtone d'arbovirus, ainsi que les facteurs conditionnant l'ampleur de l'épidémie éventuellement induite. Ces facteurs relèvent de domaines variés liés par exemple à la nature du virus, à l'environnement, à l'organisation de la surveillance et de la lutte antivectorielle, etc. L'identification et la qualification de ces facteurs permettent l'établissement de recommandations et l'identification des différents acteurs qui pourront être mobilisés dans un objectif d'optimisation de la prévention et du contrôle des arboviroses.

Le GT n'a pas souhaité formaliser son analyse par un travail de modélisation considérant (i) que les données disponibles ne permettent pas une analyse quantitative suffisamment robuste, et (ii) que de nombreux travaux sont en cours au moment de la rédaction du rapport par plusieurs équipes de recherche en France et en Europe pour fournir des cartes de risque évolutives (Tjaden *et al.* 2021).

3.1 Méthodologie

La probabilité d'apparition d'un épisode de transmission autochtone d'un arbovirus par un moustique dépend de nombreux facteurs, chacun d'entre eux ayant une influence plus ou moins grande. La connaissance de ces facteurs, et notamment des facteurs (i) ayant une influence majeure sur la transmission ; et (ii) sur lesquels il est possible d'exercer une action préventive, ou qui sont déjà eux-mêmes protecteurs vis-à-vis du risque de transmission, est essentielle pour les décideurs.

❖ Facteurs influençant l'apparition et l'ampleur d'un épisode de transmission

Description des facteurs

Sur la base de l'analyse de la bibliographie disponible et des opinions d'experts, le GT a élaboré une liste des facteurs influençant la probabilité d'apparition d'un épisode de transmission autochtone et/ou pouvant en moduler l'intensité et l'ampleur (nombre de cas attendus). Ces facteurs relèvent de cinq domaines :

- l'environnement ;
- les populations humaines (l'hôte) ;
- le virus ;
- les moyens de lutte ;
- les moyens de préparation.

Le GT a ajouté à ces cinq domaines un facteur dit « discriminant », correspondant à la présence ou l'absence du moustique vecteur sur le territoire étudié. Ce facteur conditionne le risque : en l'absence du moustique vecteur, aucune transmission autochtone n'est possible (dans la limite des biais de détection des moustiques).

Influence de chacun des facteurs

L'influence de chaque facteur sur la probabilité d'apparition d'un épisode de transmission autochtone, ainsi que sur l'ampleur de cet épisode a été évaluée par les experts du GT. Afin d'évaluer l'importance et le rôle de chacun de ces facteurs, il a été demandé à chaque expert de leur attribuer une note de -4 à 4. Plusieurs facteurs peuvent avoir la même note s'ils ont le même niveau d'influence sur la probabilité d'apparition d'un épisode de transmission autochtone, ou sur son ampleur. L'échelle de notation est présentée dans le Tableau 1.

L'expert devait juger si le facteur joue faiblement, moyennement, fortement ou très fortement pour favoriser ou, au contraire, limiter la transmission autochtone d'arbovirus (ou s'il n'a aucun effet).

Il ne s'agit **pas** de décrire les niveaux possibles pour chaque facteur, ni *a fortiori* de quantifier ces facteurs pour une zone géographique donnée.

Tableau 1. Notes évaluant l'influence d'un facteur sur la probabilité d'apparition et l'ampleur d'un épisode de transmission autochtone d'arbovirus par *Aedes albopictus*.

Note	Influence
4	Favorise très fortement la transmission
3	Favorise fortement la transmission
2	Favorise modérément la transmission
1	Favorise faiblement la transmission
0	Pas d'effet
-1	Limite faiblement la transmission
-2	Limite modérément la transmission
-3	Limite fortement la transmission
-4	Limite très fortement la transmission

L'incertitude de la notation est évaluée pour chaque note et chaque facteur, selon les modalités utilisées à l'Anses dans le cadre de précédents travaux et disponibles en Annexe 2 du présent rapport, les indices d'incertitude s'échelonnant de 1 à 4. Ils permettent d'exprimer l'incertitude associée à la notation du facteur à travers l'appréciation de la qualité et de la fiabilité des données et connaissances disponibles. L'indice « 1 » est attribué si le niveau de connaissances est considéré suffisant et fiable, et l'indice « 4 » est attribué en l'absence totale de données ou d'avis d'expert (l'élément évalué n'est alors pas noté).

Lors de la première étape des travaux, chaque expert a attribué deux notes, et les incertitudes associées à chaque note, pour tous les facteurs de la liste, afin d'évaluer leur influence

respective sur d'une part, la probabilité d'apparition d'un épisode de transmission autochtone, et d'autre part, l'ampleur que pourrait prendre cette épidémie. Les experts se sont appuyés sur leurs propres connaissances et sur la bibliographie disponible. Le GT rassemblant des experts aux domaines de compétences parfois très éloignés des facteurs évalués, certains experts ont souhaité s'abstenir de noter certains facteurs lors de cette première étape.

Lors d'une deuxième étape, les notes attribuées par chaque expert ont été anonymisées et présentées sous forme de graphique au cours d'une réunion de consensus. Lors de cette réunion, l'ensemble des experts s'est mis d'accord sur une note et une incertitude uniques pour chaque facteur, d'abord sur la probabilité d'apparition puis sur l'ampleur d'une épidémie due à un arbovirus transmis par *Ae. albopictus*. Les experts ont veillé à ce que l'ensemble des notes attribuées soient cohérentes.

❖ **Probabilité d'apparition d'un épisode de transmission autochtone et d'une épidémie d'arbovirose**

Le GT a évalué les probabilités d'apparition d'un épisode de transmission autochtone et d'une épidémie d'arbovirose. La probabilité d'apparition d'une épidémie a été évaluée à une échéance de cinq ans, en considérant que ce pas de temps permet de prendre en compte l'évolution de la colonisation du territoire hexagonal par *Ae. albopictus* ainsi que les effets des changements globaux, avec notamment l'observation possible d'une diminution de la durée de la diapause hivernale. Cette probabilité, déterminée par avis d'expert en utilisant l'échelle Afssa 2008 (voir Annexe 3), est évaluée dans l'hypothèse d'un maintien des moyens de LAV et d'investigation au même niveau d'activité que ce qui est observé actuellement.

❖ **Description de l'ampleur d'un épisode de transmission autochtone**

Afin de décrire l'ampleur que pourrait prendre un épisode de transmission autochtone d'arbovirus par *Aedes albopictus*, le GT a adapté les différents niveaux qui figuraient dans le plan anti-dissémination du chikungunya et de la dengue en France hexagonale³⁷. Ceux-ci correspondent à différents niveaux de transmission pour lesquels des mesures adaptées étaient décrites sur (i) la surveillance entomologique, épidémiologique et virologique et (ii) la prévention et le contrôle de la transmission autochtone.

Le référentiel proposé ici distingue cinq niveaux de transmission autochtone correspondant à des profils épidémiologiques différents (allant du 'Niveau 0 = pas de transmission autochtone' au 'Niveau 4 = épidémie majeure') auxquels sont associées des familles d'acteurs ainsi que des catégories d'impacts spécifiques qui seront décrites dans le chapitre 4 de ce rapport.

³⁷ Circulaire DGS/RI1 n°2010-163 du 17 mai 2010 relative aux modalités de mise en œuvre du plan anti-dissémination du chikungunya et de la dengue en métropole. Disponible sur https://sante.gouv.fr/IMG/pdf/plan_antidissemation_dengue_chikungunya_2010-2.pdf

3.2 Les facteurs influençant l'apparition d'un épisode de transmission autochtone et son ampleur

3.2.1 Description des facteurs influençant l'apparition et l'ampleur d'un épisode de transmission autochtone d'arbovirus par *Aedes albopictus*

Le GT a identifié 25 facteurs répartis en cinq domaines pouvant influencer la probabilité d'apparition et l'ampleur d'un épisode de transmission autochtone d'arbovirus par *Ae. albopictus*. Ils sont présentés dans le Tableau 2.

Une description détaillée de chacun de ces facteurs et des sources associées est disponible en Annexe 4.

Tableau 2. Description des facteurs pouvant influencer la probabilité d'apparition et l'ampleur d'un épisode de transmission autochtone d'arbovirus par *Aedes albopictus*

DOMAINE	FACTEURS		DESCRIPTION
ENVIRONNEMENT	Densité d' <i>Aedes albopictus</i>	Température cumulée (<i>Growing Degree Days</i> - GDD)	*mesure de la quantité de chaleur accumulée au cours d'une période donnée. *significativement associé à la survenue d'épisodes de transmission autochtone (conditionne la densité vectorielle, la compétence vectorielle et la période d'incubation extrinsèque)
		Occupation du sol	*l'occupation du sol est, pour la FAO (1998) : « la couverture (bio)-physique de la surface des terres émergées » et donc le type d'usage (ou de non-usage) fait des terres par l'être humain. *nombre potentiel de gîtes larvaires présents dans l'environnement
		Végétation observée dans la zone	*taux de couverture végétale de la surface étudiée, dans l'habitat du moustique tigre en métropole (zone urbaine ou péri-urbaine) *un taux de couverture végétale élevé dans un contexte urbain ou péri-urbain a été associé à la survenue d'épisodes de transmission autochtone
		Précipitations	*facteur complexe, aux effets positivement ou négativement associés à la densité vectorielle en fonction des études. *nécessite de prendre en compte les quantités, mais aussi leur distribution, les événements extrêmes et les alternances avec les périodes de sécheresse *contrebalancé par les pratiques humaines (stockage de l'eau)
POPULATIONS HUMAINES (HÔTE)	Pourcentage de la population exposée au moustique tigre		*pourcentage de la population du département vivant dans une commune considérée colonisée par <i>Ae. albopictus</i>
	Densité de la population du département étudié		*facteur complémentaire du pourcentage de la population exposée pour évaluer la taille de la population exposée au risque de transmission autochtone *des variations saisonnières de la densité peuvent avoir lieu avec les flux touristiques
	Flux de personnes	Flux de voyageurs provenant d'un territoire international ou des DROM en situation d'épidémie	*flux entrant de personnes issues d'un territoire où le virus circule autre que la France hexagonale : source de cas importés (préalable à une transmission autochtone en l'absence de persistance du virus dans l'Hexagone)
		Flux de voyageurs provenant d'un territoire hexagonal en situation de transmission autochtone/épidémie	*flux entrant de personnes depuis un département français hexagonal avec transmission autochtone : source de cas importés sur le territoire étudié avec une souche capable de se transmettre efficacement dans les conditions de l'Hexagone
		Présence d'un événement international majeur sur le territoire hexagonal hors du territoire étudié	*représente le risque d'importation de cas humains depuis cet événement vers le territoire étudié
		Présence d'un événement international majeur sur le territoire étudié	*représente le flux de cas importés liés aux personnes de provenances diverses se rendant à cet événement

DOMAINE	FACTEURS	DESCRIPTION
	Influence de la pratique d'une activité en extérieur sur le risque de piqûres	*facteur complexe, ayant un effet positif ou négatif sur l'exposition aux piqûres de moustiques, correspondant à la pratique d'une activité dans un environnement extérieur plus ou moins favorable au moustique tigre, comme le jardinage
VIRUS	Proportion d'individus asymptomatiques	*proportion de personnes asymptomatiques ou paucisymptomatiques. Ces personnes n'auront pas recours aux soins et ne seront donc pas identifiées par le dispositif de surveillance. Par conséquent, aucune mesure de LAV, ni le plus souvent de protection personnelle ne sont appliquées. *50 à 90% pour la dengue et l'infection à virus Zika, 20 à 40 % pour l'infection à virus chikungunya. Varie selon les études.
	Transmission sexuelle	*concerne essentiellement le virus Zika *quelques rares cas décrits pour le virus de la dengue *non décrit pour le virus chikungunya
	Transmission par les produits issus du corps humain	*transmission décrite pour des transfusions sanguines, des greffes d'organes, de tissus ou de cellules, pour le virus de la dengue essentiellement, mais aussi le virus chikungunya et le virus Zika *des contaminations lors d'accidents d'exposition au sang (piqûre par une aiguille souillée) ont été décrites
	Méthodes diagnostiques disponibles, performantes et réalisables	*comprend l'appréciation de la disponibilité et la performance des tests diagnostiques, ainsi que la capacité diagnostique des laboratoires
	Transmissibilité des différentes souches	* transmissibilité : correspond à la probabilité qu'un virus soit transmis d'un hôte infecté à un vecteur réceptif, et d'un vecteur infecté à un hôte sensible *ce facteur traduit la différence de transmissibilité entre différentes souches virales ou lignages viraux par un même vecteur (exemple : certaines souches de virus chikungunya sont capables d'être mieux transmises par <i>Ae. albopictus</i> que d'autres souches) *affecte la capacité des souches à maintenir des cycles de transmission dans des populations de vecteurs spécifiques
	Pourcentage de la population immunisée	*proportion de personnes protégées par leur immunité : personnes vaccinées (à ce jour concerne essentiellement la fièvre jaune) ou ayant déjà été infectées. *Dans le cas de la dengue, l'immunité conférée par un sérotype ne protège que contre ce même sérotype. La population immunisée par une première infection est plus à risque de forme grave de dengue lors d'une infection par un autre sérotype de dengue

DOMAINE	FACTEURS	DESCRIPTION
MOYENS DE LUTTE	Réactivité du signalement et de la mise en place des mesures de LAV	*délai de signalement : entre la date de début des signes et le jour du signalement de cas humains à l'ARS *délai de mise en place des mesures : délai d'investigation des cas + information des opérateurs de démoustication + mise en place de la LAV
	Moyens de LAV saturés	*la LAV s'organise via des contrats régionaux des opérateurs de démoustication avec les ARS par marché public, avec un nombre maximal de traitements réalisables sur la région, par semaine *la saturation concerne la disponibilité humaine et matérielle *elle est liée au nombre des foyers et à l'extension géographique de la zone à traiter au cours du temps.
	Expérience et compétences des acteurs de la LAV	*l'expérience et les compétences des acteurs de la LAV conditionnent l'efficacité des opérations de LAV ainsi que la détection du vecteur autour des cas importés
	Présence d'un autre évènement concomitant mobilisant des ressources matérielles et humaines (ex : problème sanitaire, incendies, baisse des effectifs en période estivale)	*ressources mobilisables sous l'autorité du préfet (futur plan ORSEC-LAV) : ressources internes d'autres services ; réserve sanitaire ; services de pompiers *en cas d'autre évènement concomitant, ces ressources pourraient ne pas pouvoir être mobilisées (autre épidémie, incendies, etc.)
PREPARATION	Dispositif de surveillance entomologique	*réseau de pièges pondoires avec prospections ciblées et surveillance participative des citoyens (signalement-moustique.fr) *la surveillance des virus dans les moustiques n'est réalisée que de manière ponctuelle dans le cadre d'études
	Sensibilisation des professionnels de santé au diagnostic et au signalement	*courriers électroniques diffusés par les ARS aux professionnels de santé *communications par les pairs : sociétés savantes, organismes professionnels, etc. *inclut également les notes de la DGS (DGS urgents par exemple) et les communiqués de presse *vise à améliorer l'exhaustivité du diagnostic et le délai de signalement des cas (diagnostic et signalement)
	Sensibilisation de la population à ces maladies, à la protection et à la lutte contre les moustiques	*les messages de sensibilisation au risque arboviroses visent surtout les voyageurs *la population générale est visée, par communiqués de presse, dans certaines zones à risque, et lors de l'identification de circulation autochtone *sensibilisation aux maladies : messages de sensibilisation aux symptômes et à la nécessité de consulter *sensibilisation à la protection : utilisation de protections individuelles (répulsifs, vêtements longs, moustiquaires, etc.) *sensibilisation à la lutte : suppression des gîtes larvaires
	Sensibilisation des décideurs au risque épidémique de transmission d'arboviroses	*correspond à la conscience qu'ont les décideurs du niveau de risque de cas d'arboviroses autochtones sur leur territoire *conditionne l'implication des décideurs dans la prévention et la lutte contre ces arboviroses

3.2.2 Importance des facteurs influençant l'apparition et l'ampleur d'un épisode de transmission autochtone d'arbovirus par *Aedes albopictus*

Après avoir été identifiés, les facteurs ont été classés en fonction de leur note et de l'incertitude associée à cette note, pour leur influence sur la probabilité d'apparition (Figure 7) et l'ampleur potentielle (Figure 8) d'un épisode de transmission autochtone. Pour faciliter la compréhension et ne pas engendrer une connotation négative à des facteurs de protection, les notes des facteurs protecteurs vis-à-vis du risque (de -1 à -4) ont été indiquées en valeur absolue (de 1 à 4). Une version monochrome des figures 7 et 8 est disponible en Annexe 5.

3.2.2.1 Facteurs influençant l'apparition d'un épisode de transmission autochtone d'arbovirus

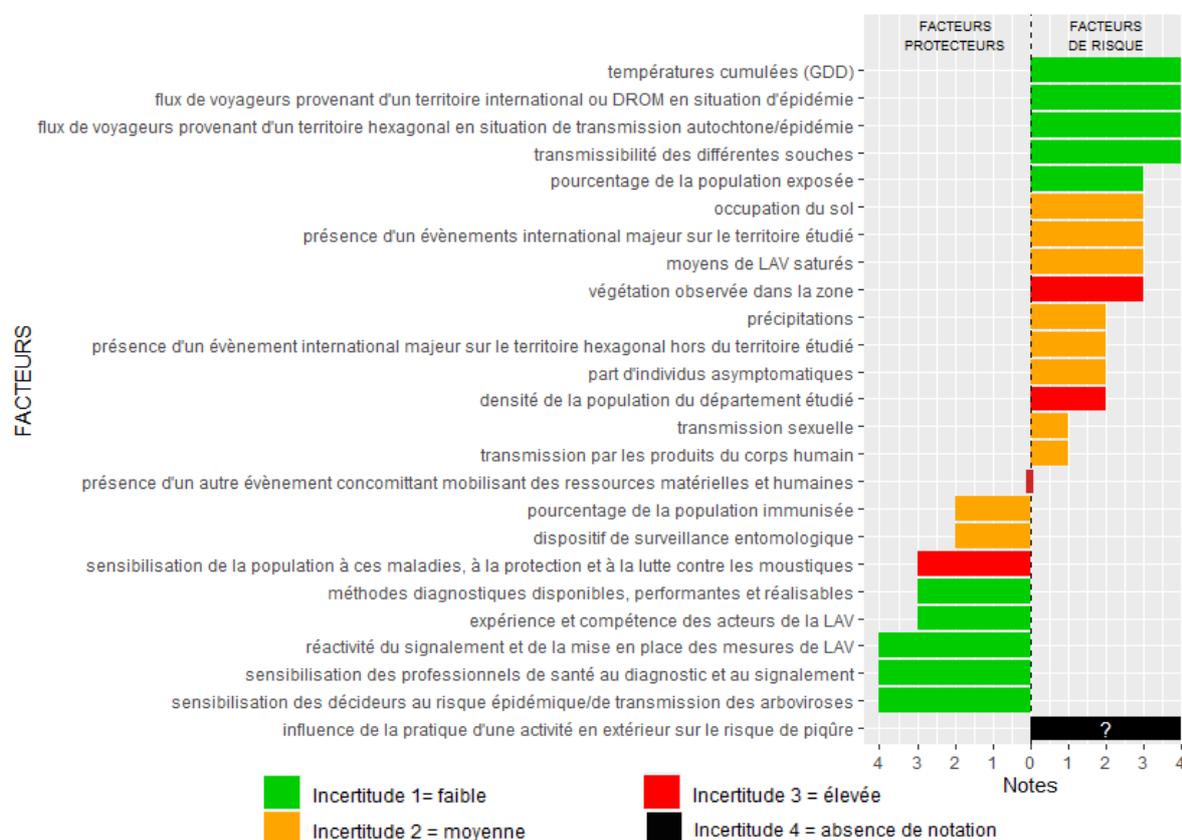


Figure 7. Influence des facteurs sur l'APPARITION d'un épisode de transmission d'arbovirus par *Aedes albopictus*

1- Facteurs favorisant très fortement l'apparition d'une transmission autochtone d'arbovirus

Les trois facteurs qui favorisent le déclenchement d'un épisode de transmission autochtone d'arbovirus sont, en premier lieu, des températures favorables (traduites par un fort impact du GDD - (Roiz *et al.* 2015; Jourdain, Roiz, Valk, *et al.* 2020; Stephenson *et al.* 2022), l'importation de virus de la dengue, virus Zika, ou virus chikungunya en provenance d'une zone où une épidémie est en cours (à l'étranger ou sur d'autres territoires nationaux - (Solimini *et al.* 2018; Rocklöv *et al.* 2019), et la

transmissibilité de la souche virale introduite (Vega-Rúa *et al.* 2014; Mariconti *et al.* 2019). L'incertitude est qualifiée de faible pour tous ces facteurs.

2- Facteurs favorisant fortement l'apparition d'une transmission autochtone d'arbovirus

Le pourcentage de la population directement exposée à la piqûre du moustique est un facteur qui favorise fortement la probabilité d'apparition d'une transmission autochtone sur un territoire. L'incertitude est qualifiée de faible pour ce facteur.

La tenue d'un évènement international majeur sur le territoire et les flux de voyageurs associés (Gallego *et al.* 2014; Wilson *et al.* 2014; Arbex *et al.* 2016; Petersen *et al.* 2016), la saturation des moyens de LAV et l'occupation du sol (Waldock *et al.* 2013) sont également des facteurs favorisant fortement l'apparition d'une transmission autochtone, mais avec une incertitude qualifiée de moyenne pour ces trois facteurs.

La présence de végétation dans la zone peut également être un facteur susceptible de favoriser l'apparition d'une transmission autochtone, mais avec une incertitude élevée. Le lien complexe entre occupation du sol, végétation observée dans la zone et capacité vectorielle a été décrit dans plusieurs études en Europe (Jourdain, Roiz, Valk *et al.* 2020; Solimini *et al.* 2023), mais des travaux complémentaires restent nécessaires pour permettre de mieux comprendre la relation entre végétation et risque vectoriel, en particulier en zone urbanisée et dans les environnements tempérés.

3- Facteurs favorisant modérément l'apparition d'une transmission autochtone d'arbovirus

La dynamique naturelle des précipitations (quantité et distribution) aura une influence modérée sur la probabilité d'apparition d'une transmission autochtone, même si elle reste difficile à quantifier (l'incertitude est qualifiée de moyenne) et très complexe à évaluer. Elle peut influencer cette probabilité, essentiellement à travers son impact sur la présence, l'abondance et la survie des vecteurs, et donc sur leur capacité à transmettre un virus. Les modalités de gestion humaine de l'eau ou la survenue d'évènements extrêmes, comme observés lors de l'épisode de transmission autochtone de virus chikungunya à Montpellier en 2014 (Roiz *et al.* 2015), en modulent les impacts sur les vecteurs et la transmission.

L'accueil d'un évènement international majeur sur le territoire hexagonal en dehors du département concerné peut également avoir un impact modéré sur l'apparition d'une transmission autochtone en raison d'une augmentation des flux de personnes et potentiellement des cas importés (l'incertitude est qualifiée de moyenne).

De même, une forte proportion de sujets asymptomatiques pour lesquels les traitements de LAV ne pourront pas être réalisés ou une forte densité de population humaine sur le territoire donné (Romeo-Aznar *et al.* 2018) favoriseront modérément la transmission autochtone d'arbovirus (avec des incertitudes qualifiées respectivement de moyenne et élevée).

4- Facteurs favorisant faiblement l'apparition d'une transmission autochtone d'arbovirus

L'existence d'une transmission sexuelle ou par les produits dérivés du corps humain ont une influence faible sur la probabilité d'apparition d'un épisode de transmission autochtone d'arbovirus (avec une incertitude qualifiée de moyenne), même si les conséquences individuelles peuvent être graves.

5- Facteur sans effet sur l'apparition d'une transmission autochtone d'arbovirus

Le GT a par ailleurs considéré que la présence d'un autre évènement, sanitaire (comme une épidémie de rougeole) ou non (comme un incendie), mobilisant une partie des ressources matérielles et/ou humaines pouvant être mobilisées pour la mise en place des mesures de gestion de crise n'avait pas d'influence sur la probabilité d'apparition d'un épisode de transmission autochtone d'arbovirus (avec une incertitude qualifiée d'élevée).

6- Facteur à effet incertain sur l'apparition d'une transmission autochtone d'arbovirus

L'incertitude concernant l'influence de la pratique d'une activité à l'extérieur sur l'exposition à la piqûre par *Ae. albopictus* et à l'infection par un arbovirus, étant très élevée en raison de l'absence de données dans la littérature, ce facteur n'a pas été noté.

7- Facteurs protecteurs contre l'apparition d'une transmission autochtone d'arbovirus

La sensibilisation des décideurs au risque épidémique est essentielle (incertitude qualifiée de faible) et conditionne leur implication, ainsi que les ressources disponibles pour la prévention et la lutte contre les arboviroses sur leur territoire, en période de transmission mais aussi en amont.

Les facteurs liés aux activités de surveillance et d'intervention, comme la sensibilisation des professionnels de santé au diagnostic, au signalement et à la prise en charge des cas d'arbovirose sont des facteurs protecteurs majeurs qui assureront (avec une incertitude qualifiée de faible) la réactivité du dispositif nécessaire pour réduire la probabilité d'apparition d'une transmission autochtone (Jourdain, Roiz, Valk, *et al.* 2020; Jourdain *et al.* 2022).

La disponibilité de méthodes diagnostiques fiables, performantes et réalisables, ainsi que l'expérience et les compétences des acteurs de la LAV sont des atouts supplémentaires pour réduire fortement le risque de transmission autochtone sur un territoire (avec une incertitude faible).

L'incertitude est plus élevée sur le levier que représente la sensibilisation de la population générale au risque d'arboviroses, qui doit aider à prévenir l'apparition d'une transmission autochtone par une détection rapide des cas importés et une vigilance accrue, même si son impact est potentiellement élevé (avec une note de 3 sur 4).

Dans une moindre mesure, un dispositif de surveillance entomologique efficace peut permettre de mieux anticiper l'apparition d'un épisode de transmission autochtone mais ne saurait en prévenir l'occurrence (incertitude moyenne). Il en va de même du

pourcentage de la population immunisée, que ce soit par voie naturelle (pré-exposition) ou vaccinale (incertitude moyenne), il s'agit d'un facteur protecteur (incertitude qualifiée de moyenne), mais qui reste difficile à appréhender en particulier pour ce qui concerne la population de France hexagonale.

3.2.2.2 Facteurs influençant l'ampleur d'un épisode de transmission autochtone

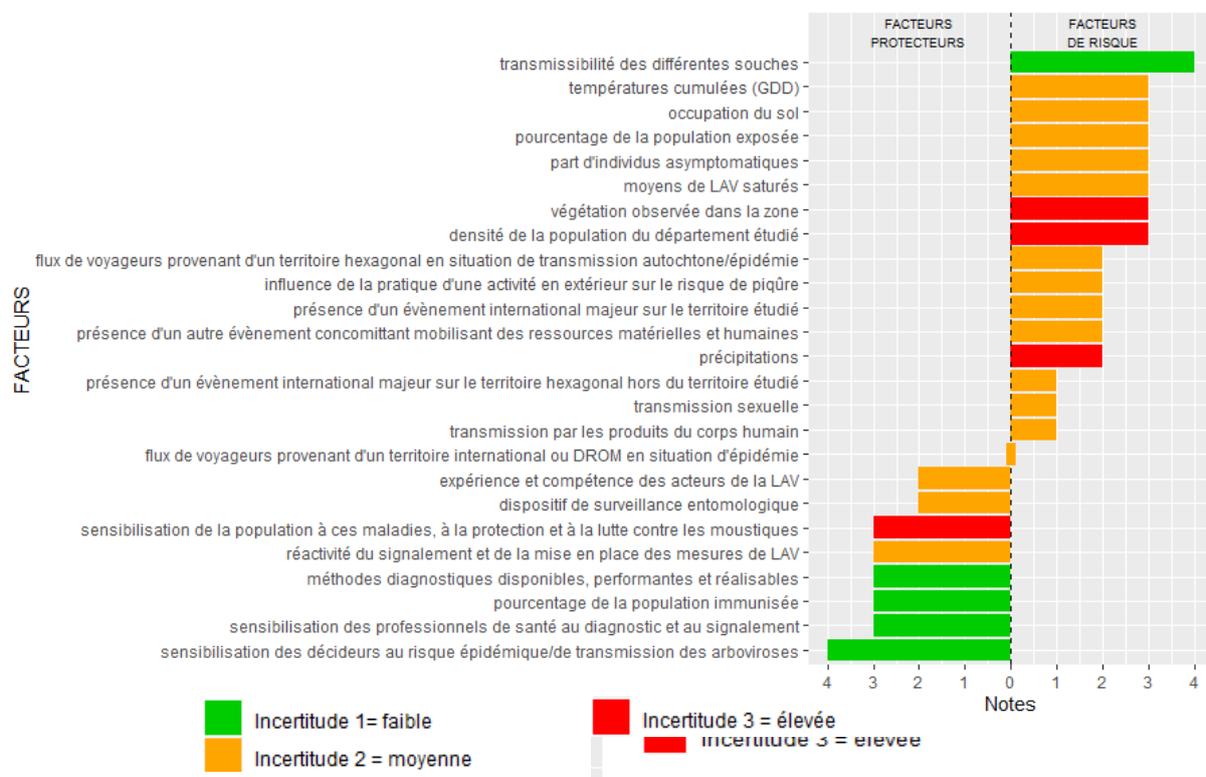


Figure 8. Influence des facteurs sur l'AMPLEUR d'un épisode de transmission autochtone d'arbovirus par *Aedes albopictus*

1- Facteurs favorisant très fortement l'ampleur d'un épisode de transmission

Le principal facteur identifié qui va favoriser une épidémie de grande ampleur est la transmissibilité de la souche virale introduite sur le territoire (avec une incertitude qualifiée de faible).

2- Facteurs favorisant fortement l'ampleur d'un épisode de transmission

Viennent ensuite les facteurs environnementaux (GDD, occupation du sol), le pourcentage de la population exposée, la part d'individus asymptomatiques et la saturation des moyens de LAV qui concourent tous à accroître le risque d'une épidémie de grande ampleur avec une incertitude qualifiée de modérée.

Le GT considère que la couverture végétale dans la zone concernée et la densité de population dans cette même zone influencent également fortement l'ampleur d'un épisode de transmission, mais avec une incertitude élevée.

3- Facteurs favorisant modérément l'ampleur d'un épisode de transmission

L'afflux de voyageurs en provenance d'une zone de transmission active, à l'occasion de l'organisation d'un évènement international majeur par exemple, la mobilisation des moyens sur d'autres fronts ou la pratique étendue d'activités en extérieur peuvent également favoriser l'évolution de foyers de transmission autochtone vers une épidémie de grande ampleur (incertitude qualifiée de moyenne).

Tout comme pour le risque d'apparition, l'impact des précipitations sur l'ampleur d'une épidémie d'arbovirose est réel, mais complexe à évaluer et non documenté dans des environnements comparables à ceux du territoire hexagonal (incertitude qualifiée d'élevée).

4- Facteurs favorisant faiblement l'ampleur d'un épisode de transmission

La possibilité d'une transmission par voie sexuelle (concernant principalement le virus Zika) ou par les produits du corps humain n'a que peu d'impact sur l'ampleur d'une épidémie qui se déclarerait dans l'Hexagone (incertitude qualifiée de moyenne). Il en est de même pour l'organisation d'un évènement international sur le territoire hexagonal hors du territoire étudié (avec également une incertitude qualifiée de moyenne).

5- Facteur estimé sans effet sur l'ampleur d'un épisode de transmission

L'afflux de voyageurs en provenance d'un territoire international ou DROM en situation d'épidémie a été jugé sans effet sur l'ampleur d'une épidémie déjà en cours sur le territoire, avec une incertitude qualifiée de moyenne liée en partie à la nature du variant viral qui serait introduit.

6- Facteurs protecteurs limitant l'ampleur d'un épisode de transmission

L'expérience des acteurs de la LAV et l'existence d'une surveillance entomologique effective et efficace seront des facteurs pouvant permettre de contenir une épidémie et éviter qu'elle ne s'étende. Des personnels de santé formés au diagnostic et au signalement des cas, la disponibilité de méthodes diagnostiques fiables et faciles à mettre en œuvre et, à terme, un taux d'immunisation (naturelle ou vaccinale) élevé dans la population assureront une maîtrise efficace de la propagation des virus et la réactivité nécessaire à la riposte en cas d'émergence d'une transmission autochtone. En raison de l'absence de données sur la zone concernée par la saisine ou dans des zones similaires, le niveau d'incertitude est considéré élevé sur l'ampleur de l'effet bénéfique attendu de la sensibilisation des populations dans ces circonstances, même s'il est potentiellement important. Mais c'est dans la sensibilisation des décideurs au risque vectoriel que réside, selon l'analyse du GT, le plus fort levier pour réduire sensiblement le risque de voir apparaître sur le territoire hexagonal une épidémie de grande ampleur due à un arbovirus transmis par *Ae. albopictus*.

3.3 Probabilité d'apparition d'une épidémie due à un arbovirus transmis par *Aedes albopictus*

La probabilité d'avoir, au cours d'une saison en France hexagonale, au moins un épisode de transmission autochtone sous forme de foyers est très élevée (note de 9 sur une échelle de 0 à 9 – incertitude de 1 = faible³⁸ (Afssa 2008). Des épisodes de transmissions autochtones sont identifiés presque tous les ans depuis 2010 et chaque année depuis 2017. De plus, le nombre de foyers identifiés a augmenté au cours du temps, passant de deux foyers (quatre cas) en 2010 à neuf foyers en 2022 (66 cas) et en 2023 (45 cas). Un pallier a été franchi en 2022, le nombre de foyers et de cas ayant entraîné une mise en tension des services de surveillance et de gestion, avec plus de cas autochtones identifiés en une année qu'au cours de plus de dix ans de surveillance (2010-2021). Ce risque, initialement localisé au Sud-Est de l'Hexagone, s'étend avec la progression de la colonisation par le vecteur *Aedes albopictus*. Il concerne dorénavant, à des degrés divers, l'ensemble du territoire. En 2023, un foyer a été identifié pour la première fois en Île-de-France.

La probabilité d'épidémie d'arbovirose à cinq ans, définie dans le contexte hexagonal, comme la « répartition diffuse de cas humains autochtones au-delà des foyers déjà individualisés » (voir section 3.4) est estimée par les experts entre 6 et 7 (sur une échelle de 0 à 9) (incertitude de 2 = moyenne). Cette estimation fait suite à l'analyse de la situation épidémiologique observée en France hexagonale et en Europe, ainsi qu'à l'analyse des déterminants de la transmission. Cette probabilité n'est pas uniforme sur le territoire.

Afin de préciser et d'évaluer cette probabilité, le GT a listé les facteurs influençant la transmission et évalué leur poids (notes) dans l'apparition et l'ampleur d'un épisode de transmission d'arbovirus (cf. section 3.2).

Comme indiqué *supra*, les facteurs majeurs favorisant l'apparition d'une transmission sont la température cumulée (GDD), les flux de voyageurs (la « pression d'importation »), la transmissibilité des souches virales, la réactivité des services de LAV et la sensibilisation des professionnels de santé et des décideurs.

La plupart de ces facteurs influencent également l'ampleur des foyers de transmission et leur évolution vers une épidémie majeure. Certains facteurs influent plus spécifiquement sur l'ampleur de l'épidémie, comme la densité de population, le pourcentage d'infections humaines asymptomatiques, l'existence d'un autre événement mobilisant les mêmes ressources et le pourcentage de la population vaccinée si un vaccin est à disposition et recommandé.

Les grands événements internationaux organisés en période d'activité d'*Ae. albopictus* sont très favorables à la survenue d'épisodes de transmission d'arbovirus, du fait de la combinaison de facteurs favorables avec notamment de très forts flux de voyageurs et des conditions climatiques favorables.

³⁸ Pour rappel, l'incertitude est évaluée sur une échelle de 1 à 4, selon les modalités retenues dans le cadre de précédents travaux à l'Anses et disponibles en Annexe 2.

3.4 Ampleur d'un épisode de transmission autochtone d'arbovirus par *Aedes albopictus*

Le GT ne peut pas répondre directement à la question posée dans la saisine et anticiper l'ampleur que prendrait une éventuelle épidémie, qui dépend des nombreux facteurs identifiés dans les sections 3.2 et 3.3, et dont l'évolution dans le temps et pour un épisode de transmission donné est difficile voire impossible à prédire. Cependant, il a défini plusieurs niveaux d'ampleur que pourrait prendre un épisode de transmission autochtone, allant jusqu'à une épidémie.

Les différents niveaux définis par le GT permettent de décrire l'ampleur que pourrait prendre un épisode de transmission autochtone d'arbovirus par *Ae. albopictus*. Ils sont validés par le GT pour les trois arbovirus transmis par *Ae. albopictus* en France hexagonale : le virus de la dengue, le virus chikungunya et le virus Zika.

La description de chaque niveau allant de l'absence de transmission autochtone (Niveau 0) jusqu'à une épidémie majeure (Niveau 4) est présentée dans le Tableau 3.

Tableau 3. Définition des différents niveaux d'ampleur d'un épisode de transmission menant à une épidémie selon le GT, adapté à partir du plan anti-dissémination du chikungunya et de la dengue en France hexagonale

Niveaux d'ampleur définis par le GT Anses	Description
Niveau 0	Pas de transmission autochtone, avec ou sans présence de cas importés, avec ou sans présence de moustique tigre
Niveau 1	Épisode de transmission autochtone : présence d'un cas autochtone ou d'un foyer (= au moins deux cas groupés dans le temps et l'espace)
Niveau 2	Foyers localisés : plusieurs épisodes de transmission autochtone, simultanés ou non et sans lien épidémiologique ou présence d'un foyer avec plusieurs zones de circulation
Niveau 3	Epidémie : répartition diffuse de cas humains autochtones au-delà des foyers déjà individualisés
Niveau 4	Épidémie majeure : épidémie sur une zone élargie avec une incidence élevée dépassant les capacités de surveillance des niveaux antérieurs avec adaptation des mesures de gestion et impacts multisectoriels

Ces différents niveaux d'ampleur sont exploités dans la réponse à la question 3 afin d'illustrer le niveau de transmission à partir duquel l'impact identifié serait attendu.

Synthèse

L'apparition et l'ampleur d'un épisode de transmission autochtone d'un arbovirus par *Ae. albopictus* en France hexagonale sont influencées par de nombreux facteurs qui agissent de concert et dont l'importance varie les uns par rapport aux autres en fonction du contexte local. Un épisode de transmission autochtone ne peut se produire qu'après introduction du virus (par une personne infectée hors du territoire)

dans une zone où le vecteur est présent et actif (entre mai et novembre). Dans ces conditions, les facteurs favorisant l'apparition d'un épisode de transmission autochtone sont principalement liés à des températures favorables au vecteur, la transmissibilité de la souche virale et aux flux de voyageurs arrivant sur le territoire hexagonal. Les facteurs permettant de réduire ce risque sont la réactivité des services de LAV et la sensibilisation des professionnels de santé et des décideurs. L'ampleur que peut prendre un épisode de transmission est influencée par ces mêmes facteurs auxquels s'ajoutent la densité de population, le pourcentage d'infections asymptomatiques ou l'existence d'un autre évènement mobilisant les mêmes ressources. L'ampleur de l'épidémie peut être décrite par différents niveaux allant de la présence d'un seul cas autochtone jusqu'à une épidémie avec des impacts multisectoriels, mais le GT ne peut pas anticiper quelle ampleur prendra un épisode de transmission donné.

Le GT estime que la probabilité d'avoir, au cours d'une saison en France hexagonale, au moins un épisode de transmission autochtone sous forme de foyers localisés est très élevée (note de 9 sur une échelle de 0 à 9 – incertitude de 1 = faible³⁹, (Afssa 2008)). La probabilité d'apparition d'une épidémie d'arbovirose à cinq ans, définie dans le contexte hexagonal, comme la « répartition diffuse de cas humains autochtones au-delà des foyers déjà individualisés » (voir 3.3) est estimée par les experts de 6 à 7 (sur une échelle de 0 à 9 - incertitude de 2 = moyenne).

Le GT souligne par ailleurs que les grands évènements internationaux organisés en période d'activité d'*Ae. albopictus* sont très favorables à la survenue d'épisodes de transmission d'arbovirus, du fait de la combinaison de plusieurs facteurs favorables, avec notamment de très forts flux de voyageurs et des conditions climatiques favorables.

³⁹ L'incertitude est évaluée sur une échelle de de 1 à 4, selon les modalités retenues dans le cadre de précédents travaux à l'Anses et disponibles en Annexe 2

4 Impacts socio-économiques d'une augmentation de la transmission autochtone d'arbovirus (réponse à la question 3)

L'objet de la question 3 de la saisine est d'« évaluer les impacts socio-économiques de ces épidémies (dont les impacts sur la santé humaine, le système de santé et les activités économiques - tourisme, arrêts de travail, etc.- et sociales notamment) ».

Comme indiqué dans le chapitre 1, la question de l'évaluation des impacts sanitaires et environnementaux des traitements chimiques de la lutte antivectorielle (LAV) ne fait pas partie de la demande de la saisine et n'a donc pas été traitée par le GT.

Ces impacts sont cependant un élément majeur de la LAV et des inquiétudes ont à plusieurs reprises été mentionnées par des acteurs de terrain interrogés par questionnaires au cours des travaux du GT. **Le GT recommande de traiter ces impacts à travers un travail spécifique relatif aux impacts sanitaires et environnementaux de la LAV et s'appliquant aussi aux autres vecteurs concernés par la LAV.**

4.1 Méthode

Les moyens mis en œuvre pour alimenter la réponse à la question 3 sont décrits ci-dessous. Ils comprennent le partage d'expertise au cours de réunions du GT, une recherche bibliographique et l'interrogation des acteurs de terrain.

4.1.1 Catégorisation des impacts

Le GT a établi une catégorisation des impacts afin d'en simplifier la présentation. Cette catégorisation s'est fondée sur les échanges entre experts au cours de réunions du GT, sur la base de leurs expériences de pratique professionnelle et de recherche et leurs connaissances des travaux relatifs aux thèmes traités. Certains impacts peuvent se rattacher à différentes catégories ; ce qui est indiqué le cas échéant.

Dans la mesure du possible, le GT s'est attaché à distinguer les acteurs concernés par l'impact, l'horizon temporel au cours duquel cet impact pourrait intervenir et le niveau de transmission à partir duquel cet impact serait attendu. Lorsque le niveau de transmission est précisé, il fait référence au Tableau 3 (cf. section 3.4).

Niveaux GT Anses	Description
Niveau 0	Pas de transmission autochtone, avec ou sans présence de cas importés, avec ou sans présence de moustique tigre
Niveau 1	Épisode de transmission autochtone : présence d'un cas autochtone ou d'un foyer (= au moins deux cas groupés dans le temps et l'espace)
Niveau 2	Foyers localisés : plusieurs épisodes de transmission autochtone, simultanés ou non et sans lien épidémiologique ou présence d'un foyer avec plusieurs zones de circulation
Niveau 3	Épidémie : répartition diffuse de cas humains autochtones au-delà des foyers déjà individualisés
Niveau 4	Épidémie majeure : épidémie sur une zone élargie avec une incidence élevée dépassant les capacités de surveillance des niveaux antérieurs avec adaptation des mesures de gestion et impacts multisectoriels

Une fois la liste des impacts établie et documentée dans chaque catégorie, le GT a introduit deux parties transversales consistant à analyser :

- les inégalités au sens large en temps d'épidémie (cf. section 4.3) ;
- les impacts des arboviroses au prisme des changements globaux (cf. section 4.4).

Le GT attire l'attention du lecteur sur le fait qu'au moment de la rédaction du rapport, aucune transmission majeure (du type épidémie) d'arbovirus transmis par *Ae. albopictus* n'a été observée en France hexagonale⁴⁰. De ce fait, les impacts attendus analysés dans ce rapport devront être mis à jour en fonction des transmissions observées dans les années à venir et en tenant compte des actions mises en œuvre par les acteurs concernés.

4.1.2 Recherche bibliographique

4.1.2.1 Objectif de la recherche bibliographique

Une revue systématique⁴¹ de la littérature a été réalisée pour établir un état des connaissances sur les impacts socio-économiques des arboviroses.

Ce travail de synthèse de la littérature scientifique a été mené en utilisant la méthode PICO « *Population, Intervention, Comparators, Outcomes* », adaptée au contexte de la recherche documentaire⁴², afin de répondre à la question suivante : quels impacts socio-économiques pourraient être engendrés par une épidémie due à un arbovirus transmis par *Ae. albopictus* ?

La **population** a été définie comme les « malades infectés par un arbovirus transmis par *Ae. albopictus* (soit virus de la dengue, Zika et chikungunya) » et le **résultat** (*outcome*) comme les « impacts socio-économiques ».

⁴⁰ Dans l'ensemble du rapport, la France hexagonale désigne le territoire européen de la France (voir glossaire).

⁴¹ Revue systématique : synthèse de la littérature scientifique en réponse à une question précise suivant un protocole clairement défini.

⁴² Les éléments *Intervention et Comparators* n'étant pas pertinents pour la question posée, ils n'ont pas été documentés.

4.1.2.2 Choix des mots-clés et sélection des références

Les recherches bibliographiques ont été menées sur Scopus® ([Scopus - Document search](#)), PubMed® ([PubMed \(nih.gov\)](#)) et Cairn ([Revue et ouvrages en sciences humaines et sociales | Cairn.info](#)) sans restriction sur l'année de publication.

La combinaison de mots-clés suivante a été validée par le GT pour identifier les références pertinentes par rapport à la question posée (Tableau 4).

Tableau 4. Équations de recherche

Equation	Base de données	Date
((social OR economic OR socioeconomic) AND (burden OR effect* OR Impact)) AND ((arbovirus* AND aedes) OR dengue OR chikungunya OR zika)	PubMed	13/11/2023
((social OR economic OR socioeconomic) AND (burden OR effect* OR Impact)) AND ((arbovirus* AND aedes) OR dengue OR chikungunya OR zika)	Scopus	14/11/2023
((soc* OU economi* OU socioeconomi*) ET (fardeau OU effet OU Impact)) ET ((arbovir* ET aedes) OU dengue OU chikungunya OU zika)	Cairn	14/11/2023

La sélection des références à inclure dans la revue bibliographique a été réalisée sur le site CADIMA⁴³ ([CADIMA](#)) avec une première étape basée sur la lecture des titres et résumés (prenant en compte les critères de sélection PICO présentés ci-dessus), puis une seconde étape basée sur la lecture du texte intégral des articles (prenant en compte les mêmes critères). À chaque étape de sélection, chacune des références a été vue par deux lecteurs indépendamment et les divergences éventuelles dans la sélection ont été résolues sur l'interface disponible sur CADIMA.

Les critères d'inclusion utilisés pour la sélection des références sont les suivants :

- **Population** : l'étude porte sur des populations affectées par un arbovirus tels que ceux responsables de la dengue, le chikungunya, ou Zika (virus transmis par *Ae. albopictus*). Les études portant sur une région non comparable à l'Hexagone ont été exclues⁴⁴ ;
- **Résultat** : l'étude porte sur une évaluation de l'impact, l'effet ou du fardeau (*burden*) d'une épidémie.

Seules les études en français, anglais ou espagnol ont été sélectionnées.

4.1.2.3 Résultat de la recherche bibliographique

Le nombre d'études triées, examinées en vue de leur éligibilité et finalement citées est présenté sous forme d'un diagramme de flux (Figure 9). La recherche

⁴³ CADIMA : outil informatisé en accès libre permettant de réaliser les différentes étapes qui composent une revue de la littérature.

⁴⁴ La comparabilité des régions a principalement été jugée sur le niveau de développement économique et l'infrastructure de soins, en utilisant le PIB par tête comme proxy.

systématique sans limite de date a abouti à l'identification d'études publiées entre 2007 et 2023.

À chaque étape, les références ne répondant pas aux critères d'inclusion/exclusion ont été écartées. La sélection issue de Cadima a été complétée par des publications déjà connues des experts.

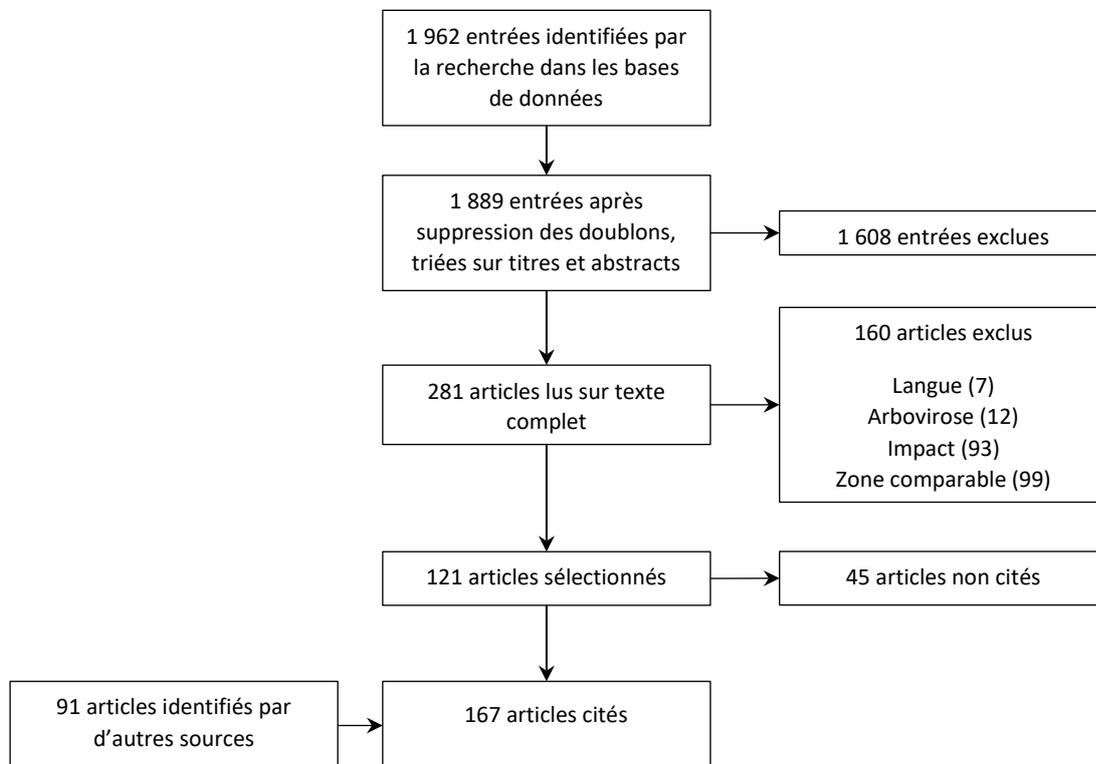


Figure 9. Diagramme de flux de la recherche bibliographique relative aux impacts des arboviroses

4.1.2.4 Extraction des données et analyse de la qualité des articles

Les études ont été analysées afin d'identifier le type d'impact(s) mentionné(s) dans la publication, le pays et le virus concerné. Dans la mesure où l'objectif de la recherche bibliographique était d'identifier la nature des impacts potentiels, aucun critère de qualité n'a été défini *a priori*.

4.1.3 Consultation des acteurs de terrain

4.1.3.1 Objectif de la consultation et identification des acteurs à interroger

Le GT a souhaité obtenir des données et des informations complémentaires à celles issues de la littérature scientifique, notamment concernant les impacts socio-économiques des arboviroses.

Le GT a cherché à identifier les acteurs dont l'activité serait modifiée en cas d'épidémie d'arbovirose, sur la base des impacts identifiés dans la littérature et à travers l'expertise des membres du GT. Il a interrogé des acteurs ayant déjà fait l'expérience d'épidémie d'arbovirose, en particulier dans les DROM, pour recueillir

leur retour sur expérience. Il a également interrogé des acteurs n'en n'ayant pas l'expérience mais susceptibles d'être directement concernés par l'épidémie, dans l'Hexagone, pour recueillir leur anticipation d'éventuels impacts.

Le Tableau 5 synthétise la nature des informations demandées dans les questionnaires selon le type d'acteurs.

Tableau 5. Nature des informations recherchées selon le type d'acteurs

Types d'Acteurs	Informations recherchées
Opérateurs de démoustication	Mise en œuvre de la LAV Limite d'activité Adaptation en cas de tension Impacts en cas de saturation
ARS DROM	Organisation de la LAV, réaction de la population Impact sur le système de soins Populations vulnérables
ARS Hexagone	Limite d'activité (santé environnement / santé publique) Adaptation en cas de tension Impacts en cas de saturation
Professionnels de santé hospitaliers dans les DROM	Recueil d'expérience sur l'impact d'une épidémie sur le système de soins
Direction CHU Hexagone	Prévention des infections nosocomiales Organisation des soins
Établissement français du sang (EFS)	Impact sur le coût et la disponibilité des produits sanguins
Chambres de commerce et d'industrie (CCI) Hexagone + DROM	Perception du risque et des impacts potentiels (pour les territoires hexagonaux) Impacts observés des épisodes épidémiques (dans les DROM)

4.1.3.2 Préparation et envoi des questionnaires

Les acteurs ont été interrogés par questionnaire avec questions ouvertes, chaque questionnaire étant adapté au type d'acteur interrogé (cf. Tableau 5). Les propositions de questions ont été préparées par l'Anses et revues et amendées par les experts du GT au cours des réunions, pour chaque type d'acteur interrogé.

Les questionnaires ont été adressés par voie électronique aux acteurs identifiés par le GT et deux à trois relances ont été effectuées pour les non-répondants.

Les questionnaires sont présentés en annexe 6.

4.1.3.3 Traitement et utilisation des informations obtenues

Les réponses aux questionnaires concernant d'une part les retours d'expérience des acteurs déjà concernés par les arboviroses, et d'autre part, les impacts perçus par les acteurs susceptibles d'être concernés, ont été mises à disposition des experts du GT. Ceux-ci ont réalisé un travail d'analyse du contenu de ces réponses. Ils en ont tiré les éléments d'information jugés importants qu'ils ont utilisés pour alimenter certaines parties du rapport, en mentionnant à chaque fois le type d'acteur ayant fourni l'information. Cette restitution, qui appartient aux experts du GT, n'engage aucune des personnes interrogées, bien qu'elle s'appuie sur les réponses qu'elles ont fournies.

4.1.3.4 Taux de réponse par type d'acteur

Les taux de réponses par types d'acteurs figurent dans le Tableau 6. La liste des répondants est détaillée en annexe.

Tableau 6. Taux de réponse au questionnaire par type d'acteur

Type d'acteurs	Taux de réponse
Opérateurs de démoustication (OpD)	8/9
ARS DROM	3/4
ARS Hexagone	13/13
Professionnels de santé hospitaliers dans les DROM	4/6
Établissement français du sang (EFS)	1/1
Chambres de commerce et d'industrie (CCI) Hexagone	1/2
Chambres de commerce et d'industrie (CCI) DROM	1/4
Direction CHU Hexagone	6/8

4.2 Résultats : impacts socio-économiques d'une augmentation de la transmission autochtone d'arbovirus dans l'Hexagone

4.2.1 Préambule

Le GT attire l'attention du lecteur sur le peu de littérature académique relative aux impacts d'une transmission autochtone d'arbovirus importante dans un contexte géographique et climatique similaire à celui de l'Hexagone⁴⁵. En effet, la littérature sur les impacts des arbovirus dans une zone tempérée est beaucoup plus réduite que la littérature sur les zones tropicales. L'identification des impacts repose donc fortement, en plus des articles identifiés, sur les réponses aux questionnaires des

⁴⁵ La littérature porte principalement sur des pays de zone tropicale. Les impacts dans les pays de zone tempérée peuvent différer du fait de la pause hivernale en zone tempérée qui interrompt la transmission autochtone lorsque la température baisse et empêche l'endémicité des virus.

acteurs de terrain, et sur l'avis des experts membres du GT. En l'absence de données quantitatives, la description des impacts est principalement qualitative.

La combinaison des sources (cf. méthode) fait apparaître une pluralité d'impacts liés à une augmentation de la transmission autochtone d'arbovirus dans l'Hexagone.

La présentation de ces impacts est organisée en quatre temps. Une première partie illustre cette **pluralité d'impacts** à travers leur description dans le contexte de l'épidémie d'infection par le virus chikungunya à La Réunion en 2005-2006, qui a été la première (et la seule) épidémie d'ampleur richement documentée en France. Les études mettant en perspective les différents types d'impacts y sont présentées. Une deuxième partie décrit les **différents types d'impacts** attendus par catégories. Le rapport distingue en effet les impacts sur les acteurs, sur la santé, sur le système de santé, sur l'activité économique, sur l'éducation, sur la recherche, sur la couverture médiatique et enfin, sur les mouvements sociaux et la cohésion sociale. Les troisième et quatrième parties proposent une analyse complémentaire transversale à travers le prisme des **inégalités sociales**, d'une part, et des **changements globaux**, d'autre part (cf. section 4.1).

Un contexte épidémique conduit un certain nombre d'acteurs (décideur ou tout autre acteur économique) à prendre des décisions. Chaque décision suppose un choix et comporte un coût d'opportunité, qui s'exprime comme le fait de choisir un usage pour ces ressources et donc à renoncer à un autre usage possible de ces ressources. Ces coûts d'opportunité, inhérents à toute décision, sont rarement considérés au moment de la prise de décision.

4.2.2 Une pluralité d'impacts attendus

Une épidémie est susceptible d'avoir des impacts multiples, comme le montre l'exemple de l'épidémie d'infection par le virus chikungunya à La Réunion en 2005-2006, présenté dans l'encadré ci-dessous.

Encadré 2. Une pluralité d'impacts : l'épidémie d'infection par le virus chikungunya à La Réunion en 2005-2006

Deux publications de Flahault *et al.* (2007) et Gaüzère *et al.* (2012) reviennent sur le déroulement de l'épidémie de chikungunya à La Réunion. L'analyse illustre que l'épidémie produit des effets et conduit à des réactions immédiates ou décalées dans le temps qui viennent moduler plus ou moins rapidement les effets de l'épidémie initiale ou d'épisodes ultérieurs, rendant difficile la distinction entre les effets de l'épidémie et les effets des réactions à l'épidémie⁴⁶.

D'une façon générale, les acteurs de la situation ont observé des effets tels que :

- une augmentation de l'activité clinique qui entraîne une augmentation de la charge de travail des personnels impliqués et, en parallèle, une augmentation des dépenses d'assurance maladie de 6,5 % entre 2005 et 2006, un coût de la maladie de 117 € par patient ambulatoire et 2 000 € par patient hospitalisé (correspondant aux coûts directs – soins pendant la phase aiguë - et indirects – indemnités journalières) ;
- une saturation des lits de réanimation au cours de l'épidémie ;

et une meilleure appréhension de la maladie, traduite par :

⁴⁶ Par exemple, l'épidémie a conduit à une meilleure connaissance de la maladie du fait d'une observation d'un plus grand nombre de cas et a conduit à organiser des réseaux de collaboration scientifique qui contribuent également à une meilleure connaissance de la maladie.

- des travaux de recherche relatifs aux formes cliniques, à la physio-pathologie et aux modèles animaux et l'organisation d'échanges de connaissances ;
- une meilleure connaissance de la maladie par les médecins généralistes et hospitaliers, qui permet ensuite une plus grande réactivité diagnostique ;
- une meilleure connaissance de la dynamique de circulation des informations dans les médias et de la réaction de l'opinion publique ;
- l'identification de freins à la diffusion et à la compréhension des messages de santé publique ;
- la prise de conscience de l'importance des pratiques de gestion des déchets dans la transmission (par exemple les pneus de voiture abandonnés peuvent abriter des gîtes larvaires) ;
- la prise de conscience de la mondialisation des maladies tropicales.

Les auteurs identifient des mesures prises par différents acteurs en réaction à l'épidémie :

- un renforcement des systèmes de surveillance épidémiologique : implication des services d'urgence et des médecins sentinelles, suivi d'indicateurs de morbi-mortalité et mise en place de la déclaration obligatoire au niveau national, entrée en vigueur du Règlement sanitaire international (RSI), échanges d'informations entre pays dans l'Océan Indien et mise en place d'une instance scientifique pluridisciplinaire chargée d'éclairer les autorités ;
- un renforcement des moyens de LAV : augmentation du personnel dédié à la LAV, développement d'outils cartographiques pour appuyer la LAV, coordination de différents partenaires à travers le plan ORSEC 2006-2011, développement de recherches pour des solutions alternatives aux insecticides, renforcement de la coordination entre surveillance épidémiologique et LAV, précision sur les indications et contre-indications des répulsifs et mise en place d'un plan anti-dissémination dans l'Hexagone ;
- une invitation de la population (mobilisation sociale) à la destruction de gîtes larvaires : programme *Kass Moustik* renouvelé chaque année, renforcement de la communication auprès de la population et mobilisation des services sociaux de proximité ;
- un renforcement de la recherche : instauration de collaborations nationales et internationales, augmentation des capacités des laboratoires locaux, création du Centre de recherche et de veille sur les maladies émergentes dans l'Océan Indien (CRVOI) et du Groupe de recherche sur l'inflammation (GRI) et développement de recherches sur le vaccin, l'impact environnemental de la LAV et les aspects sociaux de la maladie et de la LAV ;
- une solidarité nationale : augmentation des moyens disponibles par des renforts venus de France hexagonale pour la prise en charge clinique, la démoustication et la création d'une cellule de coordination scientifique.

Les impacts générés par une épidémie d'arbovirose se distinguent selon qu'ils concernent une région déjà touchée (zone d'endémicité du virus) ou une région n'ayant pas l'expérience de l'infection. La littérature scientifique relative aux impacts des épidémies d'arbovirose rapporte, le plus souvent, des données collectées dans des régions fortement touchées, en adoptant une approche observationnelle rétrospective des coûts. Ces données ne sont que partiellement adaptées à la question posée au GT, qui se situe dans le contexte d'une région relativement peu touchée et qui n'a pas (encore) éprouvé un niveau massif de transmission autochtone. En outre, la littérature concerne souvent des régions ayant une structure du système de soins, un financement de ce système de soins et des modalités de surveillance épidémiologique différents de la France, ce qui limite les comparaisons. Enfin, la littérature se concentre le plus souvent sur l'évaluation de certains impacts seulement, en particulier des impacts valorisés sous forme monétaire, et sans mettre au jour les mécanismes qui les sous-tendent.

Néanmoins, ces publications présentent l'intérêt de recenser différents types d'impacts et de fournir des ordres de grandeurs de l'importance relative des postes de coûts. Ainsi, Castro, Wilson et Bloom (2017), dans une étude recensant les défis

de l'évaluation économique de la dengue, distinguent quatre postes de coûts à prendre en considération pour estimer l'impact économique de la maladie : la prise en charge médicale de la maladie (y compris le surcoût associé aux comorbidités), la surveillance et la remontée des cas, les actions préventives et le contrôle d'une épidémie, en distinguant pour chaque poste de coûts s'il est supporté par le système de santé, par les ménages ou par la communauté (au sens de l'institution en charge de la gestion). Les auteurs mentionnent également les pertes de productivité ou l'absence à l'école des enfants malades dans le fardeau de la maladie et, bien que l'impact de ceux-ci soient rarement quantifié dans les évaluations économiques publiées, l'impact sur le tourisme, de loisir ou professionnel, les événements de masse et les investissements locaux ou étrangers. Dans les pays à revenu faible ou moyen, ils rapportent un poids de la perte de productivité variant de 50 à 60 % du coût total de la maladie. Au sein du coût porté par le système de santé, le contrôle vectoriel représente 40 à 72 % du coût⁴⁷.

En 2015 une revue systématique des études économiques sur la dengue (Constenla, Garcia et Lefcourt 2015) décrit les postes de coût de la maladie : coûts directs médicaux (ambulatoires et hospitaliers) et non médicaux, pertes de revenus du fait des arrêts de travail et jours d'école perdus pour les malades et leurs aidants, coûts liés au contrôle vectoriel, à la surveillance de la maladie et aux autres mesures de prévention. Cette revue rapporte que les coûts liés à l'hospitalisation et aux pertes de revenus représentent « la majorité des coûts ». Cette revue cite une étude ayant évalué le surcoût spécifique de la dengue au cours d'une épidémie à Cuba en 2010 : elle rapporte que le coût mensuel par habitant de la dengue est passé de 2,76 US\$ à 6,05 US\$ (soit un coût multiplié par 2,19 du fait de l'épidémie par rapport aux coûts habituels de lutte contre la dengue). Une autre étude menée en Colombie en 2011 évalue le coût de la dengue en tenant compte de la prise en charge médicale des 35 739 cas recensés au cours de cette année d'épidémie et du coût annuel moyen des mesures de prévention réalisées en continu dans une zone d'endémicité de la dengue. Ici, les auteurs estiment que le coût de la prévention représente de 68,7 % à 71,0 % du coût total de la maladie (Castañeda-Orjuela *et al.* 2012).

Afin d'illustrer la pluralité des impacts identifiés dans les études de coûts de la maladie, le tableau ci-dessous rapporte les principales caractéristiques des études de coût de la maladie recensées dans la revue de la littérature. Les études sont regroupées par maladie puis par grande zone géographique.

⁴⁷ Cette fourchette semble particulièrement élevée au regard de ce qui est généralement retrouvé dans la littérature.

Tableau. Synthèse des études de coût de la maladie.

Référence auteur (année)	Zone géographique	Période de collecte des coûts	Coûts pris en compte	Méthode de collecte des coûts	Indicateurs de résultats	Résultats
Etudes sur la dengue						
Shepard <i>et al.</i> (2016)	Monde entier (141 pays)	2013	Coûts directs médicaux (hospitalisations et coûts ambulatoires) + coûts directs non médicaux	Revue de littérature	Nombre de cas, nombre de décès, coût par cas, coût annuel global	58,4 millions de cas symptomatiques, 13 586 cas fatals, 7 010 \$ / cas hospitalisé, 84 730 \$ / décès 8-9 milliards de coût annuel global
Oliveira, Itria, et Lima (2019)	Monde entier (18 pays)	2015	Coûts directs médicaux (hospitalisations, coûts ambulatoires)	Revue de littérature	Coût global	3,3 Mds \$
Roy (2014)	Nouvelle-Calédonie	2012-2013	Coûts directs médicaux (hospitalisations, coûts ambulatoires) + coûts directs non médicaux (individuels et familiaux, prévention, contrôle et surveillance) coûts indirects (coût d'opportunité quotidien par journée d'absentéisme)	Analyse exhaustive des cas	Coût socio-économique total, % du PIB de Nouvelle-Calédonie	1,6 Mds de francs Pacifique (13,4 millions €), soit 0,2 % du PIB
Luh <i>et al.</i> (2018)	Taiwan	1998-2014	Coûts directs (hospitalisations, coûts ambulatoires, traitements médicamenteux, urgences) + coûts indirects (pertes de productivité, coût des congés maladie)	Revue de littérature	Coût total par année d'épidémie	0,88 millions \$
Sher, Wong, et Lin (2020)	Sud de Taiwan	2010-2015	Coûts directs + coûts indirects (pertes de productivité) + coûts intangibles (coût de la douleur et de la souffrance)	Modélisation	Réduction du PIB/tête à cause de l'épidémie	L'épidémie a entraîné une baisse de 0,26% de PIB/tête

Référence auteur (année)	Zone géographique	Période de collecte des coûts	Coûts pris en compte	Méthode de collecte des coûts	Indicateurs de résultats	Résultats
Yu <i>et al.</i> (2023)	Province de Zhejiang (Chine)	2019	Coûts directs médicaux (diagnostics, traitements) et non médicaux + coûts indirects (perte de revenu) + coûts de prévention	Analyse des données de prise en charge, interrogation par questionnaire des patients, analyse des données institutionnelles pour la prévention	Coût / cas Coût global de la prévention et du contrôle de la maladie par an	590\$ / cas Prévention : 7 millions \$ pour la Province
Kajimoto et Kitajima (2020)	Japon	2011-2015	Coûts directs médicaux (ressources médicales, traitements, admissions, tests sanguins) et coûts directs non-médicaux (transports jusqu'à l'hôpital) + coûts indirects (pertes de productivité)	Analyse des montants remboursés par l'assurance maladie	Coût moyen par patient en dollars	1400 dollars
Shepard <i>et al.</i> (2011)	Amérique du Nord et Amérique du Sud	2000-2007	Coûts directs (hospitalisations et coûts ambulatoires) + coûts indirects	Revue de littérature	Valorisation des coûts ambulatoires et hospitaliers	2,1 Mds \$2010 par an
Chen <i>et al.</i> (2023)	États-Unis	2010	Coûts directs médicaux (hospitalisations, coûts ambulatoires) + coûts directs non-médicaux (transports, logements, repas) + coûts indirects (pertes de productivité)	Revue de littérature	Augmentation de la durée de séjour hospitalier pour un cas de dengue par rapport à la moyenne, augmentation du coût d'hospitalisation par rapport à la moyenne	2-3 jours d'augmentation, 14 000 \$ d'augmentation
Tarragona <i>et al.</i> (2012)	Argentine	2009	Coûts directs médicaux + coûts indirects (coût d'opportunité)	Modélisation	Coût global	26-40 millions de pesos argentins/ 6-9 millions \$
Halasa, Shepard et Zeng (2012)	Porto Rico	2010	Coûts directs + coûts indirects (arrêts maladie)	Revue de littérature + interrogation des patients par questionnaire	Coût global	39 millions \$
Zubieta-Zavala <i>et al.</i> (2018)	Mexique	2012-2016	Coûts directs médicaux et non-médicaux + coûts indirects (pertes de revenus pour le patient et l'aidant, dépenses du gouvernement en prévention et surveillance)	Micro-costing	Coût global	144 millions \$ en 2012 161 millions \$ en 2013, 133 millions \$ en 2014, 131 millions \$ en 2015, 130 millions \$ en 2016

Référence auteur (année)	Zone géographique	Période de collecte des coûts	Coûts pris en compte	Méthode de collecte des coûts	Indicateurs de résultats	Résultats
Undurraga <i>et al.</i> (2015)	Mexique	2010-2011	Coûts directs + coûts indirects (surveillance, prévention)	Revue de littérature + étude de cohorte avec interviews de patients et macro-costing d'hôpitaux	Coût global	170 millions \$
Akbar <i>et al.</i> (2020)	Arabie Saoudite	2013-2017	Coûts directs + coûts indirects (pertes de productivité)	Analyse des bases de données de prise en charge sur un échantillon de patients puis estimation d'un coût global	Coût global moyen annuel	110 millions \$ par an
Abud <i>et al.</i> (2022)	Brésil	2015-2020	Coûts directs (hospitalisations)	Analyse des bases de données hospitalières	Coût d'hospitalisation médian par séjour	700 \$ par séjour
Uhart <i>et al.</i> (2016)	France (Guyane, Martinique, Guadeloupe)	2007-2011	Coûts directs (hospitalisations)	Analyse de données d'hospitalisation du Programme de médicalisation des systèmes d'information (PMSI)	Coût d'hospitalisation moyen par séjour	2 522 € par séjour
Carrasco <i>et al.</i> (2011)	Singapour	2000-2009	Coûts directs médicaux (hospitalisations, coûts ambulatoires) + coûts indirects	Analyse des bases de données du ministère de la santé et du système de surveillance national	Coût-efficacité du vaccin par rapport aux frais médicaux par individu en moyenne en dollars	50 dollars pour une vaccination à trois doses protégeant les individus sur 10 ans, 300 \$ pour une vaccination à deux doses protégeant les individus à vie
Lim, Alexander et Di Tanna (2017)	Monde	Littérature avant septembre 2017	Coûts directs + coûts indirects	Revue de littérature	Coût-efficacité des tests de diagnostic rapide	Insuffisance des données pour évaluer les tests
Etudes sur le chikungunya						
Feldstein <i>et al.</i> (2019)	États-Unis (Virginie)	2014-2015	Coûts directs médicaux + coûts indirects (arrêts de travail)	Revue de littérature	Coût global dans l'Etat de Virginie	19 millions \$ sur 12 mois soit 1% du PIB total de l'Etat de Virginie

Référence auteur (année)	Zone géographique	Période de collecte des coûts	Coûts pris en compte	Méthode de collecte des coûts	Indicateurs de résultats	Résultats
Soumahoro <i>et al.</i> (2011)	La Réunion	2005-2006	Coûts directs médicaux (consultations médicales, traitements médicamenteux, hospitalisations)	Analyse de la base de données nationale des hospitalisations + assurances	Coût global	12,4 millions €
Etudes sur le Zika						
Fernandes <i>et al.</i> (2022)	Brésil	2015-2016	Coûts directs médicaux + coûts directs non médicaux (temps passé par les aidants, dépenses supplémentaires) + coûts indirects (pertes de revenu liées à la maladie)	Etude de cohorte d'enfants nés en 2015-2016	Coût global par enfant sur 10 ans	50 000 \$ par enfant sur 10 ans
Lee <i>et al.</i> (2017)	Etats-Unis (Alabama, Floride, Georgie, Louisiane, Mississippi, Texas)	2016	Coûts directs médicaux (coûts de prise en charge de conjonctivite) + Coûts indirects (pertes de productivité)	Modélisations de scénarios hypothétiques (basées sur l'épidémie de 2013-2014 Polynésie française, Brésil et Colombie)	Coût global des différents taux d'attaque/taux d'incidence cumulée	Taux d'attaque (taux d'incidence cumulée) à 0,01 % = 180 millions de dollars Taux d'attaque (taux d'incidence cumulée) à 1% = 1,2 Mds de dollars

Cette synthèse illustre la grande variabilité des études de coûts tant en termes de méthode, que de périmètres des coûts pris en compte, ce qui limite l'interprétation des données dans la perspective d'une estimation des coûts attendus d'une épidémie dans l'Hexagone.

La littérature relative à des catégories d'impacts spécifiques est présentée dans les parties ci-après. Certains impacts sont classiquement attendus lors de la survenue d'une épidémie, comme les effets sur la santé ou le système de santé mais d'autres, moins intuitifs, peuvent apparaître et avoir un effet rétroactif sur ces impacts classiquement identifiés. Ces impacts moins intuitifs ont fait l'objet de moins d'études, ce qui ne préjuge pas de leur importance.

4.2.3 Impacts institutionnels : prévention, contrôle et gestion des arboviroses

Cette partie vise à décrire les impacts d'une transmission autochtone d'arbovirus sur les activités de prévention, de contrôle et de gestion des arboviroses. Elle présente les impacts prévisibles identifiés dans la littérature ou auprès des acteurs de terrain interrogés sur la base des saisons passées. Cette partie décrit dans un premier temps, les impacts sur les activités de prévention et de contrôle, relevant des Agences régionales de santé (ARS), des cellules régionales de Santé publique France (SpF, placées auprès des ARS), de SpF au niveau national, ainsi que des Opérateurs de démoustication (OpD) mobilisés par les ARS. Dans un second temps, cette partie décrit les impacts sur les autres institutions publiques.

4.2.3.1 Prévention et contrôle des arboviroses

Des impacts sur les moyens de prévention et de contrôle des arboviroses sont attendus lors d'épisodes de transmission autochtone d'arbovirus, voire en cas d'un nombre très élevé de cas importés. La section présente les résultats rapportés dans les articles économiques qui se sont intéressés à la prévention et au contrôle des arboviroses, puis au risque de saturation des moyens de prévention et de contrôle et, enfin, aux conséquences possibles de cette saturation.

4.2.3.1.1 *Littérature relative à la prévention et au contrôle*

Si l'évaluation économique des mesures de prévention et de contrôle reste peu documentée, des études suggèrent des arguments économiques en faveur des mesures de contrôle vectoriel :

- une étude coût-utilité réalisée en Italie à partir d'une modélisation alimentée par les données recueillies lors de l'épidémie d'infection à virus chikungunya en 2007 a estimé que les interventions mises en œuvre (traitements larvicides et adulticides) pour un coût qui s'élevait à 50 000 € avaient permis d'éviter environ 3 200 cas (IC à 95 % : 2 580–3 560) ou la perte de 1 450 DALYs⁴⁸ (IC

⁴⁸ DALYs : *disability-adjusted life years*, critère composite intégrant la qualité de vie et les années de vies perdues à cause d'une maladie.

à 95 % : 1 160–1 600) et donc une économie de 13,5 millions d'euros de soins (IC à 95 % : 10,9 M–15 M) pour le traitement des cas symptomatiques. L'étude montrait une forte sensibilité du résultat à l'efficacité des mesures de contrôle vectoriel, et le choix de la mesure à prioriser varie selon la période de transmission (début ou fin de saison)⁴⁹ (Trentini *et al.* 2018) ;

- une étude a estimé en 2010 quelles seraient les conséquences économiques d'une réduction envisagée du budget du *Center for Disease Control* aux États-Unis dédié à la surveillance et à la recherche sur les arboviroses (Vazquez-Prokopec *et al.* 2010). L'impact a été modélisé à partir des épidémies de dengue observées en Australie en 2003 et 2009. Les auteurs simulent un décalage dans le temps de réaction aux premiers cas de transmission autochtone. Les auteurs estiment qu'une réponse quatre à six semaines plus tard aux épisodes de transmission autochtone observés en 2003 et 2009 respectivement aurait conduit à des coûts cumulés de l'épidémie 86 et 346 fois supérieurs respectivement par rapport à une situation de surveillance active continue (les coûts incluent le contrôle vectoriel, la prise en charge médicale et les tests sur les produits sanguins) ;
- une étude a comparé deux scénarios avec ou sans contrôle vectoriel en termes de coûts et de bénéfices associés à la dengue en Argentine (Orellano et Pedroni 2008). La mise en œuvre du traitement adulticide avec contrôle larvaire a un coût plus élevé que l'absence de traitement, mais présente des avantages considérables, notamment dans la prévention indirecte des pertes liées à l'absence au travail et des coûts médicaux des cas évitables de dengue hémorragique. L'étude conclut que la stratégie de contrôle vectoriel serait moins coûteuse que l'absence d'intervention sous plusieurs hypothèses : un haut niveau d'efficacité de l'intervention –non démontré– et une incidence supérieure à 29 cas de dengue et un cas hémorragique pour 1 000 habitants.
- Deux études suggèrent une disposition à payer des habitants de régions exposées au risque d'arbovirose pour la mise en œuvre de mesures de contrôle vectoriel en France (Chiadmi, Traoré et Salles 2020), aux États-Unis et en particulier en Floride ou en Arizona (Dickinson *et al.* 2016). L'étude française suggère que la population en France serait d'autant plus prête à financer des mesures de protection contre les piqûres qu'il existe un risque de transmission d'arbovirose qui vient s'ajouter à la nuisance des piqûres de moustiques. Dans l'étude menée aux États-Unis, la population était en moyenne disposée à augmenter de 25 \$ par an la contribution à la LAV, avec une variation de ce montant selon le revenu, le niveau d'éducation et la préoccupation liée aux impacts environnementaux de la LAV.

Concernant l'efficacité des mesures de prévention et de contrôle, une publication française analyse les émergences de cas de dengue et chikungunya entre 2010 et 2018 dans l'Hexagone (Franke *et al.* 2019). Dans cette étude, 54 cas de transmission autochtone sont recensés dans l'Hexagone pendant la période considérée, dont un seul (en 2015) qui apparaît après la mise en œuvre des premières mesures de LAV (réalisation de traitements adulticides ou larvicides autour des cas diagnostiqués selon les mesures prévues dans les protocoles de prévention et de contrôle, cf.

⁴⁹ L'interrogation des ARS et des OpD ayant indiqué un risque d'une moindre efficacité de la LAV en cas de saturation des moyens, les traitements seraient d'autant plus efficaces que les moyens sont correctement dimensionnés.

section 2.5). Ce résultat est en faveur de l'importance des mesures de prévention et de contrôle pour limiter la transmission autochtone d'arbovirose.

Si les études identifiées plaident en faveur des mesures de prévention et de contrôle, elles constituent une revue partielle de la littérature relative aux impacts de ces mesures, ciblée sur les impacts économiques. Les évaluations rapportées sont ponctuelles et ne sont pas nécessairement généralisables, compte-tenu des différences de contexte entre les pays mentionnés et l'Hexagone. Le GT appelle à une évaluation, incluant systématiquement la dimension économique, des différentes actions de prévention et de contrôle des arboviroses en France hexagonale.

4.2.3.1.2 Retours d'expérience des acteurs de terrain

4.2.3.1.2.1 Des budgets de prévention et contrôle en hausse

Les besoins de surveillance et de contrôle augmentent avec l'augmentation de cas (importés et autochtones) observés au fil des saisons, une extension de l'implantation d'*Ae. albopictus* sur le territoire, et pourraient augmenter davantage avec une période d'activité du moustique appelée à s'allonger au-delà de la période de mai à novembre. Dans ce contexte, les moyens actuels des ARS pour organiser la surveillance et le contrôle augmentent.

Les ARS ont ainsi été interrogées sur le montant des marchés publics alloués à la LAV. Les marchés couvrent la surveillance et la LAV, en présence de cas importés ou autochtones. Les marchés prévoient généralement une part variable liée à l'activité autour des cas diagnostiqués, par nature non planifiable.

L'ensemble des régions rapportent des budgets en hausse, avec des montants plus conséquents dans les régions davantage touchées, ce qui témoigne de l'importance de la situation à prendre en charge. Par exemple, l'ARS Nouvelle-Aquitaine rapporte un budget pour le marché public de la LAV qui est passé de 435 000 € en 2020 à 1,1 millions d'euros en 2023, et prévoit un budget de 1,3 millions d'euros par an de 2024 à 2027. L'ARS Normandie, région relativement peu touchée du fait de l'implantation récente d'*Ae. Albopictus*, indique des dépenses pour la LAV qui ont progressé de 112 539 € en 2020 à 174 589 € en 2023 ; elle prévoit un budget de 250 000 € en 2024.

La totalité des budgets rapportés par les 13 ARS dans l'Hexagone en 2023 s'élève à environ 4,5 millions d'euros⁵⁰. Il semble probable, au regard des évolutions observées dans les régions touchées par les arboviroses depuis plusieurs années, que ce budget global continuera à progresser avec l'augmentation des cas importés et des transmissions autochtones.

4.2.3.1.2.2 Un risque de saturation des moyens de lutte antivectorielle

La situation épidémiologique de l'Hexagone vis-à-vis des maladies dues aux arbovirus transmis par *Aedes albopictus* au cours des saisons 2022 et 2023 a été décrite dans la section 2.5.1. La saison 2022 s'est caractérisée par un nombre important d'épisodes de transmissions autochtones qui a mis en tension le dispositif de LAV en Provence-Alpes-Côte d'Azur (PACA) (cf. section 2.4.1.2). La saison 2023

⁵⁰ Selon les ARS, le montant correspond au budget provisionné pour le marché ou aux dépenses réalisées. Le montant total doit donc être interprété comme un ordre de grandeur.

s'est caractérisée par le nombre le plus important (observé jusqu'à présent) de cas importés de dengue, observés dans toutes les régions hexagonales. Toutes les régions ont observé plus de 50 cas importés entre le 1^{er} mai et le 8 décembre 2023, à l'exception de la Corse, qui en a décompté six. L'Île-de-France a été la plus concernée avec 641 cas⁵¹. Le début de l'année 2024 se traduit déjà, au moment de la rédaction de ce rapport (juillet 2024), par un nombre inégalé de cas importés de dengue (cf. section 2.4.1).

Les ARS ont ainsi été interrogées sur le niveau d'activité maximal auquel elles pouvaient assurer l'activité de suivi et de gestion des cas importés ou autochtones.

Dans leur réponse plusieurs régions ont déclaré avoir été à la limite de leurs capacités avec l'activité observée en 2023, que ce soit dans des régions déjà concernées par la transmission autochtone ou dans des régions touchées principalement par une hausse des cas importés. La gestion des cas autochtones est plus lourde que celle des cas importés ; les services ayant déclaré un seuil d'activité lié aux cas importés pourraient être en tension avec un nombre inférieur de cas dans une situation de transmission autochtone.

L'ARS Nouvelle-Aquitaine a rapporté qu'avec 186 cas importés, soit six fois plus qu'en 2022 où 30 cas avaient été identifiés, « *l'activité de suivi et de gestion, par l'ARS et par les opérateurs du marché a été assurée, approchant tout de même des limites de moyens dans les départements particulièrement impactés (notamment la Gironde, les Pyrénées Atlantiques) sur les périodes de forte activité* ». L'ARS Grand-Est a indiqué qu'« *en 2023, un à deux cas [importés] par jour pendant 15 jours ont été pris en charge par le service santé environnement d'une délégation territoriale départementale du Grand Est, et cela a été difficile à gérer, le service ayant atteint ses limites (étant entendu que le travail ne se limitait pas aux enquêtes téléphoniques sur les lieux de déplacement des cas mais portait également sur l'organisation et le suivi des opérations de traitement avec l'OPD et les partenaires – préfetures, mairies, etc.)* ». L'ARS Pays-de-la-Loire (PDL) a rapporté que « *plusieurs fois, lors de la saison 2023, entre 5 et 10 cas importés ont été signalés sur une journée [ce qui a entraîné un] début de gestion par l'ARS étalé sur 2 ou 3 jours en fonction de l'activité de la cellule de Veille et d'alerte [qui a décalé] d'autant la suite de gestion notamment la mobilisation de l'OPD* ». L'ARS a indiqué en outre que « *la gestion de plusieurs cas autochtones sera très difficile à assurer au regard des moyens humains dédiés à ce jour surtout si l'activité des cas importés reste au niveau de 2023* ». L'ARS Occitanie a mentionné que « *la suractivité de septembre 2023 a montré les limites de gestion par l'ARS. Cela entraîne une baisse de la qualité des enquêtes qui en résulte* ». L'ARS Bretagne a précisé que « *5 à 6 cas importés par semaine mettaient d'ores et déjà sous tension le service de veille sanitaire* ».

Des ARS ont rapporté le niveau jusqu'auquel elles pourraient assurer les activités :

- l'ARS PACA a indiqué que le marché public en 2024 « *prévoit la possibilité d'intervenir sur des [cas] autochtones en interventions complètes jusqu'à 20 cas autochtones par semaine. Au-delà les interventions individuelles autour de chaque cas seraient dépriorisées au profit d'intervention de zones*

⁵¹ [Chikungunya, dengue et zika - Données de la surveillance renforcée en France métropolitaine en 2023 \(santepubliquefrance.fr\)](https://www.santepubliquefrance.fr).

d'émergence avec l'aide d'autres opérateurs et renforts (liste des opérateurs habilités élargie aux sociétés de 3D fin 2023) » ;

- *l'ARS Auvergne-Rhône-Alpes (ARA) a mentionné des « capacités maximales de gestion au fil de l'eau à 2-3 cas importés par département / jour, pas sur tous les départements et sur une période de temps restreinte (3 semaines max), en absence d'autre alerte majeure. Soit, 15 – 20 cas / jour ouvré sur la région maximum, au plus fort de la saison en l'absence d'autre alerte majeure mobilisant les équipes de veille sanitaire ». Concernant la gestion des cas autochtones, l'ARS précise que « l'investigation des cas autochtones est très chronophage : réunions flash, organisation du porte-à-porte, brief, temps sur le terrain, débrief, et mobilise une équipe de 6 à 8 personnes (veille sanitaire, SpF, santé-environnement). La gestion d'une telle situation entre le 15 juillet et le 15 août peut s'avérer complexe du fait de devoir décharger 6 à 8 personnes de toutes leurs autres missions sur minimum 3 jours, dont 2 à 3 personnes (veille / SpF) pendant 14 jours minimum, en période d'absences pour congés. En dehors de cette période critique, un seul cas autochtone sur la région en simultané est gérable par les équipes, à condition de l'absence d'autre alerte fortement mobilisatrice dans le même temps. Si deux foyers devaient survenir en même temps dans la région, nous ne pouvons affirmer notre capacité à y répondre dans des délais et avec les effectifs idéaux. 3 foyers simultanés représenteraient très certainement un dépassement de nos capacités de gestion » ;*
- *l'ARS Normandie a indiqué une « capacité à gérer environ 2, voire 3 cas importés grand maximum par semaine » ;*
- *l'ARS Centre Val-de-Loire (CVL) a indiqué que « Tout surplus de signalement [de cas importés] par rapport aux moyennes habituellement constatées nous met en difficulté » et que « selon notre organisation actuelle (telle que vécue en 2023), côté lien avec l'OPD nous avons géré jusqu'à 5 cas importés par semaine, ce qui a été déjà difficile compte-tenu du contexte RH estival 2023 en Centre Val-de-Loire. Cela devrait être plus fluide en 2024 du fait de l'appropriation de la thématique par les agents depuis et la rédaction d'une procédure pour la saison 2024 » ;*
- *l'ARS Grand-Est a mentionné pouvoir suivre « 9-12 cas/jour si la situation sanitaire est stable (absence des grosses épidémies, de clusters, de dossiers très chronophages comme Rougeole, IIM etc.). Les jours où un ou deux veilleurs sont pris par un dossier lourd, la capacité diminue jusqu'à 2-3 dossiers/jour » ;*
- *l'ARS Bourgogne Franche-Comté (BFC) a indiqué une « capacité de gestion entre 5 et 10 signaux importés / semaine, en l'état actuel de notre organisation et effectifs. Concernant la perspective arboviroses autochtones, la capacité de prise en charge sera plus faible compte tenu de l'ensemble des actions à engager (porte à porte notamment) » ;*
- *l'ARS Hauts-de-France (HDF) a rapporté une capacité à assurer « 1 cas / semaine / département » en précisant que « côté veille, nous assurons l'enquête épidémiologique des cas importés (111 signaux cette année). Néanmoins, en cas de chaînes de transmission autochtone, nous ne pourrions pas assurer des enquêtes de terrain hebdomadaires en routine ».*

Pour SpF, l'augmentation du nombre de cas conduira à une intensification des investigations et de l'activité de suivi et de rapport, et à un alourdissement de la charge de travail.

Par ailleurs, l'EID Méditerranée a indiqué avoir dépassé ses capacités prévues dans son marché public avec l'ARS PACA en 2022 et 2023.

En 2023, le CNR des arbovirus a été confronté à un nombre inédit de sollicitations pour des suspicions de cas d'infections par les virus *West Nile* et Usutu pour lesquels son expertise était nécessaire. Si une telle situation de tension est amenée à se répéter, voire à s'amplifier, elle nécessitera des ajustements de moyens pour préserver la rapidité de réponse, en particulier pour les examens les plus spécialisés.

Les ARS et les OpD ont également été interrogés afin de connaître les **facteurs qui limiteraient leurs interventions** si de nombreux cas d'arboviroses étaient observés. La principale limite rencontrée à la fois par les ARS et les OpD tient à la difficulté d'adaptation des moyens (humains et matériels) disponibles au sein des structures aux besoins du terrain (nombre de cas à traiter dans chaque région). En effet, ces besoins sont aléatoires d'une saison à l'autre mais sont globalement croissants avec la progression de l'implantation du moustique tigre sur le territoire et l'augmentation mondiale des cas de dengue, source importante de cas importés, et ce alors que les ressources disponibles sont déjà en tension (à la fois dans les régions peu concernées jusqu'alors et dans les régions déjà touchées mais dont le besoin augmente).

Plus précisément, les ARS et les OpD ont évoqué des difficultés sur :

- les ressources humaines dans les services des ARS (nombre d'équivalents temps plein (ETP) et compétences spécifiques, autant dans les services de Veille sanitaire que de Santé environnement) pour réaliser les enquêtes épidémiologiques dans un contexte de :
 - partage d'activité avec du personnel potentiellement mobilisé sur d'autres crises sanitaires (rougeole, toxi-infection alimentaire collective (TIAC), accident, méningite, légionellose, etc.) ;
 - extension des zones colonisées par *Ae. albopictus* et d'augmentation du nombre de cas importés et autochtones ;
 - survenue des cas pendant la période estivale correspondant aux congés des personnels des différents services et de concomitance d'autres demandes ou crises sollicitant les services Santé environnement (contrôle sanitaire des eaux de loisirs, sécheresse, canicule). Pour les régions touristiques ou lors d'évènements exceptionnels, il s'agit d'une période pendant laquelle les besoins augmentent du fait d'une augmentation sensible de la population présente dans la région et où les temps de déplacements sont plus longs du fait de la forte présence de touristes. Cela limite le nombre d'interventions possible ;
 - difficultés à faire appel à des renforts s'ils ne sont pas préalablement formés ;
 - activités non planifiables, non prédictibles, activité non-linéaire avec des pics d'activité qui exige de s'adapter rapidement ;

- les ressources humaines et matérielles des OpD qui doivent s'adapter au nombre de traitements à réaliser par semaine⁵² : la disponibilité potentiellement limitée par la mutualisation des besoins (dans le cadre du marché ou en cas de réquisition) compte-tenu des moyens de l'ensemble des OpD disponibles sur le territoire et les demandes associées à d'autres arbovirus comme les virus West Nile (transmis par des moustiques du genre *Culex*);
- la disponibilité et la mobilisation de ressources budgétaires :
 - le peu de budget alloué ou le sous-dimensionnement du budget dans un contexte d'activité croissante (augmentation du nombre de cas au fil des saisons) ;
 - les limites des règles des marchés publics pour augmenter l'activité des OpD en cas de hausse des besoins (marché difficile à gérer pour une activité non programmable) ;
 - le retard de paiements des OpD en raison du mode de fonctionnement en bons de commandes des marchés publics, pouvant entraîner une mise en danger de la trésorerie des OpD.

Selon le GT, il apparaît à la lumière de ces éléments que les moyens de prévention et de contrôle des arboviroses étaient déjà à la limite de leurs capacités en 2023 et pourraient être saturés rapidement si des saisons similaires aux saisons 2022 et 2023 étaient à nouveau observées, en particulier, pour les ARS et les cellules régionales de SpF, en cas d'urgence sanitaire concomitante (par exemple, une épidémie de rougeole ou une toxi-intoxication alimentaire collective).

Malgré l'augmentation des moyens, plusieurs régions ont déjà atteint leur niveau de saturation. De plus, même en cas d'augmentation des ressources budgétaires, la montée en charge des ARS et des OpD pourrait être limitée par les difficultés rencontrées dans la pratique actuelle, telles que listées ci-après, qui pourraient s'amplifier avec le nombre de cas. Ces difficultés concernent chaque étape de la gestion d'un cas d'arbovirose et peuvent être d'ordre temporel (temps nécessaire pour réaliser certaines étapes), pratique/logistique (ressources disponibles et faisabilité de certaines étapes) ou structurel (organisation administrative de la LAV). Elles ne sont pas toutes rapportées par l'ensemble des ARS ou des OpD mais elles sont toutes susceptibles de s'alourdir en cas de multiplication des cas.

Difficultés rencontrées pour lancer les premières démarches après signalement du cas à l'ARS :

- délai de réponse du CNR des arbovirus pour la confirmation des cas : bien que les ARS n'attendent pas systématiquement la confirmation du CNR pour lancer des opérations de gestion, certaines ARS soulignent qu'une intervention précoce sur un cas finalement infirmé par le CNR entraîne des traitements biocides et donc des conséquences environnementales inutiles ;
- levée d'anonymat devant être demandée par l'ARS auprès du déclarant (dans le cadre de la DO) : cette levée d'anonymat est nécessaire pour pouvoir joindre le cas, mais peut être assez chronophage.

⁵² Le nombre de traitements varie en fonction du nombre de cas mais un plafond est défini dans le marché public passé avec les ARS. Il a été dépassé à plusieurs reprises en 2022 et 2023.

Difficultés rencontrées pour identifier les lieux sur lesquels l'OpD est amené à intervenir :

- temps nécessaire pour joindre le cas et pour identifier les lieux de passage des cas virémiques ;
- temps nécessaire pour identifier les zones d'exclusion où il n'est pas possible de réaliser le traitement de LAV (difficultés pour identifier les collectivités, l'animateur Natura 2000, les apiculteurs, etc.).

Difficultés rencontrées lors de la réalisation des enquêtes de terrain, soit par les cellules régionales de SpF et l'ARS lors de l'enquête porte-à-porte réalisée autour des cas autochtones, soit lors de l'enquête de voisinage réalisée par l'OpD :

- difficultés à rencontrer l'ensemble des riverains dans les zones de circulation autochtone lors des enquêtes en porte-à-porte ;
- temps nécessaire pour expliquer les traitements par les OpD ;
- difficultés de déplacement des agents dans les zones très embouteillées ou difficiles d'accès (saison touristique, JOP 2024).

Difficultés rencontrées lors de la réalisation des traitements de LAV par les OpD :

- délai de traitement très contraint (pour rappel, 72 heures maximum entre le signalement à l'OpD par l'ARS et le traitement) et hétérogénéité des pratiques entre les départements ou les régions ;
- nombreux déplacements des personnes virémiques, ce qui peut entraîner un nombre de lieux à visiter et à traiter très important⁵³;
- temps important passé à l'information de la population sur les traitements, qui doit être réalisée au plus tard 36 heures avant le traitement :
 - temps passé pour le boîtage dans les zones urbaines denses ;
 - difficultés à identifier les correspondants dans les communes pour les prévenir à temps d'une enquête/d'un traitement ;
- accès aux lieux à traiter :
 - refus d'accès aux jardins des habitants, difficulté pour identifier le responsable communal détenant les clés d'un terrain ou bâtiment communal dans les délais réglementaires de traitement, pas d'accès pour les véhicules, etc. ;
 - événements qui maintiennent une activité nocturne dans les zones à traiter (zones avec activité de loisirs tardive, festivals) ce qui peut limiter ou empêcher les agents des OpD de réaliser les traitements en temps voulu (difficulté de circulation et d'accès, impossibilité de protéger ces personnes des traitements) ;
 - identification parfois difficile des agents de l'ARS ou des OpD par les habitants ;
- certaines populations peuvent être difficiles à protéger au moment des traitements insecticides et entraîner des reports ou des annulations de

⁵³ Des travaux de l'Anses récemment publiés sur la priorisation des lieux à traiter peut répondre en partie à cette difficulté ([SABA2022AST0103.pdf \(anses.fr\)](#)).

traitement : campeurs, personnes sans domicile, élèves pendant le traitement d'une école ou d'un centre de loisirs, etc. ;

- efficacité des traitements qui ne peut pas toujours être garantie :
 - observation de dégradations ou de vols de pièges pondoirs ;
 - efficacité limitée des traitements quand une partie de la zone ne peut pas être traitée (zone protégée ou inaccessible) ;
 - une seule molécule est disponible pour les traitements adulticides ce qui entraîne des risques d'apparition de résistance aux insecticides et de perte d'efficacité.

Les ARS et les OpD rapportent également des difficultés liées à la structuration administrative de la LAV en France :

- gestion inter-ARS lorsque le patient a fréquenté plusieurs régions pendant la période de virémie ;
- irrégularité et imprévisibilité de l'activité, qui complique le bon dimensionnement des recrutements dans les contraintes financières du marché public : incitation à réduire les coûts pour être compétitif, ce qui limite les possibilités d'adaptation en cas d'augmentation de la demande et le maintien d'un personnel expérimenté pour expliquer le traitement et emporter l'adhésion des populations, d'autant qu'il faut du temps pour former le personnel ;
- contrainte du marché public (mise en concurrence et marché limité à 4 ans) qui ne favorise pas le bon dimensionnement de l'offre, la construction d'une équipe formée et expérimentée, la réactivité et la solidarité entre les régions et un travail de fond mené hors épidémie par une équipe pérenne dédiée à plusieurs tâches. De plus, le calendrier de renouvellement du marché peut donner lieu à une période de vacance sans OpD attiré entre deux marchés.

Il est aussi signalé qu'il est difficile de mobiliser et de sensibiliser la population générale de façon pérenne, notamment sur les gestes de prévention, ce qui implique un effort de sensibilisation systématique par les agents de terrain (ARS et/ou SpF ou OpD) lors de leur passage. Cela est parfois lié à la nature touristique de la région (nombre de résidences secondaires important, population estivale changeant fréquemment de lieu de séjour, etc.) ou à la démobilisation de la population.

Enfin, le problème du manque d'expérience des ARS des régions peu concernées jusqu'à ce jour est soulevé par ces mêmes ARS. Ce manque d'expérience va en général fortement augmenter le temps nécessaire au traitement d'un cas et peut entraîner une saturation rapide des moyens de l'ARS concernée.

4.2.3.1.2.3 Conséquences d'une mise en tension ou d'une saturation des moyens de lutte antivectorielle

Lorsque le GT les a interrogés, certaines ARS et certains OpD ont distingué la mise en tension et la saturation des moyens de LAV. Le GT a repris cette distinction.

Les conséquences possibles d'une **mise en tension** des ressources allouées à la gestion des cas d'arbovirose sont les suivantes :

- dégradation de la qualité des enquêtes et traitements, liée aux contraintes de temps, aux contraintes en ressources humaines, mais aussi à la dégradation des conditions de travail avec accumulation de fatigue ;
- risque de tensions sur la disponibilité du matériel et des consommables pour la réalisation des opérations de LAV ;
- mutualisation des moyens avec d'autres OpD avec possibles conséquences financières ;
- dépriorisation des enquêtes autour des cas importés au profit des transmissions autochtones ;
- retard dans la mise en œuvre de la LAV (gestion décalée dans le temps) ;
- conséquences sur les autres pôles d'activités :
 - au sein des OpD : retards dans les activités de recherche et développement ou de surveillance entomologique, baisse de l'activité contre les nuisances (lutte de « confort »), notamment dans les zones touristiques ;
 - au sein des ARS : dégradation des autres activités non prioritaires avec réallocation interne des ressources, mise en place d'un plan de continuité de l'activité, activation de la cellule CRAPS (cellule régionale d'appui et de pilotage sanitaire) ou CZA (cellule zonale d'appui), mobilisation de ressources externes (à l'image des médiateurs de lutte anti-Covid), mobilisation de la réserve sanitaire. L'arbitrage réalisé peut potentiellement avoir un impact sur d'autres crises sollicitant les ARS (par exemple rougeole, méningite, canicule, sécheresse, TIAC) ;
- dégradation des conditions de travail des agents des ARS et des OPD: augmentation du nombre d'heures travaillées, temps de repos réduit, report des congés ;
- une moindre efficacité des interventions du fait de la sollicitation de personnels moins expérimentés.

Dans une situation de mise en tension, certaines ARS ont mentionné quelles pourraient être les actions possibles :

- la sollicitation de leur OpD hors marché⁵⁴. Toutefois, tous les OpD n'ont pas les capacités logistiques pour répondre à des sollicitations supplémentaires de leur ARS ;
- la sollicitation d'opérateurs 3D (Dératisation Désinfection Désinsectisation), ces opérateurs étant détenteurs du Certibiocide. Ils n'ont par contre en général aucune expérience de la LAV ;
- le besoin de former du personnel pour le renfort des équipes au sein des ARS, ce qui peut être difficile à court-terme et en période estivale.

Ces cas de figure nécessitent un arbitrage budgétaire par l'ARS en cours de saison (pour faire des avenants au marché OpD ou pour solliciter d'autres ressources), ce qui peut passer par la mobilisation du FIR (fonds d'intervention régional) ou une demande exceptionnelle au niveau national.

Les conséquences possibles d'une **saturation** des ressources allouées à la gestion des cas d'arbovirose seraient les suivantes :

⁵⁴ Cette situation a déjà été rencontrée en 2022 en PACA.

- des conséquences humaines liées aux conditions de travail dégradées avec un risque de rupture (OpD) ;
- des conséquences financières (pour rémunérer les heures supplémentaires, et remplacer ou réparer le matériel) (OpD) ;
- l'impossibilité de mener les interventions autour des cas, l'arrêt prématuré du porte-à-porte et l'augmentation de la transmission autochtone, ce qui aurait pour conséquence le risque d'augmentation du nombre de foyers de transmission, de la taille des foyers, et *in fine* un risque d'épidémie (OpD) ;
- le passage à une échelle supra-régionale (recours au plan ORSEC-LAV⁵⁵).

Le GT précise que certains des impacts décrits sur les activités de prévention et de contrôle vont dépendre des mesures adoptées en cas d'épidémie. Ces mesures sont précisées dans les plans ORSEC-LAV, non disponibles au moment de la rédaction du rapport. Il est attendu que les stratégies de contrôle et de prévention changent au-delà d'un certain niveau de transmission autochtone, avec un arrêt des enquêtes en porte-à-porte et du suivi individuel, le relais de la déclaration obligatoire étant pris par un suivi par les médecins sentinelles, le suivi des passages aux urgences et des cas hospitalisés. Concernant la LAV, un arrêt des traitements intradomiciliaires est généralement prévu, au profit de traitements à l'échelle d'un quartier. En l'absence de plans ORSEC-LAV définis, le GT ne peut pas détailler davantage l'impact d'une hausse de la transmission autochtone.

A moyens constants, dans un contexte de mise en tension, les ARS pourront être amenées à prioriser les moyens sur certaines missions. En cas de saturation, elles auront à réaliser des arbitrages. Selon le GT, une réflexion en amont sur les arbitrages est nécessaire pour en limiter les impacts négatifs.

Synthèse sur les impacts prévisibles d'épisodes de transmission autochtone sur les activités de prévention, et de contrôle des arboviroses

À court terme, la situation actuelle sur le territoire hexagonal et les moyens matériels, humains et financiers contraints exposent à un risque de saturation des moyens de prévention et de contrôle en cas d'afflux de cas importés ou de transmission autochtone, quel que soit le niveau de cette dernière. Ainsi, plusieurs ARS interrogées ont signalé une mise en tension de leurs moyens pour traiter le nombre important de cas importés en 2023.

L'afflux inhabituel de cas importés et la multiplication des foyers autochtones, conduisent à la mise en tension des moyens de LAV (lutte antivectorielle) déjà observée en 2022 et 2023, à une dégradation des conditions de travail des différents acteurs (services des ARS, des OpD, de SpF) et à une dégradation de la qualité des opérations.

La saturation des moyens de LAV pourrait conduire à aggraver ces impacts.

Cette situation conduira les acteurs à devoir opérer une priorisation au sein des actions de surveillance, prévention et LAV. De plus, à moyens constants, la saturation conduira à des arbitrages dans l'allocation des moyens consacrés à la

⁵⁵ Les plans ORSEC-LAV sont en cours d'élaboration au moment de la rédaction du rapport. Ils permettront *a priori* de mutualiser ou mobiliser des moyens au-delà des moyens disponibles pour la région en temps normal.

surveillance, à la prévention et au contrôle et ceux consacrés à d'autres interventions⁵⁶. Ces arbitrages doivent être anticipés pour en réduire les possibles impacts négatifs.

La saturation des moyens pourra conduire à l'activation des niveaux les plus élevés du plan ORSEC-LAV.

Au-delà des ARS et de SpF, les impacts concernent d'autres institutions, à différentes échelles géographiques, qui interviennent à court terme (en réaction à une transmission autochtone) ou à plus long terme (pour des interventions en dehors des périodes de crise).

4.2.3.2 Impacts sur les collectivités territoriales et élus locaux

En cas de nécessité de traitement de LAV sur leur territoire (que ce soit pour un cas importé ou en cas de transmission autochtone), les élus locaux ou les services des collectivités territoriales (selon la taille de la commune) devront s'organiser pour donner accès rapidement aux zones relevant de la commune qui doivent être traitées (par exemple, écoles, terrains de sport, autres bâtiments municipaux, voie publique). Ils doivent également prendre des mesures pour limiter le risque d'exposition aux produits de traitement, en particulier pour les personnes ne pouvant pas être abritées au moment du traitement (personnes sans domicile). Ce dernier point peut nécessiter l'organisation de maraudes avec les services communaux (ARS Grand-Est) (voir aussi la section 4.3).

La nécessité de traitement peut donc conduire les élus locaux à adapter les heures de fréquentation nocturnes en décidant par exemple une fermeture anticipée d'établissements pour pouvoir traiter la nuit sans exposer la population (ARS Grand-Est).

Lorsque les traitements nécessitent une fermeture de l'espace public ou lorsqu'ils se heurtent à une opposition de la population, la police municipale ou d'autres services de police peuvent être mobilisés pour garantir la faisabilité de l'intervention (ARS ARA, Grand-Est).

Enfin, en termes d'accompagnement des personnes malades, il ressort de l'expérience de l'épidémie de chikungunya à La Réunion en 2005-2006 que les collectivités locales (communes ou départements, au titre de leurs missions d'accompagnement social) peuvent être sollicitées pour proposer un accompagnement social aux personnes isolées (Gaüzère *et al.* 2012).

En cas de crise ou à l'occasion de grands évènements, les collectivités territoriales peuvent être amenées à intensifier les moyens à l'échelle locale si les interventions nationales sont jugées insuffisantes, avec par exemple le renfort de l'offre de soins locale ((Ladner *et al.* 2017), exemple de l'agence de sécurité sanitaire et environnementale et de gestion des risques de la Métropole Nice Côte d'Azur⁵⁷), ce qui conduirait à une hausse du budget consacré à la lutte contre les maladies

⁵⁶ Par exemple, les ARS pourraient être conduites à retarder les enquêtes épidémiologiques et donc les traitements de LAV si les agents sont mobilisés au même moment pour gérer une épidémie de rougeole ou une toxi-infection alimentaire collective.

⁵⁷ Métropole Nice Côte d'Azur - Agence de sécurité sanitaire, environnementale et de gestion des risques (nicedadazur.org)

vectorielles. Ces interventions viennent en relais des acteurs définis par l'organisation institutionnelle et relèvent d'une décision politique des élus, dans leur arbitrage entre la satisfaction des besoins perçus de la population, les choix d'allocation budgétaire et le risque électoral. Elles peuvent dans certains cas compenser l'insuffisance des moyens alloués à l'échelle nationale.

Concernant les élus, l'augmentation de la transmission autochtone pourrait générer un risque politique s'il apparaît une transmission locale voire une épidémie, que les habitants attribueraient à une politique inadaptée ou insuffisante de la part des élus (OpD). Une étude qualitative sur les impacts d'une épidémie de dengue dans la société (Ladner *et al.* 2017) rapporte que l'insatisfaction des citoyens quant à la gestion de l'épidémie peut entraîner une perte de confiance dans les élus et l'efficacité de leur politique et un désengagement des citoyens des actions de prévention. En outre, une épidémie massive peut avoir un effet de réputation à l'international.

À plus long terme et en période inter-épidémique, plus le risque épidémique sera important, plus les collectivités locales seront attendues, par les acteurs institutionnels, ARS notamment, et par la population, pour contribuer à la diffusion des informations et à la prévention auprès des populations pour lutter contre les moustiques et relayer les messages de prévention (ARS ARA, BFC, CVL, PACA ; Naillet et Ali 2020). Le GT relève aussi l'impact attendu de l'équipement des bâtiments publics, notamment scolaires, en moyens de protection (moustiquaires par exemple).

Compte tenu des éléments présentés précédemment, et selon les choix de gestion des décideurs à l'échelle de la collectivité, les collectivités locales et, en particulier les communes, pourraient être amenées à augmenter la part de leur budget consacrée à la lutte contre les arboviroses, face à une augmentation du risque et de la demande de la population (ARS ; OpD ; Ladner *et al.* 2017).

Les plans communaux de sauvegarde pourraient être un outil pour décliner l'intervention des communes dans le cadre du plan ORSEC-LAV en période épidémique mais le GT n'a pas connaissance de plan communal de sauvegarde impliquant les arboviroses⁵⁸.

Si la gestion des arboviroses implique plus fortement les communes, les départements et les régions peuvent être sollicités pour équiper les établissements scolaires en moyens de protection ou en cas d'intervention de LAV dans les collèges et les lycées par exemple.

La gestion du risque lié aux arboviroses à l'échelle territoriale implique en outre une coordination inter-sectorielle entre les collectivités territoriales et les autres acteurs de la santé environnement.

4.2.3.3 Impacts sur les services déconcentrés de l'État

Les préfetures sont informées par l'ARS **lorsque des cas sont rapportés** et que des traitements sont réalisés. Elles peuvent être sollicitées en cas de transmission autochtone pour organiser la circulation des véhicules ou des personnes lorsque la réalisation des traitements nécessite de gérer l'accès aux sites (ARS Corse, Grand-Est).

⁵⁸ [Plan communal de sauvegarde - le guide - Format pdf \(5,2Mo\) / Files / Securite civile - Ministère de l'Intérieur \(interieur.gouv.fr\)](#)

En cas de saturation des moyens des ARS et en cas d'épidémie, elles devront gérer les plans ORSEC-LAV, en cours d'élaboration (ARS).

Les préfetures peuvent être sollicitées **à l'occasion de grands évènements** s'il existe un risque de transmission autochtone. La préfeture pourrait alors devoir organiser une LAV spécifique sur les lieux de l'évènement, comme cela a été pratiqué au Brésil sur les sites olympiques lors de l'épidémie de Zika pendant les Jeux Olympiques de Rio en 2016 (Warnke et Paul 2016).

4.2.3.4 Impacts sur l'État au niveau national

Au niveau national, les impacts d'une augmentation de la transmission autochtone pour l'État relèvent principalement d'un besoin d'organisation des différentes actions de gestion des arboviroses pour faire face à un risque plus intense sur l'ensemble du territoire. Ces actions relèvent de plusieurs champs.

Concernant l'information des populations, l'État sera amené à intensifier les campagnes d'information du public pour sensibiliser au risque d'arbovirose suite à un retour de voyage dans les zones de circulation du virus, et dans les zones d'implantation du moustique tigre (ARS ; (Naillat et Ali 2020)).

En cas de crise ou de transmission massive, l'État devrait gérer l'inquiétude des populations. Il est possible de s'attendre à une inquiétude particulièrement importante parmi les futurs parents en cas de transmission du virus Zika (ARS ARA).

Un opérateur interrogé suggère le développement ou l'adaptation d'un outil d'information dématérialisé pour informer les populations à risque (par exemple par l'envoi de SMS sur les téléphones portables ayant borné dans les zones concernées par un risque de transmission autochtone) (OpD). Selon le GT, ce type de diffusion de l'information a déjà été mobilisé en PACA, via le service d'information d'urgence.

Concernant la gestion des traitements de LAV, l'augmentation de la transmission autochtone et la répétition de traitements dans les mêmes lieux, l'extension de l'implantation d'*Ae. albopictus* au niveau national, l'impact des traitements sur la biodiversité, l'acceptabilité limitée des traitements répétés (cf. section 4.2.10) et le risque d'apparition de résistances d'*Ae. albopictus* aux insecticides soulèvent des attentes sur lesquelles l'État a une responsabilité pour les acteurs de terrain interrogés.

Les attentes portent sur :

- la définition de stratégies de traitement et de priorisation en cas de multiplication des cas (ARS et OpD)⁵⁹ ;
- le renforcement du contrôle de l'utilisation des produits biocides (exemple rapporté de cas d'offres d'opérateurs 3D ne respectant pas les zones de non-traitement) (ARS) ;

⁵⁹ AVIS de l'Anses relatif à la priorisation des lieux fréquentés par les cas importés d'arbovirose pour la réalisation des prospections entomologiques et des actions de lutte antivectorielle. [SABA2022AST0103.pdf \(anses.fr\)](https://www.anses.fr/fr/system/uploads/attachment_data/file/144444/SABA2022AST0103.pdf)

- la gestion de l'impact environnemental (impact sur la biodiversité d'un traitement non spécifique du moustique tigre) et sanitaire (pour les populations) des traitements répétés (ARS et OpD, Naillet et Ali (2020)) ;
- la prévention de l'apparition de résistances des moustiques aux produits biocides, en lien avec l'usage de ces produits dans l'agriculture et avec la répétition des traitements dans certaines zones comme autour des hôpitaux, dans un contexte où le décret qui organise la LAV impose de toujours traiter autour des cas (ARS) ;
- le développement de méthodes de LAV alternatives aux biocides, respectueuses de la santé et de l'environnement.

Concernant l'**organisation de la gestion des cas**, les attentes portent sur :

- l'organisation d'un réseau national de LAV permettant un partage d'expériences, une harmonisation des pratiques et une formation auprès des zones les plus touchées (ARS DROM) ;
- l'organisation d'une « force » de soutien au niveau national pour renforcer les ARS en difficulté (ARS) et d'une solidarité entre régions (Gaüzère *et al.* 2012) ;
- l'organisation d'un échange sur l'information et la gestion des cas au niveau international (mobilité internationale / transfrontalière des personnes virémiques, par exemple via le Centre opérationnel de régulation et de réponse aux urgences sanitaires et sociales (CORRUSS)) (ARS) ;
- la définition de seuils d'adaptation des enquêtes et traitements (ARS), qui relève du plan ORSEC-LAV, en cours d'élaboration au moment de rédiger ce rapport.

La réponse à ces demandes nécessitera pour l'État de consacrer davantage de budget à la prévention et la lutte des arboviroses, mais également de mobiliser des acteurs dans différents ministères.

Concernant la **gestion des risques professionnels** pour les acteurs intervenant dans la gestion de la crise et exposés au risque de transmission sur le terrain, l'État pourrait être confronté à une demande de reconnaissance des arboviroses comme maladie professionnelle. Cependant, selon l'expérience observée dans les DROM, il semble difficile d'attribuer l'infection à l'activité professionnelle en période épidémique. D'autres risques pourraient être évoqués en lien avec l'exposition aux biocides utilisés par les opérateurs. Le GT rappelle que les opérateurs manipulant les produits biocides doivent être titulaires du CertiBiocide, attestant d'une formation à la manipulation de ces produits.

Concernant les politiques publiques et le logement, et au-delà du seul Etat, le GT souhaite et recommande d'anticiper une meilleure prise en compte des enjeux de prévention du risque par les collectivités et les professionnels du bâtiment et paysagisme, lors de projets de construction et d'aménagement.

Comme le note une ARS, dans certaines zones géographiques, sont mises en place des politiques incitant les particuliers à récupérer les eaux pluviales (via des aides à l'installation de récupérateurs). Cela conduit à s'interroger sur les contradictions qui peuvent exister entre différents objectifs de politiques publiques (ARS PACA).

Synthèse sur les impacts prévisibles d'épisodes de transmission autochtone sur le secteur institutionnel hors prévention et contrôle

De multiples acteurs institutionnels, du niveau local au niveau national, seraient amenés à jouer un rôle en cas d'épidémie. Une augmentation modérée de la transmission autochtone aurait dans un premier temps des impacts ponctuels (pendant l'épisode de transmission) sur l'activité des collectivités locales, principalement pour accompagner les traitements de LAV (information de la population et accès aux zones à traiter).

Une transmission plus massive conduirait à une mobilisation de moyens plus intense dans les collectivités territoriales et les services déconcentrés de l'État. Une communication plus large auprès de la population générale serait mise en place, afin de ralentir la transmission et répondre aux inquiétudes de la population.

L'augmentation du risque aurait également des impacts en dehors des épisodes de transmission, pour préparer à l'échelle locale et nationale une réaction organisée face à une transmission qui s'intensifie. Avec l'apparition du risque dans l'Hexagone, un plan avait été élaboré en 2006, en cours d'actualisation dans le cadre de l'élaboration du plan ORSEC-LAV. A l'avenir, avec l'augmentation du risque et la multiplication des foyers, voire la survenue d'épidémie, il sera nécessaire d'adapter ce plan, notamment à la lumière des leçons tirées de l'expérience.

D'une façon générale, il est attendu une augmentation des coûts et des budgets des administrations publiques consacrés aux arboviroses en parallèle de l'augmentation du risque.

Les acteurs locaux sont dans l'attente d'une coordination nationale de la gestion des cas d'arboviroses, notamment pour la définition des critères de priorisation des cas à traiter⁶⁰.

4.2.4 Impacts sur l'état de santé et la démographie

Les chapitres précédents ont décrit les symptômes de la dengue, du chikungunya et du Zika. Certains groupes de population (enfants, personnes âgées, personnes en isolement social, personnes en situation de mal-logement) et les porteurs de comorbidités (drépanocytose, diabète, hypertension artérielle, maladies immunitaires...) sont plus concernés par les formes graves d'arbovirose. Les impacts différenciés de l'épidémie selon les caractéristiques individuelles sont abordés dans la section sur les inégalités (cf. section 4.3). Des éléments sur l'épidémiologie de ces maladies en France hexagonale et en Europe ont également été présentés précédemment.

⁶⁰ L'Anses a rendu en 2024 un avis relatif à la priorisation des lieux fréquentés par les cas importés d'arbovirose pour la réalisation des prospections entomologiques et des actions de lutte antivectorielle ([Avis de l'Anses relatif à la priorisation des lieux fréquentés par les cas importés d'arbovirose pour la réalisation des prospections entomologiques et des actions de lutte anti-vectorielle | Anses - Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail](#)). Les attentes portent également sur la priorisation des cas et des moyens au sein des ARS.

Dans cette section, après avoir brièvement rappelé les symptômes des maladies associées à ces virus, les impacts des foyers et épidémies d'arboviroses sur la santé et la démographie sont présentés et analysés. Pour éclairer ce que pourrait être le fardeau sanitaire d'un foyer ou d'une épidémie dans l'Hexagone, des informations sur le fardeau sanitaire associé à ces virus au niveau mondial et dans différentes zones du globe sont rapportées. Le fardeau sanitaire correspond à l'impact de la maladie sur la santé humaine ou sur d'autres dimensions. Il est estimé par l'indicateur DALY (*disability-adjusted life years*) qui permet de valoriser dans un seul indicateur l'impact sur la qualité de vie et la mortalité prématurée liée à la maladie. Le fardeau peut être valorisé d'un point de vue économique à travers les études de coût de la maladie (présentées dans la section 4.2.5). Les limites de la comparaison entre ces zones et l'Hexagone sont également rappelées.

4.2.4.1 Dengue

Pour rappel, la plupart du temps, les malades de la dengue ne développent pas de symptôme ou développent des symptômes légers (dans environ 50 % à 90 % des cas selon les études, cf. section 2.3.1.3). Ainsi, nombre de cas ne sont pas détectés par les systèmes de surveillance et il s'ensuit une sous-déclaration de la dengue.

Lorsque l'infection est symptomatique, elle peut prendre la forme d'une dengue classique ou d'une dengue sévère (anciennement appelée dengue hémorragique). Dans la dengue classique, les symptômes fréquemment signalés sont la fièvre, les maux de tête, les douleurs articulaires et musculaires (arthralgies et myalgies), l'asthénie majeure. D'autres symptômes, comme des éruptions cutanées, peuvent également survenir. Les symptômes disparaissent le plus souvent en une dizaine de jours mais peuvent se prolonger dans certains cas (cf. section 2.3.1.3).

Dans 2 à 5 % des cas, la dengue peut évoluer vers une forme sévère dans laquelle le pronostic vital peut être engagé. Lors d'une dengue secondaire (c'est-à-dire lorsqu'un individu est infecté pour la deuxième fois par un autre sérotype), il court un risque plus élevé de dengue sévère que lors d'une dengue primaire (cf. section 2.3.1.3).

❖ **Estimations du fardeau sanitaire de la dengue**

Au niveau mondial

Le virus de la dengue est l'arbovirus le plus répandu à l'échelle mondiale. Lin *et al.* (2022) confirment que la dengue est la maladie tropicale négligée (« *neglected tropical disease* ») la plus commune d'un point de vue global.

Le site du *Global Burden of Disease* fournit des estimations récentes⁶¹ du fardeau sanitaire de la maladie⁶². Ces estimations, rapportées dans ce paragraphe, ne tiennent pas compte des cas asymptomatiques. À travers le monde, en 2019, la prévalence de la dengue était de 3,39 millions de cas [2,17 : 6,04] (pour les deux sexes)⁶³, ce qui correspond à un taux (standardisé par âge) de 44,2 [28,1 : 79,2] cas pour 100 000 personnes. La mortalité s'élevait à 36 100 [9 180 : 44 500] décès, et le

⁶¹ D'autres estimations du fardeau global sont disponibles. Voir par exemple (Zeng *et al.* 2018).

⁶² <https://www.healthdata.org/>.

⁶³ https://www.healthdata.org/results/gbd_summaries/2019/dengue-level-3-cause.

taux de mortalité (standardisé par âge) à 0,5 [0,1 : 0,6] pour 100 000 personnes. Le fardeau s'élevait à 2,38 millions [0,828 : 3,27] DALYs, c'est-à-dire à un taux (standardisé par âge) de 32,2 [11,1 : 44,2] DALYs pour 100 000 personnes.

Les DALYs peuvent être attribués à différents groupes d'âge (en distinguant la période néonatale précoce, la période néonatale tardive, la période post néonatale, les 1-4 ans, les 5-9 ans, les 10-14 ans, ... les 90-94 ans, et les 95 ans et plus). Dans le monde en 2019, pour la dengue, le groupe des 1-4 ans supportait un nombre de DALYs plus élevé que les autres groupes d'âge (source : *Global Burden of Disease*).

Au cours des 20 dernières années, l'incidence de la dengue a augmenté de façon spectaculaire dans le monde. L'OMS affirme que le nombre de cas de dengue rapportés (« *reported cases* ») a fortement augmenté entre 2010 et 2019, puisqu'il est passé de 500 000 à 5,2 millions. Après un recul en 2020-2022, en lien avec le Covid et un taux de déclaration plus faible (« *due to the COVID-19 pandemic and lower reporting rate* »), une hausse du nombre de cas a été observée en 2023⁶⁴.

Des estimations du fardeau sanitaire sont aussi disponibles dans la littérature pour certains pays. Par exemple :

- au Mexique : le principal vecteur est *Ae. Aegypti*. Les quatre sérotypes ont été isolés et la dengue est hyperendémique. Undurraga *et al.* (2015) s'intéressent au fardeau de la dengue pour les années 2010 et 2011. Leurs estimations (en moyenne par année) s'élèvent à 139 000 [IC 95 % = 128 000 : 253 000] épisodes symptomatiques, 119 [IC 95 % = 75 : 171] décès, et 65 [IC 95 % = 36 : 99] DALYs par million d'habitants ;
- à Singapour : les auteurs rapportent que la proportion de cas symptomatiques de dengue détectés par le système de surveillance est faible. Le fardeau moyen de la dengue, en DALYs, est estimé à 9 - 14 pour 100 000 habitants, par an, entre 2000 et 2009. Ce fardeau s'avère comparable à celui de l'hépatite B ou de la syphilis (Carrasco *et al.* 2011) ;
- à Taïwan : les vecteurs *Ae. aegypti* et *Ae. albopictus* sont présents. Le fardeau moyen de la dengue était de 115,3 DALYs [6,3 : 934,3] par million d'habitants, par an, entre 1998 et 2014, période durant laquelle des foyers de dengue ont émergé quasiment chaque année (Luh *et al.* 2018). Ce chiffre moyen cache une grande hétérogénéité entre les années : le fardeau a été bien plus élevé les années d'épidémie (2002 et 2014) que les années sans épidémie. Ce fardeau sanitaire pourrait être sous-estimé, car les auteurs de l'article ne corrigent pas la sous-estimation du nombre de cas de dengue, contrairement à d'autres études.

Au niveau européen

Concernant l'Europe (où la dengue n'est pas endémique), l'OMS souligne qu'« *il reste difficile d'obtenir des données exhaustives* » sur la dengue⁶⁵. En 2013, l'incidence de la dengue était nulle (Shepard *et al.* 2016). En 2018, 2 500 cas ont été signalés à

⁶⁴ <https://www.who.int/fr/emergencies/disease-outbreak-news/item/2023-DON498>, point au 21 décembre 2023.

⁶⁵ <https://www.who.int/fr/emergencies/disease-outbreak-news/item/2023-DON498>, point au 21 décembre 2023.

l'OMS et la quasi-totalité d'entre eux étaient des cas importés (pour des informations complémentaires sur l'Europe, voir la section 2.4).

Au niveau français

Dans les DROM, la maladie est endémique⁶⁶.

En Martinique et en Guadeloupe, l'épidémie qui a sévi de fin 2019 à début 2021 a atteint respectivement plus de 33 000 et 23 000 personnes (cas cliniquement évocateurs) et 19 décès ont été signalés pour les 2 îles⁶⁷. R. Césaire (CHU Guadeloupe) mentionne qu'il a été observé une « *augmentation des formes sévères chez les jeunes enfants lors de la dernière épidémie* ».

À La Réunion, après une quarantaine d'années de transmission sporadique, quatre vagues épidémiques ont frappé l'île en 2018, 2019, 2020 et 2021 (Vincent *et al.* 2023). SpF et l'ARS de La Réunion indiquent que, pour la période 2018-2022, le nombre de cas confirmés a varié entre 1 145 (en 2022) et 30 023 (en 2021) et le nombre de décès entre 3 (en 2022) et 33 (en 2021). De plus, le nombre de patients avec des atteintes ophtalmiques s'est établi à 28 pour 2020 et 108 pour 2021 (années d'épidémie) et 0 pour 2022 (hors épidémie).

Il n'existe pas, à la connaissance du GT, d'évaluation du fardeau sanitaire (DALYs) de la dengue pour les DROM.

Dans l'Hexagone, où les deux premiers cas autochtones ont été identifiés en 2010, on observe une hausse du nombre de cas autochtones, qui reste modéré, depuis 2022 (cf. section 2.4.1). Dans le *Global Burden of Disease*, les pays du monde sont catégorisés selon le niveau de leur taux de DALYs (standardisé par âge, pour 100 000 personnes), pour l'année 2019. Les auteurs distinguent 10 catégories pour la dengue. L'Hexagone appartient à la première catégorie, qui rassemble les pays dont les taux de DALYs sont les plus faibles.

4.2.4.2 Chikungunya

Pour rappel, les symptômes du chikungunya présentent des similarités avec ceux de la dengue et du Zika. Le virus du chikungunya se caractérise néanmoins par des douleurs articulaires aiguës intenses, souvent invalidantes (cf. section 2.3.2.3). Généralement, la fièvre et les manifestations cutanées disparaissent en quelques jours. Les signes articulaires peuvent perdurer plusieurs semaines, voire plusieurs mois ou années, en particulier chez les personnes âgées (cf. section 2.3.2.3).

❖ **Estimations du fardeau sanitaire du chikungunya**

Au niveau mondial

Le *Global Burden of Disease* ne fournit pas d'estimation du fardeau du chikungunya. D'autres sources ont donc été consultées par le GT. Plus de 100 pays ont déjà connu des cas d'infection au chikungunya (Costa *et al.* 2023). Les épidémies se produisent surtout en Afrique, en Asie et dans la région Indopacifique. (Puntasecca, King et

⁶⁶ Voir par exemple les données épidémiologiques (nombre de cas, taux d'incidence et séroprévalence) recensées au 27 avril 2023 par la HAS https://www.has-sante.fr/jcms/p_3461308/fr/recommandation-vaccinale-contre-la-dengue-note-de-cadrage (tableau 1, page 3, synthèse des données de Santé publique France).

⁶⁷ Point épidémiologique SpF numéro 05/2021 du 28 mai 2021.

LaBeaud 2021) estiment, à partir d'une revue de littérature, que le fardeau global du chikungunya s'établissait à plus de 106 000 DALYs par an entre 2010 et 2019. Concernant la composition des DALYs, les séquelles à long terme liées aux atteintes articulaires (arthralgies persistantes, voire un tableau clinique de rhumatisme chronique) représentaient la principale composante de ce fardeau.

Des estimations du fardeau sanitaire pour le chikungunya sont disponibles pour différents pays. Par exemple, pour l'Inde pendant l'épidémie de 2006 (*Ae. aegypti* étant le premier vecteur, mais *Ae. albopictus* ayant aussi joué un rôle), (Krishnamoorthy *et al.* 2009) concluent à un fardeau de 45,26 DALYs par million de personnes. Les arthralgies persistantes représentent 69 % de ces DALYs.

Au niveau européen

La maladie a fait son apparition en Europe en 2007, avec une flambée épidémique dans le Nord-Est de l'Italie au cours de laquelle environ 300 personnes ont été touchées (Tomasello et Schlagenhauf 2013). On manque de données sur le fardeau du chikungunya en Europe. Seules quelques estimations sont disponibles. Par exemple, pour la région Europe (au sens de l'OMS), (Puntasecca, King et LaBeaud 2021) estiment que le fardeau du chikungunya est de 9 DALYs [0 : 865] par an, entre 2010 et 2019.

Au niveau français

Concernant les DROM (voir aussi les sections 2.4 et 2.3.2) :

- Dans l'Océan indien, l'île de La Réunion a été touchée par une épidémie majeure de chikungunya en 2005-2006 et 270 000 personnes auraient été infectées (sur 750 000 habitants) (Tomasello et Schlagenhauf 2013). Mayotte a aussi été touchée en 2005-2006, avec environ 40 000 cas⁶⁸. La Réunion a de nouveau été touchée au printemps 2010, avec une centaine de cas confirmés (Renault *et al.* 2012).
- Aux Antilles, le virus est apparu pour la première fois en 2013 et une épidémie a sévi en 2013-2014 avec plus de 68 000 cas en Martinique et plus de 80 000 cas en Guadeloupe⁶⁹.
- En Océanie, la Nouvelle-Calédonie a été touchée en 2011 (33 cas, SpF)⁷⁰ et la Polynésie française en 2014 (318 cas selon Aubry *et al.* (2015)).

Il n'existe pas, à la connaissance du GT, d'évaluation du fardeau sanitaire (DALYs) pour le chikungunya pour les DROM-COM.

En France hexagonale, deux premiers cas autochtones ont été identifiés en 2010 dans le Var, puis il y a eu deux foyers de respectivement 12 et 17 cas autochtones en 2014 et 2017 (voir section 2.4.1).

⁶⁸ <https://www.santepubliquefrance.fr/revues/articles-du-mois/2023/une-seropositivite-anti-igg-chikungunya-durable-dans-la-population-de-mayotte-ne-suffira-pas-a-prevenir-de-futures-epidemies-une-etude-de-seropre#:~:text=L%C3%A9pid%C3%A9mie%20de%202006%20a,le%20moustique%20tigre%20Aedes%20albopictus.>

⁶⁹ Bulletin de veille sanitaire de SpF de sept-nov 2014 « Émergence du chikungunya aux Antilles-Guyane ».

⁷⁰ https://www.santepubliquefrance.fr/content/download/63833/document_file/bilan-epidemiologique-chik-monde-2012-vv-1557698883.pdf

4.2.4.3 Zika

Pour rappel, la majorité des personnes infectées par le virus du Zika ne développent pas de symptômes. Dans les autres cas, le virus du Zika provoque des symptômes peu spécifiques, qui peuvent aussi évoquer la dengue ou le chikungunya (fièvre, maux de tête, etc.). Des complications ont été observées. Il s'agit, d'une part, de complications neurologiques post-infectieuses de type syndrome de Guillain-Barré et, d'autre part, de microcéphalies et de malformations congénitales chez le fœtus, qui peuvent apparaître lorsque le virus infecte une femme enceinte. La microcéphalie va de pair avec un retard mental irréversible chez l'enfant (cf. section 2.3.3.3).

Dans la littérature, les effets d'une épidémie à virus Zika sur le nombre de naissances au Brésil sont assez contrastés. Coelho *et al.* (2017) font l'hypothèse que le virus Zika a des effets sur les fausses couches et sur la mortinatalité. Cependant, la plupart du temps, ces événements de santé, au Brésil, comme ailleurs, ne sont pas comptabilisés, notamment en début de grossesse. Pour essayer d'approximer cette relation, les auteurs corrèlent le nombre de naissance, par semaine, au nombre de cas confirmés de Zika et de chikungunya. Leur analyse confirme l'effet négatif du nombre de cas de Zika sur le nombre de naissance, *ceteris paribus*.

Castro *et al.* (2018) s'intéressent aussi aux effets de l'épidémie de Zika de 2015 au Brésil sur la natalité. En utilisant les données démographiques entre 2010 et 2016, des naissances, des fausses couches et des hospitalisations liées à des complications suite à un avortement (interdit au Brésil), ils projettent que 119 095 naissances de moins que prévues ont été observées, en particulier après avril 2016 et l'annonce de l'épidémie. Leur résultat montre que ni le taux de mortinatalité (environ 11 / 1 000) ni celui des hospitalisations liées à des avortements ne varient. Ces deux effets leur permettent de conclure que la baisse du nombre de naissances pourrait être liée soit à un report de conception, soit à des avortements plus sûrs dans un pays où il est interdit, bien que d'autres phénomènes puissent entrer en ligne de compte (qualité des données et crise économique).

Afin de déterminer l'effet causal de l'épidémie sur le nombre de naissances et contrôler pour les effets énoncés ci-dessus (qualité des données et crise économique), Rangel, Nobles, et Hamoudi (2020) déploient une méthode quasi expérimentale au niveau régional en mobilisant les données réelles de naissances et des données environnementales pour servir de variables de contrôle. Ils montrent des comportements de report de la conception mais n'établissent aucune chute des naissances sept à huit mois après le pic épidémique et, neuf mois après, la baisse du nombre de naissances n'excède pas les 6 à 7 %.

Concernant le Syndrome Congénital de Zika (SCZ), deux types d'effets sont identifiés : d'une part, sur l'état de santé des enfants et, d'autre part, sur l'état de santé des aidants dans la famille des enfants affectés (le plus souvent, la mère). Ces études sont principalement qualitatives, bien que leurs résultats soient confirmés par quelques études quantitatives.

La littérature s'est beaucoup intéressée aux effets d'une épidémie de Zika sur la santé neurologique des nouveau-nés (Bailey et Ventura 2018). Les études listent les

symptômes de déficiences neurologiques liés à une infection par le virus Zika pendant la grossesse, qui est l'une des formes les plus sévères d'affections liées à cette infection *in utero* (Bailey et Ventura 2018)⁷¹. Moore *et al.* (2017) définissent la magnitude des syndromes d'anomalies congénitales associée à une infection par le virus Zika pendant la grossesse : ils listent pour les nouveau-nés exposés une augmentation du risque « de microcéphalie sévère avec un affaissement partiel du crâne ; un cortex cérébral mince avec des calcifications sous-corticales ; des anomalies oculaires, y compris des cicatrices maculaires et marbrures rétinienne pigmentaires focales ; des contractures congénitales ou amplitude limitée des mouvements articulaires ; une hypertonie marquée et des symptômes d'atteinte extrapyramidale ». Ces affections qui prennent diverses formes auront un impact tout au long de la vie de l'enfant.

L'étude brésilienne multicentrique de Marques *et al.* (2023) porte sur 193 enfants atteints de paralysie cérébrale liée au SCZ, suite à l'épidémie de 2015 qui a affecté une génération d'enfants. Cette étude a pour objectif de décrire la qualité de vie de ces enfants. Les auteurs établissent que les scores de qualité de vie (HR-QOL) liée à la santé sont identiques à ceux d'enfants atteints des mêmes pathologies mais sans lien avec le SCZ.

Plusieurs études insistent sur l'importance de considérer l'impact de l'état de santé des enfants sur l'état de santé des familles et des aidants, en particulier celui des mères. Bailey et Ventura (2018) établissent qualitativement quatre effets à prendre en compte. Ils soulignent l'importance de l'impact de l'annonce associée à la perspective d'une vie entière de soins et de sa charge financière, tout comme l'incertitude quant à l'évolution de l'état de santé aussi bien pour les enfants affectés que pour les enfants exposés sans signe à la naissance. Cet effet est accentué par le manque de connaissances médicales sur les évolutions et sur les traitements disponibles et par l'isolement social des enfants et des familles. L'effet d'isolement est d'autant plus fort que le syndrome affecte des enfants dans des familles vulnérables (Lowe *et al.* 2018).

Les spécificités liées à ce syndrome congénital ont pour effet d'augmenter la propension à l'anxiété et à la dépression des aidants (Lowe *et al.* 2018). Outre ces deux effets, Duttine *et al.* (2020), via une analyse « PedsQL », montrent que les mères d'enfants atteints ont des scores de qualité de vie inférieurs à ceux des mères d'enfants sains. Les différences sont statistiquement significatives dans les modules du questionnaire relatifs à la communication avec les enfants et à l'inquiétude relative à la situation.

❖ **Estimation du fardeau sanitaire de l'infection à virus Zika**

Au niveau mondial

Les évaluations du fardeau de Zika dans le monde sont assez peu nombreuses. Au niveau mondial en 2019, selon le *Global Burden of Disease*, en combinant les

⁷¹ Seule la lignée asiatique de ZIKV a été décrite comme étant associée au SCZ.

données sur les hommes et les femmes⁷², la prévalence de Zika s'établissait à 4 600 cas et le fardeau à 347 DALYs (256 - 455)⁷³.

La décomposition des DALYs en YLL (*years of life lost*, années de vie perdues par décès précoces) et YLD (*years of life with disability*, durée de vie avec handicap) montre que les YLL jouent un rôle légèrement plus important que les YLD. Au sein des YLD, le syndrome congénital de Zika et l'infection aiguë au virus Zika jouent des rôles bien plus importants que le syndrome de Guillain-Barré.

La décomposition des DALYs par groupes d'âges (en distinguant la période néonatale précoce, la période néonatale tardive, la période post néonatale, les 1-4 ans, les 5-9 ans, les 10-14 ans, ... les 90-94 ans, et les 95 ans et plus) souligne que la période post néonatale supporte un fardeau en DALYs plus élevé que les autres groupes d'âge.

Des estimations du fardeau sanitaire pour le Zika sont disponibles pour différents pays.

Dans le cas du Brésil, (Wachira *et al.* 2021) estiment le taux d'incidence et le fardeau sanitaire du syndrome de Guillain-Barré avant (en 2014) et après l'épidémie de Zika (en 2015 et 2016) en calculant des DALYs à partir de données d'information du système fédéral de santé brésilien. Entre 2014 et 2016, l'étude répertorie 5 521 hospitalisations, d'individus d'une quarantaine d'années, en moyenne, pour un syndrome de Guillain-Barré, avec une augmentation de 40,8 % entre 2014 et 2016. L'étude rapporte 581 décès sur la période, avec une augmentation du nombre de décès de 40 % entre 2014 et 2016. Ces deux données indiquent que le taux d'incidence est passé de 0,74 (pour 100 000 habitants) en 2014 à 1,02 en 2016, tandis que le taux de mortalité augmentait de 0,08 à 0,11. Concernant les DALYs, le niveau le plus élevé (avec 7 888,49 DALYs) a été atteint en 2016 et les DALYs ont augmenté de 32,53 % entre 2014 et 2016.

Au niveau européen

Pour la région Europe (au sens de l'OMS), entre 2010 et 2019, (Puntasecca, King et LaBeaud 2021) estiment que le fardeau de Zika est de 97 DALYs (0 - 104) par an.

Au niveau français

Il n'existe pas, à la connaissance du GT, d'évaluation du fardeau sanitaire (DALYs) pour l'infection à virus Zika pour les DROM.

Pour la France hexagonale, en 2023, SpF rapporte 9 cas de Zika importés⁷⁴, mais pas de cas autochtone⁷⁵ (cf. section 2.4.1).

Sur le site du *Global Burden of Disease*, les pays du monde sont catégorisés selon le niveau de leur taux de DALYs (standardisé par âge, pour 100 000 personnes), pour

⁷² <https://www.healthdata.org>.

⁷³ (Puntasecca, King, et LaBeaud 2021) estiment, à partir d'une revue de littérature, que le fardeau de Zika s'élève à 44 130 DALYs (10 061 - 80 407) par an, entre 2010 et 2019.

⁷⁴ <https://www.santepubliquefrance.fr/maladies-et-traumatismes/maladies-a-transmission-vectorielle/chikungunya/articles/donnees-en-france-metropolitaine/chikungunya-dengue-et-zika-donnees-de-la-surveillance-renforcee-en-france-metropolitaine-en-2023#:~:text=Le%20nombre%20de%20cas%20de,par%20des%20C3%A9pid%3%A9mies%20de%20dengue.>

⁷⁵ Trois cas de Zika autochtones ont été recensés, en 2019, pour la période 2010-2023.

l'année 2019. Les auteurs distinguent huit catégories pour Zika. L'Hexagone appartient à la première catégorie, qui rassemble les pays dont les taux de DALYs sont les plus faibles.

4.2.4.4 Remarques sur la transposabilité des études au contexte hexagonal

Si le *Global Burden of Disease* reste une tentative rigoureuse de fournir des mesures de santé significatives à un large éventail de parties prenantes, il présente certaines limites. Parmi celles-ci (Murray 2022), il peut présenter de nombreux biais, dus à la comparabilité de données très diverses tant aux niveaux géographiques que temporels (compilées au sein du *Global Burden of Disease*).

Le *Global Burden of Disease* fournit une estimation du fardeau global de la dengue et de Zika, mais ne chiffre pas celui du chikungunya. De plus, on manque de données sur le fardeau sanitaire du chikungunya et de Zika à travers le monde, y compris en Europe.

Lorsque l'on se tourne vers les expériences des DROM ou de pays étrangers pour anticiper le fardeau potentiel de la dengue, du chikungunya ou du Zika dans l'Hexagone, il est important de garder en tête que :

- l'Hexagone connaît une diapause hivernale qui interrompt les cycles vectoriels et limite la dynamique épidémique sur de longues périodes par rapport à ce qui est observé dans les DROM ou dans d'autres pays. Cependant, comme le dit l'OMS à propos de l'Europe⁷⁶, le climat de l'Hexagone pourrait devenir de plus en plus favorable à la transmission, avec une saison plus étendue (voir aussi la section 4.4) ;
- la population hexagonale ayant été très peu exposée au virus de la dengue (cf. section 2.3.1), une première épidémie pourrait se traduire, dans l'Hexagone, par une plus forte proportion de cas symptomatiques et une plus faible proportion de cas de dengue secondaire (les cas secondaires étant plus susceptibles de développer une forme sévère de la maladie), comparativement aux zones d'endémie ;
- les comorbidités de la population dans l'Hexagone peuvent être différentes de celles de la population d'un autre pays.
- le système de surveillance et l'efficacité de la riposte dans un pays peuvent être différents de ce qu'ils seraient dans l'Hexagone ;
- le système de santé (diagnostic précoce, prise en charge, etc.) d'un pays n'est pas toujours comparable à celui de l'Hexagone. Un système de soins moins robuste ira de pair avec des effets sur la santé plus délétères. Par exemple, l'OMS indique que des erreurs de diagnostic favorisent l'augmentation des cas de dengue sévère⁷⁷ ;
- la législation autour de la natalité varie entre les pays. Par exemple, l'avortement est considéré comme un crime au Brésil, alors que l'interruption volontaire de grossesse (IVG) est permise par la loi et inscrite dans la Constitution en France. Les études portant sur le syndrome congénital de Zika au Brésil sont donc difficilement transposables à la situation française. On

⁷⁶ <https://www.who.int/fr/emergencies/disease-outbreak-news/item/2023-DON498>, point au .21 décembre 2023.

⁷⁷ <https://www.who.int/fr/emergencies/disease-outbreak-news/item/2023-DON498>, point au 21 décembre 2023.

peut s'attendre, en France, à ce que des femmes dont le fœtus est atteint de microcéphalie puissent accéder à une IVG si elles le souhaitent.

Synthèse sur les impacts prévisibles d'épisodes de transmission autochtone sur l'état de santé des populations

La réflexion sur l'impact probable d'une épidémie d'arboviroses transmise par *Aedes* sur la santé de la population dans l'Hexagone doit tenir compte du fait qu'il y a eu peu d'épidémies dans des contextes similaires, et que la population de l'Hexagone n'est majoritairement pas immunisée contre ces virus.

L'impact d'une épidémie d'arbovirose sur l'état de santé de la population est en effet fortement déterminé par les formes graves, les formes chroniques et les séquelles de la maladie. Il sera directement lié à l'arbovirus, à la fréquence et à la répartition des cas, ainsi qu'à l'intensité de la transmission. Il dépendra également d'autres facteurs, notamment la performance du système de prévention et de contrôle (LAV), la saison, la zone géographique, la souche virale, la pyramide des âges, les comorbidités au sein de la population et l'état du système de santé.

Il n'existe que peu de données sur le fardeau des arboviroses transmises par *Aedes* en Europe. Les évaluations du fardeau sanitaire (exprimées en DALYs) réalisées dans des pays étrangers ne sont pas directement transposables à la situation hexagonale, étant donné que le système de surveillance, l'efficacité de la riposte, le système de soins, la législation concernant l'interruption de grossesse et les comorbidités de la population sont différents.

Le système de santé hexagonal est *a priori* plus à même d'accueillir les patients dans de bonnes conditions de prise en charge que celui de nombreux pays dans lesquels l'impact des arboviroses a été étudié. Néanmoins, le GT attire l'attention sur l'importance, pour la population et les professionnels de santé, de connaître les facteurs de risque et les signes d'alerte des formes graves des arboviroses. Le GT attire également l'attention sur le risque de saturation du système de soins hexagonal en cas d'épidémie, et notamment des services d'urgence en période estivale, qui pourrait compliquer l'accueil des patients et potentiellement alourdir l'effet de la maladie sur l'état de santé. De plus, la saturation de l'offre de soins pourrait également avoir un impact sur la prise en charge des autres maladies et donc sur l'état de santé de la population en général (cf. section 4.2.5 *infra*).

4.2.5 Impacts sur le système de soins

Dans cette section, les impacts possibles d'une augmentation de la transmission autochtone sur l'offre de soins⁷⁸ sont présentés, en distinguant les différents acteurs de cette offre.

Sont également présentées les mesures de prévention impliquant les acteurs du système de soins que pourrait générer l'augmentation de la transmission autochtone. Ces informations sur les impacts et les mesures de préparation sont principalement tirées des retours d'expérience des acteurs de terrain, rapportés dans la littérature et dans les réponses aux questionnaires transmis pendant l'expertise (ARS des DROM,

⁷⁸ L'offre de soins correspond aux acteurs participant à la prise en charge de la maladie.

ARS de l'Hexagone, professionnels hospitaliers dans les DROM, directions de CHU dans l'Hexagone, EFS, cf. section 4.1.3). Enfin, une dernière section présente des études de la littérature académique qui estiment les coûts (directs) des maladies associées à ces virus.

4.2.5.1 Considérations générales concernant les impacts sur l'offre de soins

L'ARS Guadeloupe explique que « *c'est la détection des formes graves [d'arboviroses] qui constitue un enjeu majeur pour les soignants* » et que ce sont les formes graves qui impactent le système de santé.

Concernant la dengue par exemple, afin de limiter l'impact d'une épidémie sur le système de soins et éviter sa saturation, les ARS des DROM suggèrent d'informer la population sur cette arbovirose, pour qu'elle sache qu'il faut rester chez soi, sauf cas particuliers : « *informer sur la dengue, sur la période du 4^{ème} au 6^{ème} jour de maladie où le choc de dengue peut survenir (information spécifique aux mamans). Expliquer que si on ne fait pas partie de groupe à risque du fait de comorbidité[s] (MCV [maladies cardiovasculaires], âge, etc.), il n'y a rien à faire avant le 4^{ème} jour sauf à prendre du paracétamol et en limitant la quantité à 4g/j au maximum. En cas de comorbidité, vigilance si arrivent des signes de décompensation* » (ARS La Réunion). Dans le même ordre d'idées, un opérateur de démoustication rapporte que la population n'est pas assez informée : des personnes atteintes, qui se sentent bien, continuent de se déplacer pendant la période de virémie, alors qu'elles peuvent transmettre le virus (en étant piquées) et devraient donc rester chez elles.

Les épidémies d'arboviroses dans les DROM ont affecté de nombreux acteurs de l'offre de soins, ce que confirme l'ARS La Réunion pour les épidémies de dengue. Il existe un consensus entre la littérature, les ARS et les experts sur l'importance, voire la nécessité, de la mise en place d'une **coordination** entre les différents acteurs du système de santé, en cas d'épidémie. Ainsi, l'ARS Guyane explique qu'« *un pont est souvent créé entre les SAU [services d'accueil des urgences], le laboratoire et les services des maladies infectieuses pour la mise en place d'une filière dédiée patient dengue si nécessaire* ». Cette ARS indique qu'elle organise, ou organiserait, une filière dengue dédiée en cas de saturation de l'offre de soins.

Les professionnels de santé interrogés dans les DROM signalent les secteurs du système de soins susceptibles d'être les plus touchés par une épidémie d'arbovirose. D'une façon générale, l'épidémie touche, dans un premier temps, la médecine générale, puis, dans un second temps, les urgences adultes, les urgences pédiatriques, la réanimation et les laboratoires (R. Césaire, MC. Jaffar-Bandjee et MP. Moiton). Plus spécifiquement (A. Cabié) :

- pour la dengue : « *principalement la médecine de ville et les services d'urgence* » ;
- pour le chikungunya : « *[la] médecine de ville, [les] services d'urgence et d'hospitalisation en médecine* » ;
- pour le Zika : il existe un « *risque de saturation des services de réanimation et de MPR [médecine physique et de réadaptation] en raison de l'incidence élevée des syndromes de Guillain-Barré* ».

Ces professionnels de santé des DROM indiquent en outre que les difficultés en cas d'épidémie tiennent à la concomitance de l'afflux important de patients d'une part, et des absences de certains professionnels de santé, eux-mêmes touchés par la maladie, d'autre part (M.C. Jaffar-Bandjee et MP. Moiton), avec un arrêt de travail de deux semaines en moyenne pour la dengue et le chikungunya et un peu moins pour l'infection à Zika (A. Cabié).

Le retour d'expérience sur les impacts sur le système de soins particulièrement documenté de l'épidémie de chikungunya à La Réunion et à Mayotte en 2005-2006 est rapporté dans l'encadré ci-dessous⁷⁹.

Encadré 3. Retour d'expérience sur l'épidémie de chikungunya à La Réunion et à Mayotte en 2005-2006

Le système public et le système privé ont été mobilisés lors de la crise du chikungunya à La Réunion et à Mayotte de 2005. La complémentarité des secteurs public et privé est importante à souligner. En effet, dans l'ensemble du territoire français, lors de la crise sanitaire du Covid-19, le système hospitalier public a été en première ligne et c'est principalement lui qui a été mobilisé, mettant le reste des prises en charge par le système de soins entre parenthèses. La complémentarité des deux secteurs à La Réunion a permis de disposer d'un plus grand nombre de lits pour les prises en charge et donc une plus grande capacité d'absorption des cas à traiter.

Selon un rapport parlementaire relatif à l'épidémie à virus chikungunya à La Réunion et à Mayotte rendu en 2006 (Audifax 2006, chap. VII), la coordination entre les soins de ville et les secteurs hospitaliers publics et privés a permis de compenser une situation tendue dans les établissements hospitaliers. Plusieurs éléments ont été relevés montrant que la coordination de tous les maillons a une importance non négligeable dans la gestion de crise :

- une cellule de crise hospitalière a été intégrée au dispositif de la préfecture et des moyens supplémentaires ont été précocement mobilisés,
- la mobilisation de bénévoles de la Croix rouge ainsi qu'un apport de la société civile,
- la réaffectation de lits de chirurgie au profit de services de médecine générale au sein de la structure hospitalière,
- la coordination entre les établissements qui a permis de répartir les moyens en fonction des besoins,
- l'organisation de la collaboration avec le secteur médico-social qui a facilité les hospitalisations à domicile, illustrant un décloisonnement des secteurs sanitaires et médico-social/social.

Par ailleurs, les impacts sur le système de soins peuvent être aggravés en cas de **crises multiples et simultanées** (cf. encadré ci-dessous)⁸⁰.

⁷⁹ L'expérience rapportée est ancienne et l'impact sur le système de soins pourrait être différent aujourd'hui compte-tenu des évolutions organisationnelles observées depuis, notamment au cours de l'épidémie de Covid (recours aux téléconsultations ou aux tests diagnostiques en pharmacie par exemple). Cependant, il s'agit, à la connaissance du GT, du seul cas documenté d'impact d'une épidémie sur le système de santé dans un contexte similaire de 1^{ère} épidémie d'ampleur.

⁸⁰ Voir aussi pour illustrer l'effet de crises concomitantes l'avis de l'Anses relatif à « l'évaluation du rapport bénéfice risque des pratiques de lutte anti-vectorielle habituellement mises en œuvre pour lutter contre la dengue, dans le contexte actuel de confinement global », [VECTEURS2020SA0057.pdf \(anses.fr\)](#) et [La pandémie de Covid-19 ne doit pas faire oublier la dengue \(theconversation.com\)](#).

Encadré 4. Des impacts sur le système de soins aggravés en cas de crises multiples : illustration en Guyane en 2024

La situation en Guyane en février 2024, dont le journal Le Monde s'est fait écho le 22 février 2024⁸¹, montre l'aggravation des impacts lorsque plusieurs crises se produisent simultanément. La Guyane fait face à la fois à des cas de paludisme et à une épidémie de dengue (avec des cas hémorragiques plus nombreux que lors de crises similaires).

Cette situation a plusieurs effets :

- les cas de paludisme viennent alourdir la tâche des soignants qui font déjà face à l'épidémie de dengue ;
- la densité médicale déjà faible (40 % de moins qu'en métropole) vient aggraver cette situation de crise.

Sont présentés ci-après les impacts des épidémies sur le système de santé, en distinguant les différents acteurs de l'offre de soins.

4.2.5.2 Impacts sur les consultations en ville

Les épidémies d'arboviroses dans les DROM engendrent une hausse de l'activité de soins effectués en cabinets de ville, centres de soins et lors de consultations externes d'hôpitaux.

Ainsi, en Guadeloupe, pendant une épidémie de dengue, les cabinets de médecins généralistes de ville constituent le secteur le plus touché de l'offre de soins, avec une hausse des fréquentations journalières de 20 % à 100 % (ARS Guadeloupe). L'ARS Guadeloupe note aussi une hausse de l'activité des maisons médicales de garde et une hausse des appels à la régulation médicale libérale.

Pour La Réunion, entre 2018 et 2021 (période avec des épidémies de dengue tous les ans), la part d'activité en lien avec la dengue au sein de l'activité de médecine de ville s'est établie à 1,7 % en 2018, 3,7 % en 2019, 5,4 % en 2020 et 4,8 % en 2021 (ARS La Réunion).

En ce qui concerne le chikungunya, l'épidémie de 2014 en Guadeloupe s'est également traduite par une hausse de l'activité des cabinets de médecins généralistes en ville (ARS Guadeloupe). Les spécificités du chikungunya expliquent une hausse de l'activité des infirmiers libéraux à domicile, des cabinets de neurologie (« *notamment pour les formes invalidantes, persistantes* ») et des cabinets de kinésithérapie en ville.

Concernant l'épidémie de Zika de 2016, l'ARS Guadeloupe note également une hausse de l'activité des cabinets des médecins généralistes de ville. Une hausse de l'activité est aussi observée dans les cabinets des gynécologues, dans la filière de prise en charge des parturientes, et dans l'activité des sages-femmes libérales.

Afin de limiter l'impact d'une épidémie sur le système de soins et éviter sa saturation, les ARS des DROM suggèrent de développer la formation des médecins généralistes aux premiers signes et aux complications spécifiques de la dengue étant donné qu'ils sont la plupart du temps les premiers professionnels de santé à être consultés par les

⁸¹ [L'épidémie de dengue la plus intense depuis vingt ans « met à plat toute la Guyane » \(lemonde.fr\)](https://www.lemonde.fr/guyane/article/2024/02/22/l-epidemie-de-dengue-la-plus-intense-depuis-vingt-ans-met-a-plat-toute-la-guyane_6147112_18814.html)

malades. De même, la littérature scientifique et la littérature grise mettent l'accent sur la formation des personnels de soins et médicaux⁸².

Selon le GT, bien que ce point n'ait pas été mentionné lors de la consultation des acteurs de terrain, un recours accru aux téléconsultations, y compris dans les pharmacies, pourrait être observé en cas d'épidémie, compte-tenu de la place qu'elles occupent désormais dans la prise en charge des patients (environ 4% des consultations de médecine générale facturées à l'assurance maladie depuis 2021) (Gallet 2023).

4.2.5.3 Impacts sur l'hôpital

4.2.5.3.1 *Soins d'urgence*

Les retours d'expériences des DROM soulignent également les effets des épidémies sur le service d'aide médicale urgente (SAMU) et les services d'urgence à l'hôpital. Ainsi, l'ARS Guadeloupe signale une hausse des appels au SAMU (service d'aide médicale urgente) pendant les épidémies de dengue.

Concernant les services d'urgence, les ARS Guyane, Guadeloupe et La Réunion attestent que les services d'urgence sont les premiers impactés lors d'une épidémie de dengue avec une augmentation des passages aux urgences hospitalières adultes et pédiatriques, pendant une épidémie de dengue par exemple (ARS de Guadeloupe). L'ARS La Réunion rapporte à ce propos que le nombre annuel de passages aux urgences pour dengue a été multiplié par 9 entre 2018 et 2021 (période pendant laquelle des épidémies ont eu lieu chaque année), passant de 475 à 4 136.

En période d'épidémie, il semble primordial d'éviter la saturation de l'offre de soins et des services d'urgences en particulier. Dans cet objectif, les ARS des DROM suggèrent d'organiser une filière spécifique d'accueil aux urgences et de prise en charge pour la maladie (ARS Guadeloupe, Guyane et La Réunion).

4.2.5.3.2 *Prévention des infections nosocomiales dans les établissements hospitaliers*

Selon les professionnels de santé hospitaliers interrogés dans les DROM, lors de la transmission autochtone d'arbovirus, l'hôpital devient un lieu à risque accru de transmission nosocomiale. Les directions des CHU des plus grandes métropoles de l'Hexagone ont été interrogées sur l'anticipation de ce risque et les mesures de prévention éventuellement prévues ou mises en œuvre.

L'anticipation de ce risque a déjà conduit toutes les directions de CHU dans l'Hexagone qui ont répondu à la consultation du GT à développer des protocoles de prévention. Ces protocoles comportent généralement deux volets : un ciblé sur la protection des patients suspectés de virémie à arbovirus ou hospitalisés pour arboviroses et un autre sur la surveillance entomologique et la lutte antivectorielle dans l'environnement immédiat de l'établissement. Certaines de ces mesures sont également rapportées par les professionnels hospitaliers dans les DROM.

⁸² Thèse de médecine générale, N. Gallet 2023. Arboviroses transmises par *Aedes albopictus* en France métropolitaine : évaluation des besoins et des attentes des médecins généralistes en termes d'informations et d'aide à la démarche diagnostiques.

A titre d'exemple, concernant la protection des patients, les mesures rapportées par les CHU et les professionnels de santé interrogés sont les suivantes :

- L'installation de moustiquaires imprégnées d'insecticides,
- Le branchement de diffuseurs électriques d'insecticides dans les chambres et salles d'attente,
- L'application de répulsifs cutanés pour les patients,
- L'information des patients,
- L'hospitalisation en chambre individuelle,
- Le maintien des fenêtres fermées,
- Le port de vêtements longs et amples pour le patient.

A titre d'exemple, concernant la surveillance entomologique, les mesures mentionnées par les CHU comportent :

- l'information des personnels,
- le traitement larvicide des gîtes non suppressibles,
- des actions de démoustication selon le besoin,
- l'identification des gîtes larvaires potentiels, la surveillance et le contrôle des moustiques,
- le recueil des piqûres de moustiques signalées par les patients ou le personnel,
- le renforcement de la lutte antivectorielle, avec prise de contact avec la commune,
- l'achat complémentaire de moyens de protection (moustiquaires, diffuseurs d'insecticides),
- l'identification des acteurs de la LAV,
- la démoustication régulière de l'établissement ,
- la climatisation.

Le CHU de Bordeaux mentionne également un programme de recherche avec la mise en place d'une barrière de pièges à CO₂ autour de l'établissement pour écraser le risque de diffusion autochtone avec formes graves parmi les patients fragiles hébergés au CHU (dialysés, greffés et autres immunodéprimés).

Certains établissements interrogés dans l'Hexagone rapportent que les mesures de prévention sont financées sur le budget propre de l'établissement sans financement dédié, ou à partir d'un budget fléché et du matériel stocké à la pharmacie de l'établissement.

4.2.5.3.3 Services d'hospitalisation

La revue de littérature a permis d'identifier des études ayant cherché à estimer l'impact de l'épidémie de dengue sur les hospitalisations. Une étude réalisée dans la province du Guangdong en Chine (Zhang, Yuan et Wang 2017) a estimé une durée moyenne de séjour hospitalier de 7,2 jours. Une étude réalisée sur les données d'hospitalisation au Mexique de 2008 à 2014 a conclu que le nombre d'hospitalisation pour dengue avaient dépassé le nombre d'hospitalisations pour la plupart des maladies évitables chroniques et aiguës et maladies infectieuses (Macías *et al.* 2019).

L'ARS de Guyane note que « *le service des maladies infectieuses se retrouve au centre de l'activité en milieu hospitalier et dans le conseil de la médecine de ville* ».

Concernant les épidémies de dengue, l'ARS de Guadeloupe observe « *quelques admissions en soins intensifs voire en réanimation pour les formes graves (atteinte d'organes ou forme hémorragique)* ».

A la Réunion entre 2018 et 2021 (période où il y a eu des épidémies de dengue tous les ans), le nombre d'hospitalisations de plus de 24h de patients à cause de la dengue a continuellement augmenté : 145 en 2018, 620 en 2019, 787 en 2019 et 1 185 en 2021. La proportion de formes sévères parmi les hospitalisés pour dengue a évolué de la manière suivante : 18 % en 2018, 17 % en 2019, 16 % en 2020 et 27 % en 2021.

Concernant les épidémies de dengue et également l'épidémie de chikungunya (2014), on note en Guadeloupe une « *hausse des demandes de prise en charge des EHPAD vers des services de médecine à l'hôpital pour des personnes âgées avec des comorbidités* » (ARS Guadeloupe).

Dans l'Hexagone, plusieurs établissements envisagent une organisation spécifique des soins en cas d'épidémie d'arbovirose en tant qu'« établissement de santé de référence » (ESR) pour le « risque épidémique et biologique » (AP-HM, HCL, CHU Toulouse). L'organisation porte sur le **circuit des patients** en termes de consultations et d'hospitalisation en maladies infectieuses, et prévoit spécifiquement :

- Le rapprochement des CHU ultra-marins pour adapter l'organisation sur la base de l'expérience acquise. Le GT considère que ce point est central ;
- L'organisation d'une filière de soins dédiée dès l'accueil à l'hôpital pour les patients suspectés de pouvoir transmettre une arbovirose ;
- L'organisation du retour à domicile avec des consignes de surveillance par l'entourage en cas d'aggravation clinique ;
- L'information spécifique des patients et du personnel sur les symptômes et la conduite à tenir ;
- Le développement d'une ligne téléphonique dédiée pour un soutien des infectiologues du CHU auprès des médecins libéraux.

Les services concernés seraient le service des maladies infectieuses et tropicales, les urgences adultes et pédiatriques, les services de réanimation médicale, de virologie, les services de médecine polyvalente et de parasitologie pour le volet vecteur.

En cas d'épidémie en période estivale, certains CHU prévoient une attention particulière sur :

- La disponibilité du personnel pour la prise en charge médicale et la réalisation des diagnostics ;
- Les chambres susceptibles d'accueillir des patients fébriles pour armer et équiper ces services alors que des lits peuvent être fermés en période estivale ;
- La filière pédiatrique ;
- La disponibilité des lits de chirurgie généralement fermés et disponibles pour accueillir des patients.

D'autres établissements (moins concernés à ce jour par la transmission autochtone) renvoient à la prise en charge déjà prévue pour des patients suspects d'infection, en particulier en cas de retour de zone tropicale ou au déclenchement du Plan Blanc

mais anticipent une perturbation moindre en cas d'épidémie d'arbovirose par rapport à d'autres types d'infection plus fréquentes, comme la grippe ou les VRS, du fait d'une prise en charge attendue principalement dans le secteur ambulatoire ou compte-tenu de l'étalement dans le temps des cas.

En cas d'augmentation massive de la transmission autochtone, les établissements mentionnent d'autres actions qui pourraient alors être mises en œuvre :

- organiser des formations à destination des médecins généralistes ;
- former le personnel du CHU.

Les établissements signalent néanmoins de **potentielles difficultés** de mise en œuvre des mesures de prévention et de gestion de la crise en cas d'épidémie :

- Concernant la prévention des infections nosocomiales :
- La disponibilité de répulsifs en quantité suffisante ;
- L'absence de moustiquaires aux fenêtres dans certains bâtiments alors que la situation pourrait nécessiter d'ouvrir les fenêtres (ventilation et rafraîchissement) ;
- L'impossibilité de traiter certaines zones du bâtiment susceptibles de produire des gîtes larvaires ;
- L'épuisement du budget disponible pour les mesures de prévention et les contraintes du marché public pour compléter l'équipement ;
- La non-réalisation de test diagnostique d'arbovirose aux urgences ou en ville pour des patients fiévreux en retour de voyage dans une zone tropicale après un test négatif pour le paludisme ;
- La saturation du service d'accueil des urgences en période estivale ;
- Des difficultés en termes de ressources humaines dans les services d'aval ;
- La difficulté du diagnostic différentiel en cas de dengue (notamment l'identification du sérotype impliqué).

Afin de limiter l'impact d'une épidémie sur l'offre de soins hospitaliers et éviter sa saturation, les ARS des DROM suggèrent :

- de former les médecins réanimateurs aux premiers signes, aux complications spécifiques de la dengue et à la prise en charge d'un choc de dengue ;
- d'organiser les services de médecine et de réanimation, dans le cas d'une épidémie de dengue.

4.2.5.4 Impacts sur les laboratoires de biologie médicale

Depuis mars 2014, le test diagnostique par la RT-PCR chikungunya et dengue est pris en charge par l'Assurance Maladie pour les prélèvements réalisés jusqu'à 7 jours après la date de début des signes⁸³.

Les laboratoires de ville, ainsi que ceux des hôpitaux (principalement les CHR/U), se trouvent aussi impactés par les épidémies, avec une augmentation de leur activité.

⁸³ <https://labo.chi-fsr.fr/wp-content/uploads/2015/05/N%C2%B08-CHIKUNGUNYA-DENGUE-FICHE-DE-SIGNALEMENT.pdf>.

L'ARS Guyane souligne l'importance de faciliter l'accès au diagnostic de la population. À ce propos, elle mentionne l'expérimentation « Dengue sans ordonnance » (DSO), également appelée « Labo sans ordo », menée en 2023 dans la ville de Kourou en Guyane. Ce dispositif est inspiré de celui mis en place pendant la crise du Covid-19. Dans le cadre de « Labo sans ordo », il n'était « *plus nécessaire d'avoir une ordonnance de son médecin pour effectuer un test de dengue PCR et/ou sérologique dans les deux laboratoires privés* »⁸⁴. L'objectif était de mieux détecter les cas de dengue. Les tests étaient pris en charge intégralement sans reste à charge.

A La Réunion, les capacités diagnostiques ont été améliorées pour faire face aux épidémies de dengue : « *les capacités diagnostiques ont été considérablement améliorées avec l'accès à la PCR dengue dans les laboratoires de ville (et non plus uniquement au CHU) dès la 1ère vague épidémique « d'importance » en 2018* » (ARS La Réunion). Ceci a permis de raccourcir le *turnaround time* (TAT) et de permettre au laboratoire du CHU de ne pas être « *noyé* » (ARS La Réunion). De plus, « *les analyses sérologiques sont également toutes réalisées à la Réunion permettant au territoire d'être « autonome »* » (ARS La Réunion).

L'ARS de Guadeloupe ne note « *pas de débordement de la demande de diagnostic en laboratoire* » lors des épidémies de dengue. Lors de l'épidémie de chikungunya de 2014, une hausse des activités de diagnostic en laboratoire de biologie a été observée (ARS Guadeloupe).

Afin de limiter l'impact d'une épidémie sur le système de soins et éviter sa saturation, les ARS des DROM suggèrent la mise à disposition des médecins généralistes d'un accès rapide à une confirmation diagnostique sous la forme de « *mise en place de capacités diagnostiques rapides dans les laboratoires de biologie de ville* » (ARS La Réunion), « *un accueil en laboratoire sans prescription du médecin (type « labo sans ordo »* » (ARS de Guadeloupe).

4.2.5.5 Impacts sur les pharmacies et les produits de santé

L'ARS Guadeloupe note, pendant les épidémies de dengue, une « *hausse notable des demandes de conseils en officines de pharmacie (produits répulsifs, antalgiques)* ». Afin de limiter l'impact d'une épidémie sur le système de soins, elle recommande de prévoir un stock important de paracétamol dans les pharmacies de ville. Ce point est important dans le contexte récent de pénuries de paracétamol. Cependant, le GT souligne que les stocks de produits médicaux ne reposent que partiellement sur les pharmacies.

Concernant la vaccination (voir aussi la section 2.5.3 sur les vaccins disponibles ou en cours de développement), les positions ne sont pas consensuelles. L'ARS La Réunion considère que la vaccination sera « *LA STRATEGIE à privilégier pour lutter contre une épidémie de dengue* » et recommande de prévoir la fabrication de suffisamment de doses de vaccins et la réservation d'un nombre important de doses par l'État. Cette position nécessite d'être confrontée aux recommandations de la HAS, attendues au 3^{ème} trimestre 2024, et aux publications scientifiques toujours en cours. L'OMS dans un « *position paper* » de mai 2024 reste prudente à cet égard et indique notamment que « *la vaccination contre la dengue doit être considérée comme l'un des éléments d'une stratégie intégrée comprenant également d'autres mesures de*

⁸⁴ <https://www.guyane.ars.sante.fr/media/110093/download?inline>.

lutte contre cette maladie, notamment la lutte antivectorielle, la prise en charge adéquate des cas, l'éducation et la mobilisation des communautés.../...La mise en œuvre de mesures exhaustives de lutte antivectorielle reste une composante fondamentale des programmes de lutte contre la dengue, d'autant plus que les moustiques vecteurs de cette maladie transmettent aussi d'autres virus importants, notamment les virus de la fièvre jaune et du chikungunya et le virus Zika »⁸⁵.

Dans une perspective coûts-avantages, l'évaluation de la vaccination repose sur une comparaison des coûts du programme de vaccination avec les bénéfices liés aux économies réalisées (grâce aux infections évitées et aux conséquences de ces infections). Dans le contexte hexagonal, l'augmentation de la transmission posera la question de la vaccination et des populations à vacciner.

Enfin, les pharmacies peuvent être un lieu permettant de participer, avec les laboratoires de biologie hospitaliers et de ville, à la réalisation de tests de PCR comme ce fut le cas pour la crise du Covid-19. Par ailleurs, aujourd'hui, les tests rapides d'orientation diagnostique (TROD) se développent pour les arboviroses.

4.2.5.6 Impacts sur les activités liées aux produits du corps humain

Les dons de sang et les stocks de sang jouent un rôle essentiel dans la prise en charge adéquate des patients par le système de soins (Brouard *et al.* 2008). Pour assurer sa mission de service public incluant la prise en charge des patients en urgence, les établissements doivent être en mesure de disposer de stocks de sang suffisants pour les transfusions. Or, dans un contexte d'épidémie, deux phénomènes peuvent se conjuguer :

- D'une part, le nombre de personnes pouvant donner leur sang se réduit, du fait de la transmission et des suspicions de transmission ;
- D'autre part, dans un climat de peur (quelle que soit l'origine de cette peur), le nombre de personnes éligibles (pour le don du sang) peut diminuer.

Des stocks insuffisants de produits sanguins engendrent une désorganisation du système de soins.

Selon l'EFS, interrogé par questionnaire, en cas d'épidémie d'arbovirose, « *il faut distinguer 2 situations :*

- *Les laboratoires de l'EFS disposent d'un test DGV [dépistage du génome viral] adapté à la qualification biologique des dons (notamment automation déjà disponible). L'impact est minime sur la disponibilité des produits sanguins car le test est implémenté généralement dans des délais courts. Ce sont des dispositions bien rodées comme l'illustre la mise en œuvre de test DGV dengue à la Réunion pendant l'épidémie 2018-2023 et actuellement aux Antilles ;*
- *Les laboratoires de l'EFS n'ont pas un test DGV disponible. L'impact serait dès lors important et dépendrait du lieu et de l'étendue géographique de la zone impactée. En effet, dans l'attente de pouvoir disposer d'un test DGV, il serait envisagé d'arrêter la collecte en zone impactée et de réaliser un approvisionnement par des établissements situés en dehors de la zone impactée. Ce cas de figure s'est présenté lors de l'épidémie de Chikungunya*

⁸⁵ <https://www.who.int/publications/i/item/WER9918>

en 2006 sur l'île de la Réunion. L'absence de test DGV disponible a conduit à l'arrêt des collectes de sang total sur l'île pendant environ 1 an. L'approvisionnement en produits sanguins (hors produits plaquettaires collectés sur place et sécurisés par la technique d'atténuation des pathogènes Intercept Blood System) a été réalisé par la métropole » (EFS).

Lorsque des tests sont réalisés, ils sont réalisés à titre individuel (pour chaque don du sang). Leur coût, défini dans le marché public, est dégressif avec les quantités et varie de 12 à 5 euros par test (EFS).

Concernant les greffes de tissus et d'organes, des tests sont systématiquement réalisés sur les tissus ou greffons avant greffe ou transplantation. Selon le GT, l'impact budgétaire d'un test supplémentaire pour les arboviroses serait négligeable au regard du coût des activités de greffe et de transplantation.

4.2.5.7 Un cas particulier : l'impact de l'infection à virus Zika sur le système de soins

L'infection à virus Zika a des conséquences spécifiques sur le système de soins, qui dépassent la seule prise en charge des personnes malades compte-tenu des risques de malformations ou de troubles du développement pour le fœtus en cas de d'infection de la mère au cours de la grossesse. Ces atteintes fœtales peuvent conduire à la réalisation d'interruptions thérapeutiques de grossesse et le risque pour le fœtus peut amener les femmes enceintes infectées à vouloir avoir recours à l'IVG.

Wenham *et al.* (2019) commentent la place de l'IVG lors de risques de santé particulièrement sévères pour le nouveau-né. En particulier, l'article de Rabionet *et al.* (2018) met en avant les difficultés d'accès à l'IVG, les disparités de cet accès suivant les spécificités de la population et les aspects de justice sociale que cela peut impliquer.

Derrière ces articles, la question de fond est celle de la réponse du système de santé à l'ensemble des demandes d'IVG qui pourraient survenir en cas d'épidémie ou de la priorisation des demandes lorsque ce système est saturé.

Dran (2018) aborde cette question en étendant le cadre de réflexion aux pathologies prioritaires. Face à une épidémie de Zika, les femmes potentiellement exposées pourraient manifester le besoin d'avoir un recours accru à la contraception pour éviter d'être confrontées à une telle situation. (Freed *et al.* 2021) traitent de cette question et les auteurs pointent que les méthodes de contraception deviennent plus difficiles d'accès lors d'une épidémie sanitaire.

Au-delà de l'IVG se pose la question de la naissance de bébés avec des atteintes notamment neurologiques de Zika, de l'impact sur leur développement et a minima leur bien-être et de leur parcours de vie en termes de prise en charge et dépenses de santé. L'article de Shewale *et al.* (2019) étudie par exemple les cas d'encéphalite pour les nouveau-nés en lien avec des épisodes de Zika.

Enfin, au-delà de la santé de ces enfants, un impact sur leurs mères est aussi mis en évidence dans la littérature. Carla da Silva Reis *et al.* (2020) montrent que les mères avec un enfant ayant des séquelles de Zika (un syndrome congénital de Zika) sont amenées à travailler à temps partiel pour s'occuper de leur enfant, ce qui implique

une diminution de leur salaire. De plus, des effets sur la santé mentale de ces mères, confrontées à cette charge supplémentaire, sont démontrés.

4.2.5.8 Insalubrité, épidémies et système de soins

En 2005-2006, à La Réunion, les conditions d'insalubrité ont eu des effets directs sur l'offre de soins hospitaliers. Gaüzère *et al.* (2012) soulignent l'importance, en temps d'épidémie, de la collecte des ordures, probablement à un rythme plus soutenu qu'en temps ordinaire, en particulier dans des localités où les conditions de salubrité ne sont pas pleinement respectées.

En 2024, parmi les gestes recommandés pour lutter contre la dengue, il est demandé de jeter les déchets verts en respectant les jours de collecte. Par ailleurs, Gérard Cotellon, directeur général de l'ARS La Réunion souligne que « *Quand il y a des encombrants, des pneus hors d'usage, on signale les gîtes larvaires aux collectivités* »⁸⁶.

Synthèse sur les impacts prévisibles d'épisodes de transmission autochtone sur le système de soins

L'expérience acquise lors des épidémies d'arbovirose survenues ces dernières années dans les DROM révèle que l'impact sur le système de soins se traduit essentiellement par deux problématiques principales : une augmentation de l'activité liée à la croissance du nombre de patients et une diminution de la disponibilité des professionnels de santé, eux-mêmes touchés par l'épidémie (avec des arrêts de travail pouvant atteindre deux semaines en cas d'infection par le virus de la dengue).

Ces circonstances provoquent des tensions dans les capacités de diagnostic et peuvent entraîner la saturation de certains services, voire de l'ensemble du système de soins en cas d'épidémie étendue.

Cette problématique est exacerbée lorsqu'une autre épidémie survient simultanément, comme ce fut le cas par exemple aux Antilles, avec une double épidémie de Covid-19 et de dengue survenue en 2020. Ces situations de tension extrême nécessitent la mobilisation de renforts et de la réserve sanitaire en phase épidémique.

En ce qui concerne la dengue, c'est surtout la médecine de ville et les services d'urgence et de réanimation qui sont impactés. Pour le chikungunya, l'impact s'étend à la médecine de ville, aux urgences, et aux services hospitaliers de médecine et de rhumatologie. Concernant le Zika, le principal risque est la saturation des services de réanimation et des services de soins médicaux et de réadaptation (SMR), à cause de l'incidence élevée des syndromes de Guillain-Barré associés à ce virus.

Une épidémie d'arbovirose peut également avoir un impact sur les collectes de sang, en limitant le nombre de donneurs éligibles, en augmentant le coût des tests de dépistage ou en mettant en tension les stocks de produits.

⁸⁶ <https://la1ere.francetvinfo.fr/reunion/dengue-face-a-l-augmentation-des-cas-les-agents-de-lutte-anti-vectorielle-mobilises-a-saint-joseph-1476068.html>.

Les groupes les plus à risque de développer des formes sévères incluent les patients atteints de drépanocytose, les personnes âgées et les jeunes enfants. Une vigilance accrue est nécessaire pour les femmes enceintes infectées par le virus Zika, en raison des risques pour le fœtus. Pour les trois virus, des retards dans la prise en charge peuvent affecter les individus les plus précaires ou ceux éloignés du système de soins.

En France hexagonale, la formation des professionnels de santé, tant en ville qu'à l'hôpital, représente un enjeu crucial nécessitant une attention particulière. Les CHU interrogés n'ont pas rapporté de plan spécifique pour l'organisation des soins en cas d'épidémie d'arbovirose, ce qui peut s'expliquer par le nombre relativement faible de cas rapportés à ce jour. Cependant, divers CHU, principalement situés dans le Sud de la France (zone traditionnellement plus exposée aux arboviroses), ont mis en place différentes mesures spécifiques, telles qu'une surveillance sanitaire des cas d'arboviroses importés et autochtones, une sensibilisation de tous les professionnels de santé aux précautions à prendre pour limiter les risques de transmission, des plans pour augmenter les capacités diagnostiques sur site. Dans ces établissements, le risque de transmission vectorielle d'arbovirose en milieu hospitalier est également pris en compte, avec la mise en place de mesures préventives, qui combinent généralement plusieurs approches (utilisation de moustiquaires, diffuseurs électriques d'insecticides, application de répulsifs cutanés, actions visant à limiter les gîtes larvaires au sein de l'établissement, etc.).

Un niveau accru de transmission et l'implantation d'*Aedes albopictus* dans de nouvelles régions pourraient conduire d'autres établissements hospitaliers ou d'autres structures de soins susceptibles d'accueillir des patients en phase de virémie d'arbovirose à devoir mettre en place des protocoles équivalents à ceux déjà énoncés par les CHU dans le cadre de leur protocole (voir au-dessus).

Selon le GT, le financement des mesures de prévention sur les budgets propres des établissements pourrait limiter la montée en puissance nécessaire de ces mesures en cas d'augmentation de la transmission autochtone. Des budgets spécifiques et des achats groupés de produits répulsifs pourraient être nécessaires à une échelle plus importante, au niveau des Groupes hospitaliers de Territoire (GHT) ou au-delà.

Selon le GT, il n'est pas attendu un impact significatif des arboviroses sur le système de soins au niveau 2 de transmission autochtone (cf. tableau 3). L'effet pour un niveau 3 de transmission est incertain, et un impact significatif est attendu pour le niveau 4. A ce dernier stade, l'expérience des DROM montre notamment la nécessité d'organiser une filière d'accueil spécifique des malades à l'hôpital.

4.2.5.9 Synthèse sur les études de coût de la maladie

Dans un travail récent, Roiz *et al.* (2024) présentent une synthèse complète à l'échelle mondiale, des études faisant état des coûts économiques des maladies transmises par *Aedes albopictus* ou *Aedes aegypti*, couvrant 166 pays et territoires sur une période de 45 ans (de 1975 à 2021). Le recensement comprend la base des données INVACOST 4.1 complétée par une recherche supplémentaire sur *Web of Science* et PubMed selon la méthode PRISMA et une recherche opportuniste, avec une méthode

améliorée de classification des coûts et élimination des doublons et une analyse des données. La synthèse des coûts s'appuie sur une revue d'études robustes fondées sur des bases de données fiables et n'est pas une évaluation du fardeau économique de la maladie fondée sur l'incidence. Toutefois, elle fournit des informations indispensables sur les implications économiques plus larges des maladies transmises par les *Aedes*.

L'estimation minimale des coûts cumulés rapportés, exprimée en dollars de 2022, est de 94,7 milliards, en tenant compte de la phase aiguë de la maladie et des coûts de prévention et de contrôle des arboviroses. Bien que ce chiffre reflète une sous-déclaration et une sous-estimation considérables, il est du même ordre de grandeur que d'autres estimations déjà publiées dans la littérature, notamment les données issues de l'étude *Global Burden of Disease*. Il est constaté une tendance de forte hausse des coûts cumulés de la dengue, du chikungunya et du Zika qui correspond à l'augmentation de l'incidence de ces maladies. L'analyse suggère une multiplication par 14 des coûts liés aux arboviroses à *Aedes* entre 1975 et 2021, avec une dépense annuelle moyenne de 3,1 milliards de dollars et un maximum de 20,3 milliards de dollars en 2013. Les Amériques et l'Asie sont les régions où les coûts cumulés déclarés sont les plus élevés mais les données disponibles sur le coût de maladie ne sont pas uniformes d'une région à l'autre. On dispose de peu de données sur l'impact économique dans les pays à haut revenu de l'Europe tempérée/méditerranéenne, où *Ae. albopictus* s'est répandu et la transmission sporadique d'arbovirus a eu lieu. Différents acteurs supportent les différents coûts, le système de soins en représentant la majeure partie, 42,7 milliards de dollars.

En intégrant les effets à long terme, le coût total des séquelles du chikungunya a été estimé à 219,3 milliards de dollars pour la période 2013-2015, soit une moyenne annuelle de 73,1 milliards de dollars. Le coût total du Zika a été estimé à 4,2 milliards de dollars pour la période 2015-2017, soit une moyenne annuelle de 1,4 milliard de dollars. Par conséquent, le coût total estimé des séquelles de ces maladies s'élève à 223,5 milliards de dollars pour la période 2013-2017. Si l'on ajoute le coût des séquelles à l'estimation des coûts déclarés, on obtient un total cumulé à l'échelle mondiale estimé à 318 milliards de dollars de 1975 à 2021.

Selon Roiz *et al.*, les coûts économiques globaux déclarés des dommages et des pertes associés à ces maladies sont dix fois plus élevés que les investissements consentis pour leur gestion. Seule une part modeste des coûts correspond à la prévention, les coûts des dommages ont continué à augmenter depuis 1995, et les coûts de gestion sont restés largement inférieurs aux coûts des dommages. Le décalage entre la faiblesse des budgets allouées à la prévention et l'importance du coût de la prise en charge des maladies appelle à des évaluations du rapport coût-efficacité des mesures de prévention, encore peu publiées à ce jour. L'estimation du coût de la maladie fournie par Roiz *et al.* pourrait être mobilisée pour valoriser le bénéfice associé aux cas évités par les mesures de prévention.

4.2.6 Impacts sur les activités économiques

On peut s'attendre à ce qu'une épidémie ait des répercussions sur les activités économiques, c'est-à-dire sur l'offre et la demande de biens et services (hors offre de soins) et donc sur les équilibres de marchés. Dans la littérature scientifique, on

distingue en général deux types d'effets : des effets macroéconomiques (sur les flux et les agrégats macroéconomiques) et des effets microéconomiques (sur les comportements des agents économiques, consommateurs et producteurs). Cette section recense ces effets en s'appuyant sur les retours d'expériences des acteurs interrogés (ARS, chambres de commerce et d'industrie (CCI)). L'analyse de ces sources de données conduit le GT à considérer les effets macroéconomiques d'une épidémie (cf. section 4.2.6.1), puis une déclinaison des effets dans quatre domaines : les moyens de protection contre les piqûres de moustiques, le tourisme, le secteur immobilier et le marché du travail (cf. sections 4.2.6.2 à 4.2.6.5).

4.2.6.1 Effets macroéconomiques

Au niveau macroéconomique, les chercheurs se sont intéressés à l'effet des épidémies de dengue au Brésil sur la croissance économique (Montibeler et Oliveira 2018), sur les marchés financiers et, plus particulièrement, sur la valeur des actions des marques sponsors des Jeux Olympiques de Rio (Macciocchi *et al.* 2016). Montibeler et Oliveira (2018) modélisent les effets de l'épidémie sur les tableaux entrées-sorties de la comptabilité nationale et sur la force de travail potentiellement affectée par la dengue. Ils établissent un faible effet sur le PIB et sur la croissance qui est non linéaire, qui se transmet entre secteurs, mais qui peut s'amplifier dans le temps. Macciocchi *et al.* (2016) estiment un effet à très court terme sur la valeur des actions des sponsors des JO qui diminue puis s'évanouit en fonction du type et du volume d'informations émises par les autorités publiques sur la situation épidémique. Sur la base de ces études, les effets d'une épidémie d'arboviroses dans l'espace et dans le temps ne sont pas très significatifs sur la croissance économique et sur les secteurs économiques implantés sur le territoire de l'épidémie. Cette observation est confirmée par (Cheng *et al.* 2021) qui montrent que l'épidémie de Zika qui a démarré en 2015 au Brésil puis s'est étendue, n'a pas eu d'effet sur les prix mondiaux du pétrole brut, marqueurs imparfaits de la santé économique mondiale, conférant à l'épidémie des caractéristiques locales. En revanche, ces épidémies d'arboviroses étant devenues un risque mondial, Nakano (2018) souligne que les effets territoriaux devraient se propager d'une économie à l'autre via les chaînes de valeur à l'échelle mondiale. En s'intéressant ainsi à ces boucles de rétroaction, sur la base des pertes de productivité liées aux absences des salariés contaminés par la dengue en 2030, Nakano établit que les salariés de tous les secteurs seront affectés (par effet domino), même en Europe. L'auteur indique que les effets économiques d'une épidémie en Europe seraient faibles. Cependant, les chaînes de valeur mondialisées seront un mécanisme de transmission des effets d'une épidémie dont l'Europe pourrait souffrir.

En France, la seule épidémie pour laquelle des données chiffrées sont disponibles est la crise du chikungunya de 2006 à La Réunion. Dans la littérature grise, les deux seules études globales retiennent deux effets : un choc d'offre, dû à une incapacité à produire liée aux arrêts de travail des salariés (voir section 4.2.6.5), et un choc de demande (pertes de chiffres d'affaires). Cependant, les études concluent que, pour La Réunion en 2006, l'épidémie de chikungunya a eu peu d'effet sur le PIB de l'île. La crise a très peu compromis les moteurs de la croissance économique portés essentiellement par les investissements, notamment publics. Jourdan (2007) précise que l'effet de la crise s'est fait essentiellement ressentir sur l'activité du tourisme (voir aussi 4.2.6.3) et du secteur du bâtiment-travaux publics (BTP) et via une chute temporaire de la consommation. Plus finement, l'Institut d'émission des départements

d'outre-mer (IEDOM), en 2006, confirme ces résultats (BTP et tourisme particulièrement) dans une double enquête auprès des entreprises, et conclut que tous les secteurs économiques sont touchés et que l'effet dépend de l'agilité des organisations à faire face (Preszburger 2006). Les deux études précisent que ce résultat est sans doute lié à la politique d'investissement fort et des grands travaux en cours à cette époque sur l'île.

Interrogés sur les effets économiques des épidémies passées sur leur territoire, les ARS Guyane et La Réunion et la CCI de Guyane soulignent un fort impact économique sur la capacité productive des territoires. Les deux ARS mentionnent des effets identiques à ceux d'une épidémie de grippe, avec des arrêts de travail de 3 à 6 jours avec incapacité de travail (sans compter les parents d'enfants malades), ce qui est confirmé par la CCI de Guyane qui indique que les entreprises doivent faire face à des arrêts de travail de plusieurs jours. Aucun de ces trois acteurs ne fait référence en revanche aux effets sur l'activité touristique. Malgré les nombreuses épidémies traversées, l'ARS Guadeloupe ne fait pas état d'un impact économique réel sur ce secteur en général. Elle signale cependant que l'impact sur le tourisme pourrait être d'autant plus fort que l'épidémie est médiatisée mondialement, comme, par exemple, l'épidémie émergente de Zika de 2014 à 2015. Pour résumer les propos de l'ARS Guadeloupe, il n'y aurait pas d'impact sur le tourisme s'il n'y avait pas de médiatisation non maîtrisée (voir section 4.2.9 *infra*).

Interrogées sur les effets économiques potentiels d'une épidémie à venir, on distingue deux types de réponses des ARS de l'Hexagone, selon que les territoires sont « largement exposés » au risque ou pas. Pour les ARS des territoires qui ne sont pas (encore pleinement) exposés, les acteurs consultés ne sont pas en mesure de répondre. Quand les répondants émettent un avis sur les effets économiques, on peut observer, à l'ouest (Aquitaine, CVL, PDL), une prise de conscience de la situation soulignant que l'impact réel serait médiatique et social sans faire prévaloir une inquiétude forte liée aux effets économiques de l'épidémie. En revanche, les ARS des territoires ayant déjà été confrontées plus d'une fois à des foyers (ARA, Occitanie, PACA) affirment l'existence d'un impact économique fort qui pourrait atteindre les effets d'une épidémie de grippe ou de Covid, bien que les modélisations ne soient pas encore disponibles. Le tourisme serait, selon eux, le premier secteur économique touché.

4.2.6.2 Effets sur les comportements et le marché de la prévention

Au niveau micro-économique, une épidémie d'arboviroses aura des effets sur les individus, leurs décisions, leurs comportements en matière de prévention et, finalement, leurs revenus.

Par exemple, face aux nuisances causées par les moustiques et en cas de foyer ou d'épidémie, on peut s'attendre à ce que des particuliers adaptent leur logement et leur jardin, avec la pose de moustiquaires aux fenêtres ou l'installation de patios avec moustiquaires en extérieur. En d'autres termes, on s'attend à une hausse de la consommation de certains biens liés au logement et à la protection personnelle ; ce qui va directement impacter l'allocation des ressources du ménage et suppose un arbitrage dans l'affectation des revenus.

Un autre exemple de modification des comportements a trait aux activités qui exposent les agents : les individus peuvent modifier leurs déplacements vers des

zones où ils sont susceptibles d'être infectés ou adopter des mesures de protection susceptibles d'affecter leurs revenus (répulsifs, moustiquaires, pièges).

Le GT distingue deux types d'études : d'une part, les études qui portent sur l'adoption de comportement de prévention pour éviter la contamination et, d'autre part, les études sur les conséquences de l'adoption de ces comportements ou de la non adoption.

Gallivan, Oppenheim et Madhav (2019) et Widmar *et al.* (2017) montrent que selon leur niveau d'information, les populations à risque et les plus informées et/ou avec des enfants sont plus disposées à ne pas voyager dans le cas d'une épidémie.

Concernant les conséquences de l'adoption ou non de ces pratiques, Tozan *et al.* (2019) se sont intéressés au reste à charge de la dengue chez les voyageurs internationaux professionnels et qui n'ont pas d'autre choix que de se déplacer. Pour ceux-là, les frais engagés pour rechercher et recevoir des soins médicaux à destination et dans le pays d'origine, les pertes financières résultant de la modification des itinéraires de voyage, et des pertes de revenus si la maladie persiste à domicile vont affecter leur revenu.

Duman-Scheel *et al.* (2018), via une enquête auprès des acteurs du secteur touristique, montrent une augmentation des pratiques de prévention dans les établissements pour contrôler les gîtes larvaires.

Ladner *et al.* (2017) établissent, sur la base d'une enquête auprès de 40 parties prenantes, qu'à court terme, les propriétaires d'entreprises s'attendent à voir leurs coûts augmenter avec l'achat de produits répulsifs pour leurs employés (pour éviter une perte de productivité), mais témoignent d'un très faible effet de l'épidémie sur l'activité globale. On peut aussi mentionner ici les études qui s'intéressent aux dépenses liées à la mise en place systématique de dispositifs pour éviter la contamination. Brito da Cruz et Rodrigues (2021) ont montré dans le cadre d'un modèle de contrôle optimal que les dépenses optimales de protection des ménages pour limiter le risque d'infection par la dengue représenterait une charge importante pour leurs revenus, mais pourraient avoir un impact significatif sur la dynamique de l'épidémie. Ce résultat est favorable à la mise en place d'une intervention publique pour inciter à ces dépenses individuelles de protection. Legorreta-Soberanis *et al.* (2017) ont évalué l'impact des activités d'éducation et de mobilisation mises en œuvre dans un cadre communautaire sur la prévention de la dengue et, plus particulièrement, sur les dépenses des ménages pour la protection personnelle contre les moustiques. Les résultats d'un essai contrôlé randomisé mené dans l'État de Guerrero (Mexique) a mis en évidence que les ménages touchés par les actions de sensibilisation dépensent significativement plus. Ce résultat reste cependant à nuancer selon le type d'intervention publique mis en place. En effet, Dumont et Thuilliez (2016); Thuilliez et Dumont (2019) mettent en évidence l'existence d'un arbitrage entre les efforts individuels et publics de protection : un accroissement de l'effort de lutte antivectorielle par les pouvoirs publics devrait se traduire par une baisse de l'effort d'auto-protection par les ménages. Testé via une expérience contrôlée randomisée en clusters sur la période 2012-2014 dans les zones urbaines de La Réunion les auteurs mettent en évidence la réalité de l'arbitrage entre effort public et effort individuel. Il existe donc ici un front de recherche sur les leviers favorisant la « mobilisation sociale », qui apparaît comme déterminante pour freiner la dynamique épidémique.

Dès lors, dans le cadre d'une épidémie, la massification de l'usage de produits répulsifs et/ou de protection du logement constitue une opportunité de marché forte pour les industriels fabricants et les intermédiaires de vente de ces produits. De façon mécanique, l'émergence de l'épidémie devient également une opportunité de marché pour les opérations de prévention. Ainsi, on peut s'attendre au développement à moyen terme du marché de la prévention et de la LAV, comme des produits répulsifs. A terme, on pourrait s'attendre à une augmentation de la concurrence sur ce marché et une baisse des prix.

La dynamique de marché pourra être amplifiée par la nécessité de protéger les bâtiments recevant du public, par le biais d'achats privés ou par le biais de marchés publics pour les bâtiments relevant des administrations, au niveau national ou à l'échelle des territoires (établissements scolaires notamment).

Cette accélération est déjà bien entamée en France. La société Biogents, fournisseur officiel de pièges anti-moustiques innovants lors du tour de France 2024⁸⁷, est aussi attributaire d'un marché qui vise à la protection de la Marina de Marseille⁸⁸ pour les épreuves de voiles durant les JO. Tout comme son concurrent Qista, ces entreprises ont vu leur chiffre d'affaires accroître fortement en cinq ans.

Enfin, l'émergence d'une épidémie dont le risque est devenu mondial va encourager l'industrie pharmaceutique au développement de vaccin et/ou de traitement de ces maladies. Par exemple, la CCI de Guyane, où le risque d'arboviroses est qualifié de majeur, indique que le secteur de la biotechnologie est en plein essor en Guyane et se consacre notamment à la production de médicaments à base de plantes. Avec leurs voisins du Suriname et du Brésil, des opportunités d'affaires (joint-venture, coentreprises) pourraient voir le jour pour endiguer l'épidémie. A La Réunion, la startup *Symbiosis Technology for Insect Control* fournit également une bonne illustration des opportunités liés aux épidémies d'arboviroses qui mêlent biotechnologies (stérilisation des mâles) et lutte antivectorielle.

Parallèlement, pourront également émerger des marchés de type assurantiel (par exemple inclure le risque d'arbovirose dans les contrats d'assurance voyage) et éventuellement des contrats qui garantiraient le risque pandémique (pour pertes productives), sous réserve que les marchés de réassurance acceptent d'assurer un risque devenu mondial. La mise en place d'une politique de détection et de recherche des individus contaminés constituera également une opportunité pour les pharmaciens, laboratoires, fabricants de tests, etc.

Synthèse sur les impacts prévisibles d'épisodes de transmission autochtone sur les activités économiques

L'impact macroéconomique semble faible, avec trois modulations susceptibles d'entraîner un impact significatif, en cas de transmission massive :

- un effet domino d'épidémies massives sur d'autres continents vers les marchés européens, via les chaînes de valeur qui subiraient les effets d'une crise sanitaire en amont ;

⁸⁷ <https://www.letour.fr/fr/actus/2024/biogents-devient-protecteur-officiel-du-tour-de-france/1316887>

⁸⁸ https://www.francetvinfo.fr/les-jeux-olympiques/sante-a-marseille-des-appats-pour-capter-les-moustiques-tigres-sur-le-site-olympique_6511508.html

- un secteur du tourisme particulièrement touché, du fait de la sensibilité et de la réactivité des touristes, notamment en lien avec la couverture médiatique de l'épidémie (voir aussi la section 4.2.6.3 *infra*) ;
- des pertes d'activité économique, liées à des pertes de productivité dues aux arrêts de travail.

L'impact microéconomique sur le marché de la prévention se caractérise par :

- un effet sur les coûts et sur les profits des entreprises qui utiliseront ces moyens de protection et qui ont pour objectif de préserver le volume d'affaires et l'activité ;
- un effet sur le revenu des ménages dans tous les cas ;
- un effet possible et non intentionnel des politiques publiques de protection avec une démobilitation de l'effort individuel face à l'effort public.

Selon le GT, en parallèle de ces impacts négatifs, une épidémie entraînerait l'émergence d'opportunités de marché, liées aux moyens de protection, aux traitements et aux vaccins, aux assurances et à la recherche.

4.2.6.3 Impacts sur le tourisme

Les foyers d'épidémie sont souvent des destinations touristiques (Antilles, océan Indien, Amérique du sud) dont les conditions climatiques favorables aux activités touristiques impliquent également des conditions favorables aux maladies infectieuses, avec les contraintes de développement qui en résultent pour le secteur touristique. Parmi les conséquences économiques les plus fréquentes liées à une épidémie d'arboviroses, on retrouve les conséquences sur le tourisme, en particulier en raison des déprogrammations de masse des voyages et séjours et de l'impact sur le chiffre d'affaires des entreprises spécialisées dans la prise en charge des touristes qui ne viendront pas (choc de demande). En France, la saison épidémique étant concomitante avec la période touristique, on peut prévoir un effet important sur le tourisme, comme le mentionnent les ARS Guadeloupe, PACA, Occitanie et ARA. Cet effet sera d'autant plus fort que l'événement sera médiatisé. L'ARS Guadeloupe mentionne que l'impact sur le tourisme est d'autant plus fort que l'épidémie est médiatisée mondialement (comme, par exemple, l'épidémie de Zika de 2014 à 2015). Comme mentionné plus haut, l'effet sur le tourisme pourrait donc apparaître comme un effet induit par la couverture médiatique de l'événement. En effet, il peut également y avoir un effet de réputation négatif sur le tourisme si l'épidémie conduit à exporter la maladie, c'est-à-dire si un touriste étranger attrape la maladie lors de son séjour dans l'Hexagone.

Il existe quelques travaux sur les effets des épidémies d'arboviroses sur le tourisme ; on les distingue par leur unité d'observation. D'une part, il y a des travaux au niveau macroéconomique qui établissent des corrélations entre présence d'un risque et flux de touristes et, d'autre part, des travaux au niveau microéconomique qui s'intéressent aux comportements et aux effets individuels liés à l'épidémie.

Au niveau macroéconomique, Rosselló, Santana-Gallego et Awan (2017) estiment un modèle de gravité qui permet de déterminer l'effet de la présence de la dengue dans les pays de destination sur les flux de touristes. Ils estiment que la présence de la dengue diminue de 12 % les flux de touristes pour les destinations à risque. De

façon générale, ils estiment que l'impact de la dengue est plus fort quand les touristes proviennent d'une région déjà touchée par le virus (zone intertropicale). Dans le cadre d'une simulation de l'éradication de la dengue dans les pays à risque, ils estiment que l'éradication de la dengue augmenterait les flux de touristes de 2,5 millions, les dépenses associées de consommation de 2,7 milliards de dollars et le nombre de vols de 4 %. Mavalankar *et al.* (2010) utilisent le même type de données longitudinales (les flux de touristes entrants, les vols entrants et les dépenses de ces touristes) pour estimer les coûts liés à une perte d'activité touristique dans une région de l'Inde. Ils concluent sur l'importance de prendre en compte ces coûts indirects de l'épidémie en plus des coûts du fardeau sanitaire.

Au niveau micro-économique, la présence d'une épidémie va avoir des effets sur les individus et leurs pratiques en matière touristique. Par exemple, Duman-Scheel *et al.* (2018) établissent une augmentation des pratiques de prévention dans les établissements pour préserver le potentiel touristique des zones exposées. Gallivan, Oppenheim et Madhav (2019) montrent que selon leur niveau d'information, les populations à risque (les femmes enceintes dans cette étude), pourraient modifier leur plan de voyage et changer leurs destinations. Pour ce faire, ils utilisent comme matériel de recherche les flux de données internet et les flux d'information sur les réseaux sociaux liés à l'épidémie. Le volume des flux est d'autant plus faible que l'incertitude scientifique est élevée sur les risques associés, ici vis-à-vis de Zika. Ces résultats qualitatifs sont confirmés par Widmar *et al.* (2017) qui montrent que les personnes les plus informées et avec des enfants sont plus disposées à ne pas voyager ce qui, de fait, a des répercussions macroéconomiques plus générales.

Synthèse sur les impacts prévisibles d'épisodes de transmission autochtone sur le tourisme

Il ressort de la littérature et des témoignages des acteurs de terrain consultés que :

- l'impact économique est largement mentionné par les opérateurs car les épidémies ont lieu dans des lieux hautement touristiques mais la littérature ne rapporte pas d'études quantitatives sur l'amplitude de cet impact ;
- l'impact serait d'autant plus important que la France est une destination très touristique ;
- les impacts économiques semblent centrés sur les professionnels du tourisme (plus que sur les touristes eux-mêmes) ;
- l'impact le plus fortement attendu, qui a des répercussions macroéconomiques qu'il conviendrait d'étudier, est lié aux transferts des flux de touristes vers des zones moins exposées ;
- l'impact est très fortement lié à la couverture médiatique car les touristes sont sensibles à l'information diffusée.

Selon le GT, les impacts sur le tourisme pourraient survenir dès les premiers niveaux de transmission autochtone (niveau 2 du tableau 3).

4.2.6.4 Impacts sur le marché immobilier

Cette section, consacrée à l'impact d'une épidémie d'arbovirose sur le marché immobilier, permet aussi d'illustrer la transmission des effets. Concernant ce marché,

il semble nécessaire de distinguer l'effet d'une épidémie d'arboviroses, d'une part, et l'effet de la nuisance (due à une densité élevée de moustiques), d'autre part. Les nuisances peuvent être présentes même en l'absence d'épidémie, et il arrive que des riverains se plaignent des nuisances dans l'Hexagone à l'heure actuelle.

Un effet sur le marché immobilier est traditionnellement mesuré par l'évolution des prix des biens. Ces derniers résultent de l'équilibre entre l'offre et la demande de logement, équilibre qui s'établit sur un marché localisé. Dans ce qui suit, on s'intéresse seulement au marché immobilier véral (c'est-à-dire hors du marché locatif) et on considère aussi bien les résidences principales que les résidences secondaires.

L'effet des nuisances et des épidémies sur les prix des biens devrait concerner en priorité les quartiers pavillonnaires. En effet, il existe un lien entre quartiers pavillonnaires et présence de gîtes larvaires d'*Ae. albopictus*, du fait de la présence de jardins et de réservoirs d'eau dans ces quartiers. La plupart des foyers d'arboviroses se sont développés dans ce type d'environnements (selon l'EID Méditerranée et selon Jourdain, Roiz, de Valk, *et al.* (2020)).

Les prix des biens dépendent d'un grand nombre de facteurs, appelés « fondamentaux » : les taux d'intérêt et les conditions de prêt, le revenu des ménages, l'évolution de la population, les politiques publiques et les anticipations (Cavailhès 2018). De façon générale, les prix (sur le marché véral) sont très variables à travers le temps. On peut donc raisonnablement penser qu'une aggravation de la nuisance ou une épidémie (dans une zone) engendreraient une baisse des prix sur le marché véral dans cette zone (ou un ralentissement de la hausse des prix). En effet, d'une part, on s'attend à ce qu'un renforcement de la nuisance ou une épidémie entraîne une baisse de la demande de logements dans la zone concernée. D'autre part, l'offre de logements est assez stable, elle évolue lentement (Cavailhès 2018). Cette combinaison de l'offre et de la demande implique une baisse des prix : les vendeurs de biens resteraient sur le marché et finiraient par baisser leur prix.

Plusieurs fondamentaux pourraient concourir à la baisse des prix. Des migrations résidentielles pour sortir de la zone concernée concourent à une baisse des prix immobiliers dans la zone. De façon générale, les anticipations sont un déterminant important des prix de vente. Dans le cas qui nous intéresse, une anticipation d'une aggravation des nuisances ou d'une épidémie pourrait peser à la baisse sur les prix.

Les politiques publiques peuvent cependant venir modifier l'effet négatif sur les prix. Par exemple, les campagnes de communication incitant à la bonne utilisation des insecticides par les habitants dans les maisons et à la lutte contre les gîtes larvaires peuvent conduire à une réduction des nuisances. De même, la maîtrise d'une épidémie par les pouvoirs publics peut atténuer, voire annuler, l'effet négatif sur les prix. On peut s'attendre aussi à ce que les enjeux de prévention du risque soient davantage pris en compte par les collectivités et les professionnels du bâtiment et paysagisme, lors de futurs projets de construction et d'aménagement (ARS Nouvelle Aquitaine).

D'autres phénomènes peuvent aussi avoir un effet sur les prix, comme la hausse de l'aversion au risque, par exemple (Cavailhès 2018).

On note qu'à moyen et long termes, la baisse de la demande et la baisse des prix entraînent une baisse de la construction dans la zone. La baisse de la construction a un effet haussier sur les prix qui peut (partiellement) amortir l'impact du choc.

A la connaissance du GT, il n'existe pas de travaux de recherche évaluant l'effet des arboviroses sur les prix immobiliers. Cependant, conformément à la prédiction du GT de baisse des prix, la littérature académique montre que certains problèmes de santé publique ont bien un effet négatif sur les prix immobiliers : voir, par exemple, l'analyse de l'effet de la crise des opioïdes aux États-Unis sur les prix immobiliers dans certaines zones (D'Lima et Thibodeau 2022), ou l'étude historique sur l'effet (à court terme uniquement) de la peste à Amsterdam (au XVII^{ème} siècle) et du choléra à Paris (au XIX^{ème} siècle) sur les prix immobiliers (Francke et Korevaar 2021).

Outre ces publications académiques, certaines sources apportent des exemples anecdotiques de l'effet des arboviroses sur le marché immobilier. Ces anecdotes mettent en exergue une baisse de la demande et des prix. Ainsi, dans le contexte d'un foyer de Zika (avec transmission autochtone) en Floride en 2016 (29 cas⁸⁹), le post d'un blog⁹⁰ s'interroge sur l'effet de Zika sur le marché immobilier, en mentionnant que les agents immobiliers réorienteraient les acheteurs potentiels des quartiers touchés par Zika vers des quartiers qui le sont moins. En d'autres termes, la demande baisserait, au moins temporairement, dans les localités affectées.

Une baisse des prix immobiliers produit elle-même des effets sur les décisions des individus. Une baisse des prix immobiliers (dans une zone) signifie que la richesse des ménages (propriétaires dans la zone) diminue. Si ces propriétaires ont conscience de cette baisse de leur richesse, ils pourraient modifier leurs comportements de consommation. Si le lien entre variations des prix immobiliers, perception de ces variations et dépenses de consommation a déjà été étudié (Atalay et Edwards 2022) à partir de données australiennes (en distinguant les propriétaires ayant un prêt à rembourser et les propriétaires n'ayant pas de prêt), il ne l'a toutefois pas été dans le contexte français, à la connaissance du GT.

Synthèse sur les impacts prévisibles d'épisodes de transmission autochtone sur le logement et le marché immobilier

En l'absence de littérature spécifique relative à l'impact des arboviroses sur le marché immobilier, le GT s'est appuyé sur une littérature portant sur d'autres crises sanitaires. Le GT estime que les nuisances des moustiques, ainsi que leur capacité à transmettre les virus, pourraient générer :

- une baisse potentielle des prix sur le marché immobilier local (toutes choses égales par ailleurs) ;
- une baisse potentielle de la valeur du patrimoine des ménages propriétaires sur ces territoires.

Le GT estime qu'une épidémie d'arbovirose (niveau 3 du Tableau 3) viendrait aggraver ces effets à court terme.

⁸⁹ <https://www.cdc.gov/mmwr/volumes/65/wr/mm6538e1.htm> (consulté le 25 février 2024).

⁹⁰ Blog d'un consultant spécialisé en marketing digital sur le marché immobilier, <https://activerain.com/blogsview/4961240/the-effects-of-zika-on-florida-s-economy-and-real-estate> (consulté le 25 février 2024).

4.2.6.5 Impacts sur le travail

Les épidémies d'arboviroses ont plusieurs effets sur le travail : d'une part, des effets dus à l'absentéisme au travail des malades et aidants et d'autre part, des risques liés à une rupture de la chaîne d'approvisionnement mondiale.

Les retours d'expérience de l'épidémie de chikungunya de 2006 à La Réunion et à Mayotte permettent de mieux comprendre les effets possibles d'une épidémie sur les absences au travail. Celles-ci ont des effets directs sur l'économie locale⁹¹.

De façon générale, les entreprises ont vu leur activité freinée par l'absence des salariés en arrêt maladie. Comme l'indiquent les statistiques communiquées par la Direction générale de la sécurité sociale (DGSS) à propos de l'épidémie de chikungunya à La Réunion, les arrêts de travail ont été, de janvier à mai 2006, en forte augmentation par rapport à l'année précédente : + 83 % en janvier, + 200 % en février, + 125 % en mars, de 30 à 60 % environ d'entre eux étant imputables au chikungunya. [...] « *le relevé effectué par le Medef auprès de ses adhérents montre que le taux d'absentéisme moyen a été de l'ordre de 7 % - contre 2 à 3 % normalement -, ce chiffre finalement assez peu élevé s'expliquant par la durée assez courte de l'arrêt de travail qui dure en général de 5 à 6 jours* » (Audifax 2006, chap. VII).

Ces données sont cohérentes avec ce qui ressort dans la littérature dans d'autres pays. Au Mexique en 2010, 12 000 ménages ont rapporté des cas de dengue dans les 12 derniers mois. Cela a entraîné des jours d'absence d'école et de travail d'environ 10 jours, totalisant sur trois régions 413 000 jours d'absence (Legorreta-Soberanis *et al.* 2017). Au Brésil, une étude spécifique a été menée sur les incapacités de travail liées au chikungunya (Bastos, Abreu et Silva Junior 2018). En 2017, l'augmentation a atteint 112 % comparativement à 2016, pour une incidence de 90 cas pour 100 000 habitants. En Asie, Hung *et al.* (2020) ont réalisé une revue de la littérature sur les pertes de productivité dues à la dengue. La revue de littérature d'AbuBakar *et al.* (2022) sur l'épidémiologie et les coûts de la dengue en Malaisie rapporte que la dengue conduit à de 7 à 9 jours d'absence de travail et de 3 à 4 jours d'absence scolaire.

Selon ces articles, un coût de productivité allant jusqu'à 1 500 dollars par cas et une dépense d'hospitalisation allant jusqu'à 1 300 dollars par cas a été estimé. Ce coût variait de 12 000 à 1 500 000 dollars en cas de décès.

(Soh *et al.* 2021) ont estimé les coûts économiques et sanitaires de la dengue entre 2010 et 2020 à Singapour, un pays à revenu élevé où la dengue est endémique. L'étude s'appuie sur la surveillance des cas soumis à déclaration obligatoire. Les auteurs retiennent une absence au travail de 4 jours pour les cas non diagnostiqués, 10 jours pour les cas diagnostiqués et 14 jours en cas de forme hémorragique. Sur cette base, la totalité des coûts indirects (incluant les pertes de productivité au travail, à l'école et dans l'activité domestique) représente 78% des coûts totaux de la dengue (incluant les coûts directs et indirects de la maladie et le coût de la gestion de la surveillance et de la prévention). Les pertes de productivité au travail représentent 74% des coûts totaux.

⁹¹ Voir aussi la section 4.2.5 sur l'impact plus spécifique des arrêts de travail sur le système de soins.

Une épidémie pourrait également affecter les travailleurs de certains secteurs d'activité : activités exposant particulièrement aux piqûres de moustiques (cf. section 4.3) et au risque infectieux (professionnels de santé, cf. section 4.2.5).

Nakano (2018) évalue les risques de contracter la dengue et les effets sur l'industrie dans différents pays. Il estime qu'en 2030, aux USA, en Chine, au Japon et en Allemagne, 10 % des travailleurs impliqués dans les chaînes de production seraient à risque de contracter la dengue et cette proportion pourrait atteindre 70% des travailleurs exposés au Brésil et en Inde. Une épidémie de dengue pourrait avoir des effets sur les chaînes de production y compris dans les pays les moins exposés. Les travaux intensifs dans l'industrie, la pêche et l'agriculture ainsi que l'hôtellerie et la restauration seraient les plus touchés. Il préconise de mettre en place des mesures en amont pour protéger ces populations les plus touchées. Cette étude rapporte une hétérogénéité dans la part de la population exposée mais illustre que l'impact global pourrait être très important en cas d'épidémie massive

Synthèse sur les impacts prévisibles d'épisodes de transmission autochtone sur le travail

Le GT s'attend à ce qu'une épidémie d'arbovirose ait principalement deux effets :

- des absences au travail des malades et de leurs aidants et une baisse consécutive de la productivité ;
- une mondialisation des effets liés aux chaînes d'approvisionnement, qui toucherait tous les secteurs économiques.

Selon le GT, il n'est pas attendu un impact significatif des arboviroses sur le travail au niveau 2 de transmission autochtone (cf. Tableau 3). L'effet pour un niveau 3 de transmission est incertain, et un impact significatif est attendu pour le niveau 4 (épidémie).

4.2.7 Impacts sur l'éducation

L'impact potentiel des arboviroses sur l'éducation (au sens large, soit l'enseignement primaire, secondaire et supérieur) est relativement peu étudié dans la littérature scientifique, contrairement à d'autres maladies à transmission vectorielle comme le paludisme ou la maladie de Lyme. Pour le paludisme par exemple, certains effets aujourd'hui mieux connus, ont été cartographiés et mesurés.

Sur le plan méthodologique, lorsque l'on s'intéresse à l'effet des arboviroses sur l'éducation, il est nécessaire d'éliminer les facteurs confondants (facteurs socio-économiques, comorbidités, accès précoce aux soins, entre autres). Des méthodes permettant d'évaluer ces impacts sont disponibles en épidémiologie ou en sciences sociales (randomisation du traitement, expériences naturelles sur données rétrospectives, suivis de cohortes, entre autres). On ne peut donc qu'encourager le développement d'études pour comprendre les effets sur l'éducation à court ou long termes et l'accumulation de capital humain⁹² pour des générations futures.

Pour d'autres maladies, des classifications de ces effets ont été proposées en partant par exemple de la sévérité clinique de la maladie (effets de l'exposition *in utero*,

⁹² Le capital humain est l'ensemble des connaissances, aptitudes, expériences, talents, et qualités accumulées par une personne, qui déterminent en partie ses capacités à travailler ou à produire.

formes asymptomatiques, formes cliniques non compliquées, formes cliniques et infections répétées, cas sévères). Ces formes variées pourraient avoir des conséquences cliniques médicales, biologiques ou neurotoxiques, voire des effets sur le système immunitaire. Ces conséquences pourraient affecter, à plus ou moins long terme et à des degrés différents selon la sévérité de l'affection, le développement et les capacités cognitives de l'individu via des effets sur le système nerveux central, une plus faible croissance de l'individu, des limites sur l'activité quotidienne ou sur l'isolement fonctionnel (interactions sociales). D'autres effets d'ordre comportemental peuvent entrer en jeu comme la modification des comportements de fécondité, des dépenses d'éducation, ou encore des phénomènes de compensation ou des répercussions sur les enfants en cas d'arrêt maladie. La couverture maladie étant large en France, les dépenses catastrophiques de santé⁹³ devraient cependant peu affecter les dépenses d'éducation, y compris pour les ménages les plus défavorisés. Pour simplifier ici les effets des arboviroses sur l'éducation pourraient se classer des plus évidents ou directs aux plus indirects, à court ou long terme.

Concernant les journées d'absence à l'école, elles peuvent avoir lieu :

- soit *directement* du fait de la maladie. Les symptômes provoqués par le virus Zika, chikungunya ou la dengue sont de type grippal : fatigue, fièvre (pas nécessairement forte), maux de tête, douleurs musculaires et articulaires dans les membres (cf. section 2.3). Ces symptômes peuvent générer des absences. On peut s'attendre à autant d'impact en termes de journées d'absence. Les infections n'étant en général pas répétées au cours d'une même année, l'effet serait donc assez négligeable pour un individu donné, mais les infections répétées peuvent provoquer des durées d'absence plus longues. Legorreta-Soberanis *et al.* (2017) ont par exemple évalué de façon randomisée les effets sur l'absentéisme scolaire d'une campagne de prévention de la dengue au Mexique. Ils ont ensuite estimé le coût évité pour une zone plus large à partir de ces résultats spécifiques. Les 12 312 ménages suivis en 2010 avaient signalé 1 020 cas de dengue au cours des 12 derniers mois (1,9 % de la population de l'échantillon). La plupart (78 %) étaient des cas ambulatoires, avec un coût moyen de 10,8 jours de travail ou d'école manqués mais allant jusqu'à 18 jours pour les cas plus sévères. La moyenne des jours perdus par cas était similaire dans les groupes d'intervention (bénéficiant d'une prévention par mobilisation communautaire sans intervention insecticide) et de contrôle, mais le nombre de jours perdus à cause de la dengue et tous les éléments de coûts pour les cas de dengue pour 1 000 habitants étaient inférieurs dans les grappes d'intervention ;
- soit *indirectement* du fait :
 - de la fermeture plus large des écoles pendant une épidémie (due au traitement anti-vectoriel) ou de l'absence des enseignants malades eux-mêmes (les ARS dans les DROM ont notamment signalé cet aspect) ;

⁹³ La dépense catastrophique de santé correspond au fait de consacrer « une grande part de ses dépenses ou de ses revenus domestiques aux services de soins de santé » selon l'indicateur de développement durable 3.8.2 de l'OMS. Le lecteur peut se référer à un recensement de littérature sur le sujet : <https://www.irdes.fr/documentation/syntheses/les-restes-a-charge-ou-les-dépenses-de-sante-catastrophiques-en-france-et-a-l-etranger.pdf>.

- de l'incapacité des parents malades à emmener leurs enfants à l'école. Cette possibilité est à nuancer puisque l'école constitue souvent une solution de garde alternative en cas d'incapacité des parents ;

Concernant les effets sur la cognition des enfants, leurs capacités d'apprentissage, voire *in fine* leurs résultats et progression scolaires (notes, taux de redoublement, taux d'achèvement scolaire primaire ou secondaire), des effets pourraient être observés :

- à *court terme et directement* du fait de symptômes, une fatigue ou fièvre tombant un jour d'évaluation par exemple est handicapante ;
- à long terme et plus indirectement du fait :
 - d'absences répétées ou longues à cause de manifestations cliniques simples, chroniques ou répétées. Il est à noter cependant que les écoles disposent de nombreuses stratégies pour permettre aux élèves malades ou absents pendant de longues périodes de ne pas prendre de retard (Ladner *et al.* 2017). Néanmoins ces stratégies ne remplacent pas totalement la présence à l'école (risque d'isolement social des enfants) ;
 - de complications de la maladie ou de formes plus sévères. Les complications sont peu fréquentes dans le cas d'arboviroses mais dans le cas d'une épidémie importante, elles ne doivent pas être négligées. Comme déjà mentionné, certains cas de complications neurologiques post-infectieuses, de type syndrome de Guillain-Barré, ont été constatés au Brésil et en Polynésie française pour le Zika par exemple. Pour le Zika, les femmes enceintes risquent de transmettre le virus au fœtus, ce qui peut engendrer de graves anomalies du développement cérébral chez l'enfant ayant des conséquences de long terme irrémédiables sur le développement de l'individu (par exemple microcéphalie) ;

Des effets *encore plus indirects de long terme* pourraient passer par une modification des décisions de parentalité des ménages avec des effets différenciés à court ou long terme. Dans le cas du Zika les reports de naissance peuvent par exemple être assez rapides (Tan, Ryan et Lim-Soh 2024). A plus long terme, si les ménages modifient leurs décisions de parentalité par exemple, cela peut affecter les investissements des parents et des ménages dans l'éducation des enfants (Boucekkine, Desbordes et Latzer 2009; Nishimura, Pestieau et Ponthiere 2018). Cela reste cependant très spéculatif dans le cas précis.

Dans un *temps encore plus long*, les études sur la « grippe espagnole » ou d'autres épidémies montrent des effets de long terme sur les revenus et l'intégration au marché du travail des générations affectées jeunes par ces épidémies (voir Almond, Currie et Duque (2018) pour une revue de littérature) ;

Enfin, de façon plus systémique, le système scolaire peut être affecté par :

- le temps et les ressources que nécessite la gestion des absences des enseignants (les ARS dans les DROM ont notamment signalé cet aspect) ;
- le temps et les ressources que nécessite la désinsectisation des locaux de vie collective ;

- la fermeture d'écoles et les coûts associés par jour de fermeture, du fait des connaissances non acquises. Une étude à Puerto Rico (Halasa, Shepard et Zeng 2012) estime par exemple la valeur de ces effets à 42,75 dollars par jour de scolarité (calculé en divisant le budget annuel du Département de l'éducation de Porto Rico par le nombre d'élèves portoricains selon le US Census Bureau)⁹⁴. Ces pertes ne sont en général pas compensées par l'Etat (Ladner *et al.* 2017) ;
- l'intégration des politiques de prévention dans l'éducation, via une évolution des programmes scolaires ou des interventions dans les écoles, notamment en cas d'épidémie majeure.

Synthèse sur les impacts prévisibles d'épisodes de transmission autochtone sur l'éducation

Peu de littérature académique sur ce sujet précis est disponible, mais il est possible de se référer aux travaux portant sur d'autres maladies infectieuses à transmission vectorielle.

Les impacts dépendent de la forme de la maladie (conséquences d'une exposition *in utero*, formes asymptomatiques, formes cliniques non sévères, formes cliniques et infections répétées, cas sévères) et relèvent de trois catégories. La première concerne les absences, soit directement des jours d'absence à l'école des enfants malades (10 jours en moyenne par cas), soit indirectement, par la fermeture des écoles, l'absence des enseignants, ou l'incapacité liée à la maladie des parents. La deuxième porte sur les effets de la maladie sur les capacités d'apprentissage et la cognition, les résultats scolaires et le développement de l'enfant : à court terme, du fait de la fatigue et de la fièvre, des absences répétées en cas de formes cliniques répétées ou sévères, à long terme, avec des effets sur le développement des individus, leur niveau d'éducation et leur niveau de revenu et enfin, d'autres conséquences possibles de nature comportementale (des effets de substitution entre les dépenses et le temps alloués à la santé versus à l'éducation). La troisième catégorie d'impact concerne des effets plus systémiques à court ou long terme : la gestion des absences des enseignants, la démotivation ou les fermetures d'école et les coûts liés, l'ajustement des programmes scolaires en période épidémique ou inter-épidémique.

Selon le GT, il n'est pas attendu un impact significatif des arboviroses sur l'éducation au niveau 2 de transmission autochtone (cf. tableau 3). L'effet pour un niveau 3 de transmission est incertain ; un impact significatif est attendu pour le niveau 4 (épidémie).

4.2.8 Impacts sur la recherche

Une épidémie massive stimule généralement des efforts de recherche visant, dans un premier temps à optimiser la riposte et la prise en charge des cas puis, dans un second temps, à améliorer la connaissance des mécanismes sous-jacents à l'infection et à la transmission. Cette section illustre ces impacts à travers quelques exemples d'initiatives de recherche découlant directement d'épidémies récentes

⁹⁴ voir également (Soh et al. 2021) pour une estimation à Singapour.

d'arboviroses, en déduit ce qui pourrait être observé à l'occasion d'une épidémie d'arbovirose dans l'Hexagone, puis reprend les attentes des acteurs de terrain recueillies lors des interrogations par questionnaire.

4.2.8.1 Retour sur les expériences passées

4.2.8.1.1 *Chikungunya - La Réunion 2005-2006*

L'épidémie de chikungunya en 2005-2006 à La Réunion a conduit au développement de travaux de recherche sur la maladie et sur les moyens d'y faire face. Sont en particulier rapportés :

- un renforcement de la recherche par le biais de la mise en place du Centre de Recherche et de Veille sur les maladies émergentes dans l'Océan Indien (CRVOI) ;
- l'allocation de moyens supplémentaires aux laboratoires de biologie médicale pour l'identification des arboviroses ;
- un programme de recherche sur les maladies inflammatoires et l'identification de modèles animaux ;
- des programmes de recherche et développement sur les traitements avec l'identification de molécules à propriétés antivirales et le développement de vaccins (Gaüzère *et al.* 2012; Flahault *et al.* 2007) ;
- des programmes de recherche spécifiques sur le rôle des animaux sauvages et domestiques et sur la place de l'environnement dans la transmission virale (Flahault *et al.* 2007) ;
- des travaux de modélisation mathématique du risque de transmission (Flahault *et al.* 2007).
- des programmes de recherche ciblés sur la LAV, pour évaluer ses impacts environnementaux et identifier des solutions alternatives (Flahault *et al.* 2007) avec en particulier l'initiation d'un programme sur le développement de la Technique de l'insecte stérile (TIS) contre les *Aedes*, piloté par l'IRD et le Cirad sur financement du Fonds européen de développement régional (FEDER) pour environ 7 millions d'Euros sur la période 2009-2021) et du Conseil européen de la recherche (EU/ERC) pour 2 millions d'Euros, 2019-2021) ;
- la mise en place d'un programme en sciences sociales pour identifier les facteurs associés à la contamination (Setbon et Raude 2008; Flahault *et al.* 2007).

4.2.8.1.2 *Zika – Pandémie de 2015-2016*

Alors que le virus Zika est connu depuis les années 1950, ce n'est que suite à la pandémie de 2015-2016 que des recherches significatives ont été entreprises sur sa biologie, son épidémiologie, ses manifestations cliniques et les moyens de s'en protéger avec, en particulier, plusieurs candidats vaccins en développement.

DeFrancesco (2016) signale un financement de la recherche sur l'infection à virus Zika (orientée vers la recherche de vaccins, de tests diagnostiques et de traitements antiviraux), à hauteur de 1,1 milliard de dollars de la recherche sur l'infection à virus Zika par le congrès américain en septembre 2016. Ce financement a été en grande partie mobilisé par le redéploiement de crédits affectés à la recherche sur d'autres

maladies au sein des *National Institutes of Health* (NIH) et des *Centers for Disease Prevention and Control* (CDC). Les programmes de développement initiés par des laboratoires universitaires ont donné lieu à des partenariats avec des laboratoires pharmaceutiques pour poursuivre le développement lors des phases cliniques. L'auteur souligne néanmoins également les difficultés à assurer le financement pérenne de la recherche.

L'Union Européenne via le programme Horizon2020 a financé plusieurs consortiums, notamment via les projets ZIKAlliance, ZikaPlan et ZIKAction pour étudier les aspects cliniques, fondamentaux, écologiques et sociétaux des infections à virus Zika et de la pandémie. L'Agence nationale de la recherche (ANR) et l'ANRS maladies infectieuses émergentes (ANRS-MIE) ont également financé plusieurs projets de recherche sur ce virus ces dernières années. Les recherches récentes sur le virus Zika se concentrent notamment sur la transmission verticale du virus, explorant les mécanismes de transmission de la mère à l'enfant pendant la grossesse. Une attention particulière est portée à la compréhension des atteintes neurologiques observées chez les fœtus exposés au virus, ainsi qu'à la caractérisation des mécanismes des syndromes de Guillain-Barré consécutifs à l'infection virale.

4.2.8.1.3 *Épidémies de dengue et études économiques*

L'histoire naturelle des virus de la dengue et la biologie de son vecteur majeur, *Aedes aegypti* sont étudiées depuis longtemps. L'expansion mondiale de la maladie depuis le début du siècle a permis de donner un nouvel élan à ces recherches et de développer de nouvelles thématiques, notamment à travers les sciences humaines et sociales et des études économiques.

A titre d'exemple, deux revues systématiques des études économiques relatives à la dengue permettent de dresser un panorama de ces recherches sur les épidémies (Constenla, Garcia, et Lefcourt 2015; Thompson, Martin Del Campo, et Constenla 2020). Celles-ci portent principalement sur :

- le coût de la maladie sous la forme de mesure des DALYs (cf section 4.2.4) ou de valorisation monétaire (cf. section 4.2.2), incluant les traitements médicaux, les pertes de productivité ou arrêts de travail, le contrôle et la LAV, la gestion de l'épidémie ;
- l'évaluation économique de mesures de contrôle ou de prévention, en particulier sur le rapport coût-efficacité de la LAV et des vaccins.

Les auteurs signalent cependant que les évaluations économiques relatives aux arboviroses, que ce soit les études de coût de la maladie ou d'évaluation économique des mesures de prévention sont limitées. Ces conclusions sont confirmées dans un article récent (Roiz *et al.* 2024) qui présente une analyse rétrospective exhaustive des coûts réels rapportés par les différents pays et régions où la maladie sévit (cf. section 4.2.5.9).

4.2.8.2 Synthèse sur les retours d'expérience

Les épidémies récurrentes d'arboviroses à *Aedes* dans les DROM et plus globalement ont permis l'émergence et le développement en France d'équipes de recherche visibles et reconnues au niveau international, de laboratoires de référence et d'infrastructures spécialisées. Les financements européens des derniers

programmes-cadres ont par ailleurs permis de structurer la communauté scientifique nationale et internationale au sein de réseaux et consortiums en favorisant les rapprochements entre équipes de recherche publiques académiques et laboratoires privés pour stimuler l'innovation. La volatilité des financements trop souvent ciblés sur la maladie est une menace pour la stabilité des réseaux ainsi constitués qui doivent pouvoir rester mobilisés pour mieux anticiper les émergences virales et les épidémies. Les liens entre recherche et politiques publiques doivent être stimulés et renforcés pour traduire les résultats de la recherche en solutions durables pour la gestion du risque liés aux *Aedes* et aux virus qu'ils peuvent transmettre.

4.2.8.3 Impacts attendus d'une prochaine épidémie en matière de recherche

Une prochaine épidémie de dengue, chikungunya ou Zika pourrait avoir pour conséquence de dynamiser les recherches nationales en cours et d'accélérer la mise sur le marché d'outils pour la prévention et le traitement de l'infection. En cas d'émergence de nouveaux virus, la réactivité dans la mise au point d'outils de diagnostic rapide sera une priorité.

Ces recherches supposent néanmoins que des moyens humains et matériels y soient consacrés, par des acteurs publics ou privés.

4.2.8.4 Les attentes des parties prenantes interrogées par questionnaire

Lors de la consultation des acteurs de terrain réalisée par le GT sur les impacts attendus d'une épidémie d'arbovirose dans l'Hexagone, certains ont partagé des besoins en matière de recherche. Les besoins exprimés sont rapportés ci-dessous.

Concernant la LAV, le développement :

- de méthodes de LAV alternatives aux biocides, respectueuses de la santé et de l'environnement et permettant de surmonter le risque de résistance ;
- d'indicateurs d'efficacité des stratégies de LAV et l'évaluation de leurs impacts environnementaux ;
- de solutions techniques contre les gîtes larvaires des moustiques (définition de normes dans le bâtiment, pour les récupérateurs d'eau ou l'aménagement urbain).

Concernant la prise en charge et la prévention des maladies :

- le développement de traitements antiviraux ;
- le développement de vaccins.

Concernant l'implication de la population (information, communication et médiation sociale) :

- l'ARS Occitanie suggère de « *conduire au niveau national une expertise basée sur des études socio-comportementales pour guider les ARS sur les questions de communication et produire des recommandations de médiation sociale autour de ce sujet. Comment mieux informer pour favoriser l'adoption des bons gestes (et casser les idées reçues, les fausses solutions miracle...) / expliquer la stratégie de lutte autour des cas sans rendre les messages anxiogènes / prendre en compte les questions d'acceptabilité sociale et sociétale* ».

En complément, le GT recommande également les sujets de recherche suivants :

- une meilleure connaissance de la pathogénèse liée aux différentes souches/lignées de virus circulantes ;
- une meilleure compréhension des mécanismes et conséquences des effets ADE (*Antibody-dependant enhancement*), notamment pour le couple viral DENV/ZIKV ;
- l'identification des déterminants socio-environnementaux de l'exposition au risque vectoriel ;
- le développement de traitements prophylactiques et thérapeutiques contre les arboviroses (antiviraux, anticorps neutralisants, vaccins ...) ;
- le développement et l'évaluation de nouveaux outils et stratégies pour la surveillance et le contrôle des moustiques *Aedes*.

Synthèse sur les impacts prévisibles d'épisodes de transmission autochtone sur la recherche

La survenue d'une épidémie ou l'endémisation d'un arbovirus semble conduire à un développement de programmes de recherche visant à mieux connaître la maladie et ses impacts et à évaluer les meilleurs moyens de s'en prémunir ou d'y faire face.

Le volume financier dédié à ces programmes a sensiblement augmenté au cours des 20 dernières années, depuis que les pays à haut revenu de l'hémisphère nord sont directement concernés par un risque de transmission autochtone.

Le développement des programmes de recherche est directement tributaire des budgets dédiés. Il est possible que ces budgets proviennent en partie de la réallocation de budgets auparavant affectés à d'autres programmes de recherche.

Un impact sur la recherche est souvent observé à l'occasion d'une crise, mais se prolonge rarement au-delà de la crise, avec un risque de réorientation des moyens à l'occasion de la crise suivante, une non pérennité des financements, et une fragilité des réseaux/consortiums mis en place.

L'expérience montre que lorsque les fonds sont débloqués au niveau national, européen ou mondial, les laboratoires de recherche français se mobilisent rapidement et efficacement et s'organisent en consortiums pour répondre aux questions de recherche qui émergent dans le sillage des virus et de leurs vecteurs. L'excellence et la compétitivité des équipes de recherche nationales doit être entretenue pendant l'inter-crise pour anticiper et assurer la réactivité nécessaire en cas de crise. Il est ainsi fondamental de soutenir l'émergence d'équipes de recherche travaillant sur ces thématiques ainsi que de maintenir un panel de compétences suffisamment large pour répondre à ces besoins. Ceci implique de pérenniser des postes dans les équipes de recherche dans des domaines relatifs au risque lié aux arboviroses : virologistes, entomologistes, modélisateurs etc. La mobilisation de ces forces de recherche vers des approches préventives est un enjeu majeur.

4.2.9 Impacts en matière de couverture médiatique

La survenue d'une épidémie aura un effet sur l'information du public et donc sur la formation de l'opinion publique relative à l'évènement. La façon dont les informations sont présentées et communiquées dans les médias, y compris sociaux, leur origine, leur forme et leur volume façonnent la perception des risques des individus, qui, à leur tour, influencent les processus de prise de décision, les comportements de prévention et la gestion des risques. Dans les questionnaires issus de la consultation de parties prenantes, certaines ARS mentionnent cet impact médiatique et social s'il y a une transmission autochtone et que les moyens de LAV sont saturés. De la même façon, les ARS mentionnent l'importance de l'information du grand public, pour rendre la population actrice de la prévention et du contrôle, dans le cadre de la « mobilisation sociale ».

L'étude de Winneg *et al.* (2018) menée en Floride révèle que les femmes les mieux informées sur le virus Zika étaient près de six fois plus susceptibles de prendre des précautions pour éviter une infection (par exemple pulvérisation au sol pour lutter contre les moustiques). Cette étude souligne que les différentes perceptions des risques des patients, des médecins et des professionnels de la santé peuvent influencer les attitudes à l'égard des mesures proposées pour lutter contre la maladie.

Les médias ont joué un rôle important dans la diffusion de l'information auprès du public pendant l'épidémie de Zika. Sharma *et al.* (2017) montrent que les informations partagées sur les réseaux sociaux (Facebook, dans ce cas) étaient souvent de mauvaise qualité et non vérifiées. Dans sa réponse au questionnaire, une ARS souligne que malgré sa faible inquiétude sur les conséquences économiques d'une épidémie, il est important de veiller à la façon dont les informations vont circuler lors de l'apparition de ce type d'évènement.

Dans le cas du virus Zika et des Jeux olympiques au Brésil, Ferreira Freitas et Cristine Fort (2018) déclarent que la façon dont les nouvelles sont transmises transforme les perceptions du public et a une influence sur l'interprétation des faits. Dès lors, l'épidémie a un effet sur la couverture médiatique. Ils soulignent que les faibles données scientifiques et les fausses informations ne font qu'augmenter l'inconfort des individus et renforcent la peur qui est une thématique d'appel pour les médias. Il y a donc une nécessité de considérer l'effet de la survenue d'une épidémie sur la forme et le volume de la couverture de l'évènement par les médias quel que soit leur type (traditionnels et sociaux).

Dans le cadre de l'épidémie de Zika au Brésil en 2016, Ribeiro *et al.* (2018) se sont intéressés à la couverture médiatique de deux titres de presse écrite et établissent l'importance de la construction sociale de l'épidémie dans les journaux, c'est à dire comment l'opinion publique à propos de l'épidémie s'est construite. Leur analyse aboutit à déterminer comment le vocable de « guerre » utilisée dans les journaux, qui a été saillant, a poussé l'opinion publique à se construire sa crainte sur ce pilier.

En Italie, suite à l'apparition du virus du chikungunya, Mahroum *et al.* (2018) s'intéressent à l'intérêt du public mesuré par des recherches sur Internet et d'interactions avec les médias sociaux et leur association avec les cas suspectés et les cas confirmés. L'étude établit des corrélations significatives entre l'activité en ligne et le nombre de cas de chikungunya, avec des pics de recherche sur le web et d'activité sur Twitter correspondant aux périodes de l'épidémie. Les auteurs

soulignent également l'importance des flux de données en ligne qui peuvent être des outils précieux constituant une plate-forme solide pour suivre les comportements des personnes notamment pour approximer l'intérêt, la préoccupation et la perception du public vis à vis de l'épidémie. Dans la mesure où il y a parfois une temporalité entre la suspicion d'un cas et sa confirmation, la médiatisation peut servir de marqueur sur l'information du public et observer dans quelle mesure l'événement devient une préoccupation publique.

Dans la même veine, Carvajal *et al.* (2022) et Sharma *et al.* (2017) se sont intéressés aux réactions du public s'exprimant sur Facebook après les publications des autorités de santé des Etats-Unis sur des épidémies de dengue et de Zika de 2016. Glowacki *et al.* (2016) ont analysé ces réactions en analysant les flux de messagerie instantanée de Twitter (désormais X) relatifs à l'épidémie de Zika. Ces deux études montrent l'importance de la maîtrise, par les autorités publiques, de l'information et de sa diffusion sur la prévention des contaminations mais aussi parfois la déconnexion entre ces messages et les préoccupations individuelles de santé.

En conclusion, il semble important de considérer comment la survenue de l'épidémie est présentée et apparaît dans différents médias (télévision, radio, presse écrite, réseaux sociaux, moteur de recherche, etc.) et de comprendre comment cette transmission d'information structure les perceptions du public. Il s'agit surtout ici de considérer comment l'information, relative à l'épidémie, qu'ils vont formater et véhiculer, va se disséminer et ainsi affecter et modeler l'opinion publique. Il faut noter également que les nouveaux modes de communication sont aussi un moyen pour faciliter la transmission de l'information à faible coût (Zhuravskaya, Petrova, et Enikolopov 2020), qu'ils sont aussi utilisés par les journalistes professionnels (Von Nordheim, Boczek et Koppers 2018) et que le partage des contenus sur les réseaux sociaux augmente la couverture médiatique des sujets par les médias traditionnels (Cage, Herve et Mazoyer 2022). La forme du premier message diffusé autour d'un événement va fortement déterminer la structure de l'opinion via l'information qui sera en circulation. Il y a donc une opportunité pour les autorités publiques à communiquer, alimenter et modeler le message dans cette médiatisation.

Enfin, les médias et réseaux sociaux peuvent aussi jouer un rôle prépondérant dans l'émergence et le développement de différents collectifs et mouvements sociaux. Cet impact est analysé dans la section suivante.

Synthèse sur les impacts prévisibles d'épisodes de transmission autochtone en matière de couverture médiatique

L'augmentation de la transmission autochtone ou la survenue d'épidémie va avoir un impact sur l'activité des médias et inversement, l'activité des médias aura un impact sur la dynamique épidémique. La façon dont les médias relaient l'information sur l'épidémie a un impact sur l'attitude et les comportements de la population.

De même, l'activité médiatique peut servir de marqueur de la préoccupation publique et la couverture de l'évènement aura un effet sur la forme et le volume par les médias (traditionnels et sociaux) des informations transmises.

Compte-tenu de l'intérêt déjà marqué des médias pour les arboviroses dans l'Hexagone, le GT anticipe un effet médiatique dès les premiers cas de

transmission autochtone, qui pourrait être d'autant plus fort si l'arbovirose concerne un virus n'ayant jamais circulé sur le territoire ou touche un évènement majeur (sportif par exemple).

4.2.10 Impacts en termes de mouvements sociaux

La pandémie de Covid-19 est allée de pair avec l'émergence de mouvements collectifs prenant des formes très variées : collectifs de patients atteints de Covid long, manifestations anti-pass sanitaire, etc. Cela a conduit le GT à envisager la possibilité d'apparition de (nouveaux) mouvements sociaux dans le contexte d'une éventuelle épidémie d'arbovirose. Plusieurs types de mouvements sociaux pourraient se développer : associations de patients, collectifs opposés à des opérations de lutte antivectorielle (LAV), collectifs réagissant à la saturation des moyens de la LAV et mouvements de résistance contre les recommandations vaccinales.

Les réseaux sociaux pourraient jouer un rôle prépondérant dans l'émergence et le développement de ces différents collectifs, car ils permettent l'échange d'informations et la coordination des actions.

4.2.10.1 Associations de patients

Dans le cas d'une épidémie d'arbovirose dans l'Hexagone, on peut d'abord anticiper qu'émergeraient des collectifs de patients et des associations de personnes impactées par la maladie (les proches des patients, par exemple). De façon générale, les associations de patients jouent un rôle grandissant dans le secteur de la santé. Elles diffusent notamment des informations sur la santé au grand public, apportent soutien et conseil aux malades et portent des revendications au nom des malades (sur la prise en charge, la recherche, etc.).

4.2.10.2 Actions collectives et démoustication

Le GT considère que dans un contexte de foyer ou d'épidémie, des mouvements collectifs prenant position vis-à-vis des traitements larvicides et adulticides (qui contribuent à éviter l'apparition d'une épidémie et à la contenir) pourraient se développer.

4.2.10.2.1 *Mouvements sociaux et lutte antivectorielle*

Dans un contexte d'épidémie, on peut s'attendre à ce que les autorités (comme les ARS) mettent l'accent sur la « mobilisation sociale » (cf. glossaire). Cette notion, employée par les ARS entre autres, renvoie à l'idée de mener une lutte contre les vecteurs en mobilisant l'ensemble de la société : *« la lutte contre les vecteurs doit être planifiée et mise en œuvre de façon intégrée. Seule une démarche associant tous les échelons administratifs – de la commune à l'État –, et visant à engager pleinement la population dans la prévention des gîtes larvaires peut produire des*

résultats »⁹⁵. Par exemple, Gaüzère *et al.* (2012) font état d'actions de « *mobilisation collective* » dans le cadre de Kass Moustik à La Réunion à partir de 2006, pour détruire les gîtes larvaires. Dans l'Hexagone, la plupart des ARS portent des actions de mobilisation sociale (par exemple, l'ARS ARA avec son site internet AgirMoustique.fr). Une épidémie dans l'Hexagone engendrerait une mise en œuvre ou un renforcement des démarches de mobilisation sociale des ARS.

Cependant, il reste possible que les opérations de démoustication chimique suscitent, dans une partie de la population, des réactions négatives, des résistances et des contestations. Cette section se concentre sur ces aspects.

Ce type de réactions négatives de la population a déjà été observé dans les DROM. Suite à des cas d'arboviroses, des habitants ont exprimé leurs réticences aux agents de la LAV lors de la prise de contact (au cours du porte-à-porte) et lors du traitement (ARS La Réunion). Les réticences ont été plus fréquentes lors du traitement que lors de la prise de contact. Une des raisons de ces réticences réside dans la perception, par certains habitants, que l'ARS serait inefficace dans sa gestion des foyers épidémiques. De façon générale, les refus sont restés polis et courtois. De manière occasionnelle, les réactions des habitants se sont faites menaçantes et agressives, conduisant à un signalement (sous forme d'une main courante) et à la proposition d'une protection fonctionnelle des agents de la LAV qui le souhaitaient. En Guadeloupe, le refus de traitement ne va pas de pair avec un « *militantisme développé* » et n'engendre pas de médiatisation, à cette heure (ARS Guadeloupe).

Cependant, la non-réalisation de la LAV dans les DROM s'explique davantage par l'absence des habitants au moment des passages pour intervention que par le refus du traitement. Ainsi, l'ARS La Réunion signale que le taux d'absence des habitants est d'environ 51 % (même après un « repassage » sur la zone), tandis que, sur le secteur sud de l'île (un des arrondissements les plus touchés par la dengue), le refus représente 13 à 20 % des présents.

Dans l'Hexagone, les réactions négatives face à la LAV prennent la forme de refus individuels (de la suppression des gîtes larvaires ou du traitement) ou de mouvements collectifs d'opposition au traitement. Les réactions négatives concernent des particuliers (qu'il s'agisse de riverains résidant dans le périmètre d'intervention, ou de personnes vivant hors de ce périmètre), des professionnels (comme des apiculteurs) et des militants écologistes, entre autres, comme expliqué ci-après.

Chez les riverains, l'opposition à la LAV peut s'expliquer de plusieurs manières. D'abord, le refus d'une enquête ou d'un traitement par un riverain (directement concerné) peut être dû au refus que des opérateurs entrent dans son espace péri-domiciliaire. La démarche de l'opérateur peut, en effet, être perçue comme « *intrusive* », terme employé par l'OpD interrogé par le GT. Ensuite, concernant les traitements, des riverains peuvent également faire valoir leur lassitude face à des traitements lorsque ceux-ci se répètent au cours du temps. Dans ce contexte, l'OpD rapporte le message du maire d'une commune (en Occitanie) faisant état de la lassitude, voire de l'exaspération, de ses administrés, après huit traitements de LAV (en lien avec un foyer de neuf cas autochtones de dengue).

⁹⁵ Rapport parlementaire 2020.

Chez les apiculteurs, la réticence face à la LAV s'explique, selon l'OpD, par le « *risque d'impact (mortalité ou effets sublétaux) sur leurs colonies, ou parce que les délais pour déplacer les ruches sont estimés trop courts ou pour des raisons idéologiques* ».

Enfin, les personnes réticentes face à la LAV mettent en avant les dangers des produits utilisés pour la santé humaine (entre autres, les enfants) et pour l'environnement et la biodiversité. L'argument relatif à l'environnement et à la biodiversité est fondé. L'avis du COVARS de 2023 indique d'ailleurs que la lutte antivectorielle est « *indispensable* » mais « *insuffisamment adaptée [...] à la nécessaire réduction de l'utilisation des insecticides* ».

Dans l'Hexagone, des réactions négatives de nature individuelle sont régulièrement observées. S'il existe « *des réticences à laisser entrer les agents lors du porte-à-porte pour la suppression des gîtes larvaires* » dans les zones en cours de colonisation, les « *réticences* » concernent surtout « *les traitements adulticides en zone colonisée* » (OpD).

Ces réactions se font via plusieurs canaux : en face-à-face lors des interventions, par courriel envoyé à l'ARS, ou par appel téléphonique (ARS ARA, Grand-Est et PDL). En Occitanie, il est question d'inquiétudes, voire de refus, de la part des résidents lorsque les traitements sont répétés (lorsqu'un foyer se développe) (ARS Occitanie).

Des réactions négatives de nature collective ont déjà été observées dans l'Hexagone. L'ARS ARA rapporte avoir fait face à trois situations de ce type : (1) une opposition portée par des riverains portant dans le périmètre d'intervention, qui a empêché un traitement, en 2016 ; (2) une opposition portée par des militants écologistes qui ont bloqué le passage du véhicule et interrompu le traitement, en 2019 ; et (3) une opposition portée par des trafiquants de drogues, dans un contexte où le périmètre de l'intervention englobait un point de trafic, qui a empêché une enquête entomologique de LAV, en 2023.

De plus, en Nouvelle Aquitaine, une opération a soulevé une fronde en 2023⁹⁶. Suite à l'identification d'un cas d'arbovirose à Saintes en Charente-Maritime, l'ARS avait programmé une opération de démoustication qui devait se dérouler dans le quartier de la gare le 6 septembre 2023 (entre 4h et 6h du matin). Les apiculteurs avaient été informés par mail de cette opération quelques jours auparavant, pour les inviter à protéger leurs ruches si nécessaire. Un apiculteur a alors lancé un message sur les réseaux sociaux, mobilisant des citoyens et des élus. Les opposants à la démoustication, dénonçant le choix de l'insecticide (la deltaméthrine) et le manque d'information, se sont mobilisés. La présence de certains d'entre eux sur les lieux à l'heure prévue de la pulvérisation a empêché la réalisation de l'opération. Le service de démoustication de Charente-Maritime résume l'issue de cette opposition de la manière suivante : « *le traitement a été reporté, mais face au risque 'politico-médiatique' aucun traitement n'a finalement été mis en œuvre* » ; ensuite, « *il a été décidé de mettre en œuvre un piégeage dense mais les conditions environnementales étaient limitantes (contexte urbain autour de la gare)* ».

Cependant, les réactions de nature collective ont parfois pris d'autres formes que des manifestations. Par exemple, dans son questionnaire, l'ARS Occitanie rapporte avoir été menacée d'une procédure judiciaire par un syndicat apicole.

⁹⁶ Cet épisode est relaté dans les journaux. Voir par exemple Sud-Ouest : <https://www.sudouest.fr/charente-maritime/saintes/saintes-les-opposants-a-la-demoustication-se-mobilisent-16527083.php>.

Si ces réticences ou oppositions sont bien réelles dans l'Hexagone, et si l'ARS de Nouvelle Aquitaine fait état de « *difficultés croissantes lors de traitements LAV* », les refus restent néanmoins relativement rares, à l'heure actuelle, et les opérations sont globalement acceptées. Les opérateurs de la LAV indiquent que les refus d'accès aux propriétés et les oppositions aux traitements restent rares. En Charente-Maritime, il est rapporté que l'accueil est meilleur dans les zones plus anciennement colonisées que dans les zones plus récemment colonisées, du fait de « *l'image de marque" portée par le Département (cf. service public de proximité)* » et de « *la confiance accordée aux agents en Charente-Maritime* ». De même, l'OpD souligne qu'« *aucun traitement de LAV n'a dû être annulé pour cause de mobilisation contestataire sur les plus de 800 traitements de LAV effectués par Altopictus entre 2020 et 2023 pour les ARS Occitanie et Nouvelle-Aquitaine* ».

De même, plusieurs ARS rapportent un accueil de la population généralement bon (ARS Île-de-France (IDF) et PACA) et des difficultés limitées (ARS ARA, CVL, Corse, Grand-Est, PACA, PDL), lors d'opérations de prévention ou de traitement. En Bretagne, où peu de communes sont colonisées, seulement deux traitements ont été réalisés depuis 2020, et il n'y a pas eu de réactions négatives de la population (ARS Bretagne).

Comme dans les DROM, l'absence des habitants est plus fréquente que le refus de traitement (ARS PACA et service de démoustication de Charente-Maritime). L'absence des habitants a plusieurs causes : il peut s'agir par exemple de résidences secondaires (par exemple, dans des communes littorales de Charente-Maritime).

4.2.10.2 Acceptabilité de la lutte antivectorielle

La résistance à la LAV conduit à s'interroger sur « l'acceptabilité » de la LAV dans la population.

Dans leurs réponses aux questionnaires transmis par le GT, les ARS mentionnent ce qu'elles mettent en œuvre pour conserver une bonne acceptabilité. Ainsi, pour limiter les réactions négatives, le service de démoustication de Charente-Maritime souligne l'importance de la distribution des informations dans les boîtes aux lettres en amont : « *Les procédures intègrent un temps nécessaire de boitage pour garantir la réussite des opérations. Les rares cas pour lesquels des réticences ont été observées sont liés à une dérogation aux procédures (cf. simplification ou 'économie' de temps ou de moyens). Nonobstant l'absentéisme, les refus n'excèdent pas 15 % lors des prospections domiciliaires, sous réserve d'avoir effectué un boitage d'information préalable, sinon les refus peuvent atteindre 50 %* ».

Toujours pour limiter les réactions négatives, l'ARS Nouvelle-Aquitaine mentionne donner des recommandations à la population en veillant à ce que les messages ne soient pas anxiogènes.

Concernant le traitement adulticide, d'un point de vue technique, une ARS indique qu'« *une solution qui a fonctionné [pour faire face aux réticences de certaines personnes] est d'avoir utilisé de l'Harmonix au lieu de la Deltaméthrine* » (ARS ARA). Par ailleurs, le savoir-faire des agents de la LAV est un facteur important pour dépasser les refus (ARS PACA). La mobilisation des collectivités joue également un rôle (ARS PACA).

Certaines ARS mentionnent qu'il reste possible d'améliorer la communication. Ainsi, l'ARS des Pays de la Loire met en lumière l'importance d'explicitier les étapes et les objectifs des opérations de LAV (ARS PDL). L'ARS IDF suggère de « *réfléchir à l'impact environnemental des produits insecticides utilisés pour lutter contre les vecteurs d'arboviroses afin de déployer des outils de communication à partir de ces éléments* ».

Une réflexion sur les outils appropriés à cette communication semble aussi nécessaire. Une ARS rapporte ainsi avoir réfléchi aux modes de communication après avoir distribué aux habitants des dépliants d'informations sur les traitements, et que ces dépliants aient été souvent confondus avec de la publicité et jetés à la poubelle (ARS ARA). L'OpD souligne que le boîtage prend du temps et souhaiterait « *faire évoluer l'information aux habitants par des nouveaux dispositifs (ex : SMS envoyés sur la zone)* » pour gagner du temps, ce qui serait « *particulièrement utile en situation de multiplication de foyers autochtones* ».

L'ARS Nouvelle Aquitaine souligne l'intérêt qu'il y aurait à « *conduire au niveau national une expertise basée sur des études socio-comportementales pour guider les ARS sur les questions de communication et produire des recommandations de médiation sociale autour de ce sujet* ». Cette ARS s'interroge sur la possibilité de mettre en œuvre de la médiation sociale, dont les formes devraient être définies. On peut aussi s'interroger sur le développement de démarches participatives.

4.2.10.2.3 Mouvements sociaux en faveur de la lutte contre les nuisances

À l'opposé de ces mouvements de contestation contre la LAV, une partie de la population et des élus (possiblement suite à une pression exercée par la population) pourrait demander que des traitements soient réalisés. Si ces demandes pourraient émerger lors d'épisodes épidémiques, elles pourraient aussi être exprimées hors épisodes épidémiques, dans le but d'améliorer le niveau de confort, lorsqu'un trop grand nombre de moustiques est source de nuisances. Des opérateurs de la LAV rapportent que des habitants se réjouissent des opérations de traitement, qui sont vues aussi comme une manière de lutter contre la nuisance des moustiques (alors que le but des autorités est de réduire le risque vectoriel). On peut s'attendre à ce que ces demandes de traitement pour raison de confort se multiplient avec l'augmentation du nombre de moustiques et de la nuisance associée. Des demandes de traitement émanant de la population sont observées dans les DROM et l'Hexagone. L'ARS Occitanie rapporte que lors de traitements autour d'un cas, il arrive que des résidents manifestent le désir que le traitement soit étendu jusqu'à leur résidence, pour améliorer leur confort, alors que leur résidence se trouve hors du périmètre de traitement. Il arrive en effet que des résidents interprètent des traitements de gestion d'un foyer comme des traitements de confort anti-moustique.

4.2.10.2.4 Mouvements sociaux de protestation contre la saturation de la lutte antivectorielle

On peut finalement envisager que la non-réalisation de certaines opérations de LAV, dans un contexte de saturation des moyens de l'ARS et / ou de saturation des opérateurs de la LAV, engendrerait des protestations dans la population. Dans la section 4.2.3.1.2.2, il a été mis en exergue le risque de saturation des moyens de

LAV. Cette saturation signifierait une incapacité à assurer les interventions autour de certains cas humains (enquêtes, prospections entomologiques, traitements). Dans sa réponse au questionnaire, une ARS envisage la possibilité de réactions dans la société en cas de saturation : « *L'impact d'une saturation est difficile à apprécier [...]. Dans tous les cas, un impact médiatique et social serait à prévoir* » (ARS PDL).

4.2.10.3 Mouvements de résistance contre les vaccins

En plus des résistances par rapport aux traitements de LAV, le GT indique qu'à plus long terme, si une vaccination à grande échelle était recommandée par les autorités sanitaires, une possible résistance face aux vaccins (pouvant aller jusqu'au refus de la vaccination) pourrait émerger dans une partie de la population.

De façon générale, des inégalités sociales dans la vaccination ont été mises en lumière en France et dans d'autres pays, même lorsque la vaccination est gratuite. La résistance aux vaccins s'explique par une pluralité de facteurs (rapport à la santé et aux autorités sanitaires, accès à l'information et à la culture scientifique, etc.). Pendant la crise du Covid, un facteur explicatif très important du refus de la vaccination en France était le manque de confiance dans le gouvernement et dans les scientifiques Bajos *et al.* (2022). Comme pour le Covid et d'autres maladies, il semble raisonnable d'anticiper des refus de la vaccination contre la dengue, le chikungunya et Zika. Il est possible que les réseaux sociaux jouent un rôle prépondérant dans la réticence face à la vaccination.

Synthèse sur les impacts prévisibles d'épisodes de transmission autochtone en termes de mouvements sociaux

Dans un contexte d'épidémie en France hexagonale, on peut s'attendre à ce que les autorités (comme les ARS) mettent en œuvre, ou renforcent, la mobilisation sociale, pour promouvoir les bons gestes de lutte contre les moustiques (élimination de gîtes larvaires, etc.).

L'émergence ou le développement éventuels de plusieurs types de collectifs mobilisés peuvent également être envisagés :

- des associations de patients et de personnes impactées par les maladies ;
- des collectifs opposés à la démoustication (dans le cadre de la lutte antivectorielle), dans la continuité de certains mouvements déjà observés (assez rarement) dans l'Hexagone. Cela soulignerait alors la nécessité d'approfondir la réflexion sur l'évolution de la LAV dans un contexte épidémique (approches alternatives au traitement chimique, association de la population à la définition des solutions, etc.) ;
- des collectifs réclamant une lutte contre les nuisances ;
- des collectifs soucieux face à la saturation des moyens de la lutte antivectorielle (en cas de saturation) ;
- des mouvements d'opposition à une éventuelle recommandation de vaccination.

Compte-tenu des mouvements sociaux déjà observés, le GT estime que des impacts en termes de mouvements sociaux sont attendus dès le niveau 2 de la transmission (tel que défini dans le Tableau 3).

4.3 La question des inégalités en temps d'épidémie

Les inégalités renvoient à différentes dimensions. Cette section porte sur les inégalités géographiques, démographiques et sociales.

De façon générale, les études sur les inégalités suite à des épidémies (entre autres lors de la crise de la Covid) montrent en moyenne une hausse des inégalités, mais ce résultat peut être nuancé selon la nature de l'épidémie et son évolution dans le temps.

Le niveau d'inégalités préexistantes affecte la dynamique d'une épidémie qui elle-même a un effet sur les inégalités, ce qui rend difficile l'estimation d'effets causaux (voir par exemple (Deaton 2003)).

L'impact probable des arboviroses sur les inégalités reste une question complexe et peu étudiée. Les études existantes tendent à montrer à la fois un accroissement des inégalités socio-économiques et des inégalités sociales et territoriales de santé, lors d'épidémies d'arboviroses (Peixoto *et al.* 2021). Ces travaux restent cependant peu nombreux et utilisent des méthodologies variées et parfois peu robustes.

4.3.1 Les effets des inégalités sur l'épidémie

Pour simplifier et en se fondant sur les précédents exemples d'épidémies de maladies infectieuses, il est possible d'analyser les effets hétérogènes d'une épidémie en termes d'inégalités (inégalités socio-économiques ou inégalités sociales et territoriales de santé) sous trois angles principaux, présentés ci-après.

4.3.1.1 Sur le plan géographique

La distribution des caractéristiques environnementales ou climatiques d'une zone donnée (département ou localité moins étendue) aura un effet sur l'incidence, la prévalence, voire la mortalité, au sein d'une population, en cas d'épidémie. Dans le domaine des catastrophes naturelles, l'un des exemples les plus souvent cités est celui de l'ouragan Katrina aux États-Unis qui a contraint les personnes touchées à déménager, permettant d'évaluer l'effet du lieu de vie et de la géographie sur les conditions de santé et l'espérance de vie et montrant l'importance des inégalités géographiques sur la santé (Deryugina et Molitor 2021; Couillard *et al.* 2021; Bonnet *et al.* 2020). Quand il s'agit d'arboviroses, la dimension géographique est encore plus déterminante, car certaines zones géographiques sont plus propices à la transmission de maladies infectieuses. Ces inégalités géographiques s'observent également au sein de l'Hexagone (cf. Figure 1 dans la section 2.1.2).

4.3.1.2 Sur le plan démographique

D'après certaines études menées pendant la crise du Covid, une plus grande mixité d'âges au sein d'une population favoriserait les contacts (Acemoglu et al. 2021; Gollier 2020) et augmenterait le risque d'infection pour les plus vulnérables, d'où certaines recommandations de politiques publiques de santé ciblées par âge. Dans le cas d'une épidémie d'arbovirose, transmise de façon indirecte par les moustiques, il convient de nuancer cette conclusion, car l'exposition au moustique vecteur, indispensable à la transmission (en dehors de la transmission sexuelle du Zika et des rares cas de transmission par la transfusion ou la greffe), peut moduler ces effets.

Le sexe peut aussi entrer en ligne de compte si l'activité (travail ou activité domestique) en extérieur est associée à un sexe en particulier (Brown et Shugart 2019; Tinto *et al.* 2022; Byaruhanga *et al.* 2023; Chen *et al.* 2024) ou du fait du risque particulier pour les femmes enceintes, pour le Zika en particulier (cf. section 2.3.3.3).

4.3.1.3 Facteurs biologiques individuels de vulnérabilité

Les facteurs biologiques de vulnérabilité aux arboviroses varient fortement d'un individu à l'autre et comprennent plusieurs éléments qui influencent la susceptibilité d'une personne à développer une forme sévère de la maladie. Les principaux facteurs sont :

- **l'âge** : les enfants et les personnes âgées sont souvent plus susceptibles de développer des formes graves de ces maladies. Ceci s'explique principalement en raison de systèmes immunitaires moins matures pour les plus jeunes et par la sénescence du système immunitaire pour les plus âgés ;
- **l'état immunitaire** : les individus avec un système immunitaire affaibli, que ce soit en raison de conditions médicales préexistantes ou de traitements immunosuppresseurs, peuvent être plus susceptibles de développer une infection grave ;
- **facteurs génétiques** : certains gènes spécifiques peuvent être associés à un risque accru de développer une forme sévère de la maladie. Comme par exemple, des variations génétiques dans les gènes impliqués dans la réponse immunitaire ;
- **comorbidités** : des conditions médicales préexistantes telles que l'hypertension, le diabète et les maladies cardiovasculaires peuvent augmenter le risque de complications graves. L'arthrite rhumatoïde peut également accroître le risque de complications articulaires suite à l'infection par le virus chikungunya ;
- **antécédents d'infection antérieure** : il est notamment décrit que les personnes ayant déjà été infectées par un sérotype spécifique du virus de la dengue sont plus à risque de développer des complications graves lors d'une réinfection ;
- **grossesse** : les femmes enceintes sont considérées comme étant à plus grand risque de développer des formes graves d'infections par le virus de la dengue, le virus Zika et le virus chikungunya en raison des complications potentiellement graves pour elles-mêmes et pour le fœtus. Leur vulnérabilité est exacerbée lors de l'infection au virus Zika, principalement au premier trimestre de grossesse avec le développement d'anomalies congénitales telles que la microcéphalie chez le fœtus.

4.3.1.4 Sur le plan social

De façon générale, l'existence d'inégalités de santé liées aux caractéristiques sociales et de revenu⁹⁷ de la population est un phénomène connu. De très nombreuses études documentent des risques d'infections très différents selon le milieu social⁹⁸ (Bajos *et al.* 2020; 2021; Vandentorren *et al.* 2022; Carrat *et al.* 2021) et surtout selon le niveau d'inégalités dans certaines zones (Sepulveda et Brooker 2021; Deaton 2021; Tan *et al.* 2021; Bonnet *et al.* 2024)⁹⁹. Ces inégalités peuvent également affecter l'évolution de l'épidémie (voir par exemple, (Furceri *et al.* 2022; Benita, Rebollar-Ruelas et Gaytán-Alfaro 2022; Laajaj *et al.* 2022). Concernant les arboviroses, il existe également plusieurs études et méta-analyses documentant ce lien (voir par exemple (Power *et al.* 2022; Zellweger *et al.* 2017)).

Les effets des caractéristiques sociales et de revenu sur la santé peuvent aussi évoluer au cours du temps. Pour le cas du Covid en France, plusieurs études ont montré que les premiers clusters de COVID-19 se sont formés dans des milieux favorisés, souvent liés à des voyages à l'étranger. Les premières personnes infectées comprenaient des cadres et des professionnels revenant de voyages internationaux. Aux États-Unis, les zones métropolitaines et les quartiers riches ont aussi initialement connu des taux plus élevés d'infections, en partie à cause des voyages internationaux et de la densité de population élevée dans les zones urbaines. Cependant, cette tendance s'est rapidement inversée avec la propagation plus large du virus et les possibilités de télétravail, affectant finalement de manière disproportionnée les populations à revenu plus faible et les travailleurs essentiels (Worobey *et al.* 2020; Galmiche *et al.* 2021).

L'une des hypothèses sous-jacentes sur l'effet des inégalités est que la présence de fortes inégalités sociales ou ethniques rend plus difficile la gestion de biens publics comme la santé du fait de concurrences entre groupes et d'un ordre social fragilisé (Algan, Hémet et Laitin 2016). D'un autre côté, une plus forte mixité sociale pourrait également permettre de diversifier la gestion des risques et de faire bénéficier les classes défavorisées de meilleures conditions de vie et donc améliorer la santé.

L'encadré ci-dessous illustre le lien entre santé et environnement social à travers l'exemple du logement et mal-logement.

Encadré 5. Logement et mal-logement

Il a été montré que les zones pavillonnaires favorisent la présence de gîtes larvaires, avec la multiplication de jardins, pots de fleurs, gouttières et autres gîtes potentiels (Delatte *et al.* 2008).

Murray, Quam et Wilder-Smith (2013) suggèrent aussi une inégalité dans l'équipement des logements en moustiquaires, ventilateurs et climatisation ou à l'échelle de quartiers sur l'accumulation de déchets (sources de gîtes) comme facteurs déterminants de la dynamique épidémique.

Le mal-logement pourrait aussi jouer un rôle. Le mal-logement concerne les personnes vivant dans des conditions particulières de logement (insalubrité, risque d'expulsion, etc.) et les personnes sans domicile (c'est-à-dire les personnes dormant dans la rue ou en centre d'hébergement). La recherche en santé publique a établi une association entre insalubrité et foyers ou épidémies d'arboviroses. Par

⁹⁷ Les inégalités d'éducation (niveau de diplôme, [Niveau d'éducation de la population – France, portrait social | Insee](#)) étant fortement corrélées à celles des revenus, ces deux variables sont régulièrement utilisées de façon interchangeable dans la littérature.

⁹⁸ https://www.francetvinfo.fr/sante/maladie/coronavirus/coronavirus-des-risques-tres-differents-selon-le-milieu-social-estime-une-chercheuse_3975855.html

⁹⁹ Voir également Couillard *et al.*, 2021 ; Baker *et al.*, 2019 ; Chetty *et al.*, 2016 aux États-Unis ou Bonnet *et al.*, 2023 en France par exemple.

exemple, Aoustin (2012) a montré à La Réunion que l'insalubrité pouvait augmenter à la fois les facteurs de risque et l'impact de l'épidémie sur des zones précises (voir également la section 4.2.5.8).

La situation des personnes sans domicile reste aussi un enjeu dans un contexte d'épidémie. Selon la Fondation Abbé Pierre, le nombre de sans domicile est passé de 143 000 personnes en 2012 à 330 000 personnes en 2024. Différentes raisons laissent penser que les personnes sans domicile seront particulièrement vulnérables face à un foyer ou à une épidémie d'arbovirose. D'abord, les personnes sans-abri sont davantage exposées au risque de piqûres de moustiques que les personnes vivant dans un logement (elles ont plus de difficulté à éviter et à se protéger des piqûres). De plus, les sans-abris sont en moyenne en moins bonne santé que le reste de la population et certaines comorbidités augmentent le risque de forme graves des arboviroses. En outre, le recours aux soins est plus faible pour les sans-abris que pour le reste de la population. Ces différents points conduisent le GT à considérer que les sans-abris seront particulièrement affectés par une épidémie d'arbovirose, en termes de morbidité et de mortalité.

Par ailleurs, lorsque des personnes sans domicile sont touchées par une arbovirose, les investigations visant à identifier les lieux de contamination peuvent être difficiles, voire impossibles, ce qui complique la caractérisation comme cas importés ou autochtones. La mise en place d'action de LAV est aussi difficile, voire impossible, du fait de la non identification des lieux fréquentés.

Ces éléments de réflexion sur le lien entre mal-logement ou grande vulnérabilité d'une part, et santé et accès aux soins d'autre part, dans un contexte d'épidémies d'arboviroses s'inscrivent dans le cadre plus large des inégalités sociales de santé. En effet, la vulnérabilité des personnes en situation de mal-logement a déjà été mise en évidence pour d'autres problèmes de santé publique : par exemple, en situation de canicule ou pendant la pandémie de Covid (Mosnier *et al.* 2022), pour les personnes sans-abri). De plus, la situation des populations précaires (personnes sans domicile, sans-papiers, etc.) posent des questions spécifiques relatives à la santé et à la prise en charge médicale, qui vont bien au-delà du contexte des arboviroses.

4.3.2 Les effets de la circulation épidémique sur l'évolution des inégalités de revenu et de santé

Bien que la crise du Covid ne soit pas directement comparable avec une épidémie d'arbovirose, c'est un exemple récent qui reste utile pour montrer que les effets de l'épidémie sur les inégalités ne sont ni simples à appréhender ni linéaires. Plusieurs effets peuvent être mentionnés concernant l'évolution des inégalités de revenu et de santé. Ces effets résultent d'une chaîne causale complexe et peu étudiée pour les arboviroses et sont donc associés à une forte incertitude.

- **Effet anticipé de renforcement des inégalités en moyenne** : de façon générale, les études sur la pandémie de Covid tendent à montrer un accroissement des inégalités (voir par exemple (Sidik 2022; Flor *et al.* 2022; Prades Illanes et Tello 2020; Mahler, Yonzan et Lakner 2022; Diter 2021). Ces études se sont focalisées sur les inégalités en matière d'éducation, d'accès au marché du travail, de niveau de vie des ménages, de santé mentale et de richesse. Au Royaume-Uni, par exemple, (Blundell *et al.* 2022) montrent que la pandémie a creusé les inégalités sur plusieurs de ces plans.
- **Effets différenciés selon le temps** : Plusieurs rapports (notamment de l'Organisation internationale du travail (OIT) (International Labour Organization 2021) ou de l'OCDE (OECD 2020; 2023) entre autres (McKinsey 2020)), ont indiqué que, dans les premières phases de la crise, les marchés financiers ont subi de fortes turbulences, ce qui a pu entraîner une diminution temporaire de la valeur des actifs détenus par les ménages les plus riches. L'OIT a également noté que les travailleurs des secteurs tels que l'aviation, le

tourisme et les services professionnels ont subi des pertes importantes en termes d'emplois et de revenus au début de la crise. Ces secteurs sont souvent composés de travailleurs avec des salaires relativement élevés et des niveaux de déplacement fréquents. Par conséquent, l'effet sur les inégalités de revenu ou de santé au cours du temps peut être non linéaire avec des écarts de revenus réduits temporairement entre catégories sociales. Pour les arboviroses, il est difficile de prédire quelle serait la séquence temporelle exacte mais étant donné la diffusion épidémique à partir de cas importés, il est possible que des phénomènes similaires soient observés. Il est également difficile d'appréhender l'effet net de la pandémie sur les inégalités au cours du temps, car les mesures luttant contre une épidémie sont simultanées à celle-ci. Elles favorisent par ailleurs souvent les plus vulnérables et promeuvent ainsi l'égalité des chances.

- **Une forte hétérogénéité selon les effets analysés et les populations :** (Crossley *et al.* 2023) montrent par exemple que certaines inégalités se sont aggravées et d'autres non, pendant la crise Covid en Grande Bretagne. Par exemple, les auteurs ne trouvent pas de preuve d'une divergence globale des résultats sur le marché du travail en fonction du sexe. Sur ce même marché, les changements initiaux défavorables aux minorités ethniques et aux jeunes ont été largement inversés en mars 2021. Par ailleurs, les personnes appartenant au tiers supérieur de la distribution des revenus à long terme ont vu leur revenu diminuer, mais ont également augmenté leur épargne. La richesse nette a augmenté non seulement pour les personnes aisées, mais aussi pour les personnes dont le revenu se situe sur les déciles moyens de la distribution des revenus à long terme.

4.3.3 Les effets des politiques publiques sur les inégalités

Plusieurs effets des politiques publiques sur les inégalités peuvent être mentionnés :

- **Politiques de contrôle de l'épidémie :** Les inégalités peuvent être affectées par les politiques publiques menées pour contrôler l'épidémie. Ces politiques peuvent être plus ou moins en faveur des plus pauvres (« *pro-poor policies* »), ou avoir des effets non intentionnels sur les inégalités. (Clark, D'Ambrosio et Lepinteur 2022) ont par exemple montré sur trois pays d'Europe (Espagne, Italie, Allemagne) que les inégalités relatives du revenu disponible équivalent des ménages ont suivi une évolution « en cloche » au cours de la crise de Covid-19 entre janvier 2020 et janvier 2021, avec une hausse initiale de janvier à mai 2020 qui s'est plus qu'inversée en septembre 2020. En raison de la pandémie, certains ménages ont perdu plus que d'autres, et les programmes d'indemnisation du gouvernement ont été ciblés sur les plus défavorisés, ce qui explique qu'en moyenne, les différences de revenus se sont réduites. L'exposition sociale aux facteurs de risque peut également évoluer au cours du temps à mesure que les personnes informées par les pouvoirs publics, les médias, ou par simple peur de l'épidémie, se protègent mieux des risques. Vandentorren *et al.* (2022) ont analysé la dynamique de l'incidence du Covid, des taux de positivité et des taux de dépistage par groupe de population défavorisée et par densité de population. Ils ont montré que les mesures mises en œuvre par le gouvernement français pour gérer la

pandémie, en particulier les confinements successifs, ont eu un impact différent sur ces résultats dans les zones les plus défavorisées et les moins défavorisées, et que cet impact était différencié selon la densité de population. Dans les zones *moins peuplées*, pendant le deuxième confinement, l'incidence du Covid, les taux de positivité et les taux de dépistage étaient plus faibles dans les zones les plus défavorisées que dans les zones les moins défavorisées. En revanche, lors du troisième confinement, les taux d'incidence et de dépistage étaient plus élevés dans les zones les plus défavorisées, avec un taux de positivité similaire. Dans les municipalités *densément peuplées*, alors que les taux de dépistage étaient similaires pour tous les quintiles sociaux lors du deuxième confinement, ils étaient plus faibles dans les zones plus défavorisées que dans les zones moins défavorisées. (Brandily *et al.* 2021) montrent cependant que les réponses politiques à la crise du Covid-19 (y compris le confinement) n'ont pas affecté le gradient de revenu.

- **L'effet de la protection sociale** : la couverture maladie, la sécurité sociale et les politiques d'emploi pourraient jouer un rôle dans la gestion d'une épidémie d'arbovirose et de ses effets potentiels sur les inégalités. Peu d'études sur ce sujet sont cependant disponibles (Currie 2006; Currie, Schwandt, et Thuilliez 2020).
- **Comportements individuels et dépenses de prévention des ménages (répulsifs antimoustiques, etc.) en réaction aux politiques publiques** : si ces dépenses sont à relativiser en termes de coût global dans un budget familial, les réactions individuelles et leur hétérogénéité peuvent être des facteurs de prévention importants en complément ou en substitut des politiques publiques, notamment pour les ménages les plus défavorisés qui ne vont pas nécessairement en faire une priorité par rapport à d'autres dépenses essentielles. En général, le niveau d'éducation est significativement associé à l'adoption de mesures de contrôle et de prévention, ce qui peut contribuer à l'apparition et au maintien de nouvelles inégalités socio-économiques en matière de santé (Raude *et al.* 2012; Bajos *et al.* 2022).
- **Les inégalités territoriales en matière de gestion de l'épidémie** représentent à la fois une source de réduction des inégalités (si les zones où le risque d'épidémie est élevé sont bien gérées) ou au contraire d'accroissement des inégalités (si des zones délaissées sont affectées par une épidémie). Certaines études montrent, par exemple, que les politiques de contrôle peuvent parfois permettre des effets de rattrapage de certains territoires ou cohortes par rapport à d'autres moins affectés. Ce fut le cas en Norvège, par exemple, lors d'une campagne de lutte contre la tuberculose. Si l'ampleur et la nature du problème de santé sont différentes des arboviroses, ce cas reste intéressant pour étudier les effets des inégalités territoriales en matière de gestion d'une crise sanitaire (Bütikofer et Salvanes 2020).

Synthèse sur les inégalités en temps d'épidémie

La littérature académique qui porte spécifiquement sur les inégalités et les arboviroses est peu abondante. S'il est possible de se référer à l'expérience de l'épidémie de Covid, le GT recommande de le faire avec prudence car le mode de

transmission diffère fondamentalement. Beaucoup d'études montrent que les crises de santé vont de pair avec une accentuation des inégalités en moyenne, mais ce résultat doit être nuancé selon les types d'inégalités analysées (géographiques ou spatiales, de santé, de revenu, d'accès aux soins ou au marché du travail, etc.), les niveaux géographiques analysés (du micro au macro) et la temporalité des effets. Le lien entre épidémie et inégalités est également bi-directionnel. D'une part, les inégalités ont un effet sur la dynamique épidémique, la transmission de la maladie ou la prévention de la maladie. D'autre part, la circulation épidémique peut avoir un effet sur l'évolution des inégalités, effets qui peuvent être très hétérogènes dans le temps et selon les indicateurs retenus. Les politiques peuvent renforcer ces inégalités ou, au contraire, les réduire..

4.4 Modifications des impacts dans le contexte des changements climatiques et autres changements globaux

Les relations entre les changements globaux et climatiques d'origine anthropique, le risque épidémique et les impacts d'une épidémie sont complexes, comme l'illustre la figure ci-dessous, qui se limite à présenter, à titre d'illustration, une partie des éléments directement liés au risque d'arbovirose¹⁰⁰.

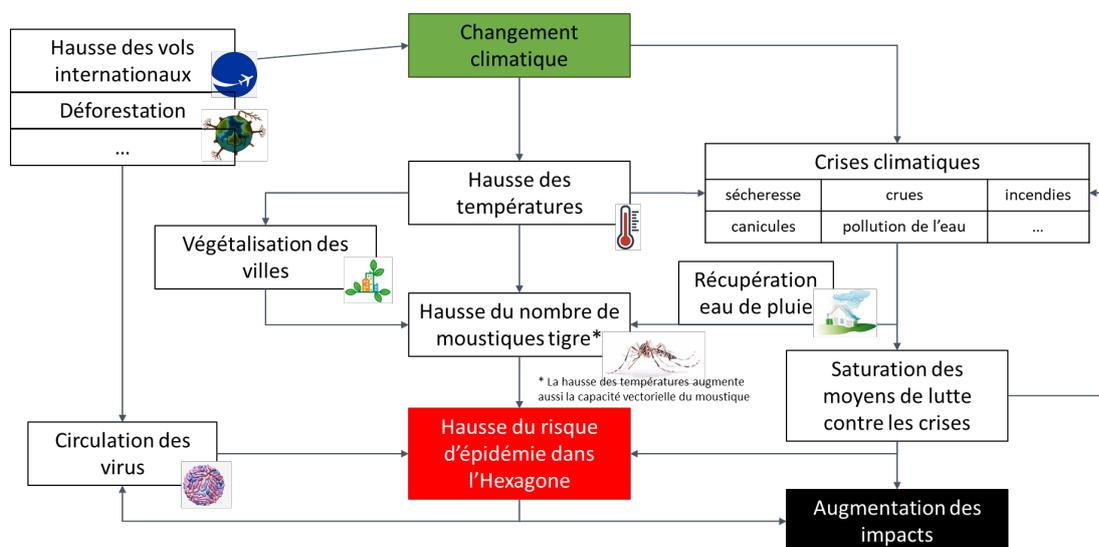


Figure 10. Interactions entre une épidémie d'arbovirose dans l'Hexagone et les changements globaux

Le risque d'arbovirose est lié notamment à l'implantation du moustique tigre *Ae. albopictus*, espèce asiatique invasive qui dispose d'une grande plasticité écologique. Ce moustique est arrivé dans l'Hexagone en 2004, son arrivée ayant été rendue possible par des changements globaux tels que l'augmentation du commerce international (cf. section 2.1). Une fois introduit et installé, sa dissémination à tout

¹⁰⁰ De nombreux autres éléments ne sont pas présentés dans la figure, par exemple sur les causes de l'augmentation du nombre de moustiques tigre, dont l'aire de répartition s'accroît également. La figure n'est qu'une illustration partielle des interactions entre changements globaux et arboviroses.

l'Hexagone a été favorisée par le transport passif des moustiques adultes à l'intérieur des véhicules le long des axes autoroutiers (Roche *et al.* 2015; Eritja *et al.* 2017). L'augmentation de sa densité est favorisée principalement par des facteurs climatiques (notamment le cumul de chaleur, mesuré par le nombre de degrés-jours de croissance (GDD)) et des facteurs environnementaux (l'importance de la végétation en milieu urbain et péri-urbain), facteurs qui sont également associés à l'émergence d'une transmission virale autochtone (Jourdain 2021).

Le cumul de chaleur fait partie des principaux facteurs d'apparition et d'ampleur d'une épidémie (cf. chapitre 3). Les changements globaux à l'origine d'une augmentation des températures affectent la transmission des arbovirus (Mordecai *et al.* 2019). Il est important de remarquer que la plasticité physiologique, génétique et écologique d'*Ae. albopictus* permet son adaptation aux évolutions de température (Hawley 1988).

Les températures élevées conditionnent d'une part, le développement, la survie et l'activité des moustiques et le nombre de piqûres et, d'autre part, la capacité vectorielle des moustiques (Franklinos *et al.* 2019). En France, la saisonnalité est clé pour limiter une endémicité en raison de l'interruption de la transmission à l'arrivée de l'hiver. La période d'activité pourrait être allongée par les changements climatiques en raccourcissant les périodes de basse température (Del Lesto *et al.* 2022).

Au-delà des températures, la perturbation du cycle de l'eau avec la survenue d'épisodes de crues et de sécheresse contribue à favoriser la densité de moustiques par les comportements de stockage de l'eau ou la mise en eau de réservoirs propices à la ponte des œufs de moustiques. Par exemple, les précipitations extrêmes peuvent jouer un rôle sur l'augmentation de la période de transmission de chikungunya (et autres arboviroses) comme démontré à Montpellier en 2014 (Roiz *et al.* 2015).

Différents facteurs concourent à faire des villes des lieux de transmission favorables aux maladies vectorielles : des hôtes humains en forte densité, une mosaïque d'espaces dont certains peuvent être propices au développement des vecteurs, parfois du fait des comportements des hôtes, des vecteurs qui sont adaptés ou qui s'adaptent (cas du moustique *Aedes albopictus*). Les villes sont en outre des portes d'entrée (aéroports, ports) pour les agents pathogènes de ces maladies qui circulent de plus en plus activement dans notre monde globalisé.

Les initiatives récentes et de plus en plus nombreuses qui visent à végétaliser les villes pour limiter la hausse des températures et les îlots de chaleur urbaine, sont susceptibles d'accroître certains risques vectoriels et de favoriser la transmission autochtone des arboviroses (Jourdain 2021). Si les solutions fondées sur la nature apparaissent comme des outils prometteurs et nécessaires pour améliorer le bien-être et la santé des citoyens, elles pourraient également contribuer aux risques d'émergence de maladies à transmission vectorielle.

Aussi, certains facteurs participent à la fois aux changements climatiques et au risque d'arboviroses, comme l'augmentation de la circulation des personnes et des marchandises. Cette circulation pourrait provoquer l'introduction dans l'Hexagone d'*Ae. aegypti* (autre vecteur de la dengue, du chikungunya et de Zika) (Liu-Helmersson *et al.* 2019).

De plus, les changements globaux aggravent les impacts d'une augmentation de la transmission par la sollicitation des mêmes moyens de lutte. En effet, les mêmes services de secours ou de gestion sont susceptibles d'être mobilisés en même temps

pour plusieurs événements critiques (arboviroses, incendies dus à la sécheresse et à la hausse des températures, pollution de l'eau avec la hausse des températures, etc.). Les ARS et les préfetures sont en première ligne face à ces événements et leur sollicitation simultanée pourraient les amener à devoir prioriser certaines interventions par rapport à d'autres, conduisant à une aggravation des impacts des événements considérés comme non prioritaires (ARS).

Synthèse

Le risque d'arbovirose augmente avec les changements climatiques et autres changements globaux dans certaines zones géographiques, dont l'Hexagone. Des mesures pour agir sur les facteurs à l'origine ces changements peuvent être prises :

- pour limiter les risques d'épidémie à court terme (comme limiter les déplacements intercontinentaux, qui facilitent la circulation virale et la circulation des vecteurs) ;
- pour aménager l'environnement urbain en conciliant l'adaptation aux changements climatiques et la prise en compte du risque d'arbovirose, par exemple dans les projets de végétalisation des villes ;
- concernant les crises, pour limiter les impacts des arboviroses en adaptant les moyens de lutte de sorte qu'une gestion de crises concomitantes soit réalisable sans arbitrage potentiellement défavorable pour l'être humain, la biodiversité et l'environnement;
- pour lutter à plus long terme contre la hausse des émissions de CO₂ qui contribuent à l'augmentation des températures, préserver la biodiversité et les habitats naturels pour limiter les contacts entre hôtes, vecteurs et virus.

4.5 Commentaires généraux sur les impacts socio-économiques attendus d'une épidémie d'arbovirose

La longueur relative des commentaires rédigés par le GT sur un impact particulier (dans ce rapport) ne préjuge pas de l'importance relative de cet impact par rapport aux autres lors la survenue d'une épidémie.

Le GT a analysé des impacts communément attendus des épidémies d'arboviroses (par exemple les impacts sur la santé ou le système de santé), mais aussi des impacts qui le seraient moins (comme ceux relatifs au logement). Il peut également exister des boucles de rétroactions entre les différents impacts (ce qui signifie que certains impacts peuvent exercer une influence sur d'autres).

Le GT attire l'attention du lecteur sur les limites du travail pour traiter de la question des impacts d'une épidémie d'arboviroses dans l'Hexagone :

- Étant donné que la littérature portant sur un contexte similaire à celui de l'Hexagone est très limitée, l'évaluation des impacts (attendus) est marquée par des incertitudes ;
- Dans l'état actuel des méthodes et des données disponibles, le GT n'est pas en mesure d'établir des relations de causalité et de quantifier l'ampleur et la durée des impacts ;

Le GT a rapporté, parmi les impacts, des mesures prises par les acteurs concernés par la gestion de l'épidémie sur la base d'expériences passées. Ces mesures n'ont pas toutes fait l'objet d'une évaluation et le fait que le GT les mentionne ne constitue pas une recommandation à les mettre en œuvre.

Le GT interpelle les décideurs sur l'importance de collecter les données qui sous-tendent les impacts observés lors d'épisodes d'épidémies pour mieux mesurer les impacts et mieux appréhender les épisodes futurs.

5 Analyse des incertitudes

Tableau 7. Analyse des incertitudes

Étapes de l'évaluation	Sources d'incertitude	Prise en compte de l'incertitude	Impact de l'incertitude sur le résultat de l'expertise	
			Amplitude de l'incertitude	Direction de l'incertitude
Planification (cadrage et périmètre)	La question posée comporte la formulation " <i>Aedes albopictus</i> ou <i>Culex</i> " et les délais non négociables par le pétitionnaire ne permettent pas de traiter les deux espèces	Le GT n'a traité qu'une espèce de moustique vecteur sur les deux proposées dans la saisine et s'est limité aux trois arbovirus transmis par <i>Aedes albopictus</i> déjà signalés en France hexagonale	Non qualifiable	Sans objet
Description du contexte et identification des facteurs d'influence	Sélection des articles par avis d'experts car la sélection des articles concernant la zone tempérée en cas de réalisation d'une recherche bibliographique exhaustive aurait été incompatible avec les délais de l'expertise	Non	Faible	Non qualifiable
	Il existe très peu de publications sur les facteurs influençant la capacité vectorielle d' <i>Aedes albopictus</i> en zone tempérée	Indication dans le rapport du peu de littérature disponible	Moyenne	Non qualifiable
	Il existe très peu de publications sur les facteurs influençant la transmission d'arbovirus par les espèces du genre <i>Aedes</i> en zone tempérée	Recommandation pour poursuivre les recherches sur les facteurs influençant la capacité vectorielle d' <i>Aedes albopictus</i> en zone tempérée	Moyenne	Non qualifiable
	Certains facteurs d'influence ont été identifiés par avis d'experts sans source bibliographique associée		Forte	Non qualifiable
Notation des facteurs d'influence	Tous les facteurs ont été notés par les experts, sans tenir compte dans la note de la présence de sources bibliographiques associées ou non	Une note d'incertitude a été associée à la notation de chaque facteur. Cette incertitude prend en compte à la fois les sources bibliographiques	Faible	Non qualifiable

Étapes de l'évaluation	Sources d'incertitude	Prise en compte de l'incertitude	Impact de l'incertitude sur le résultat de l'expertise	
			Amplitude de l'incertitude	Direction de l'incertitude
		associées et les avis d'experts		
	Le nombre d'experts notant les facteurs est faible, seuls les experts du GT ont participé à la notation	<p>Description des méthodes mises en œuvre dans le rapport d'expertise et des incertitudes associées à l'expertise.</p> <p>Organisation d'une réunion de consensus pour que les experts puissent s'accorder sur la notation.</p> <p>Recommandation pour poursuivre les recherches sur les facteurs d'influence</p>	Forte	Non qualifiable
Estimation de la probabilité d'apparition d'une épidémie	Le nombre d'experts évaluant la probabilité d'apparition est faible, seuls les experts du GT ont participé à l'évaluation	Recommandation pour poursuivre les recherches sur les facteurs d'influence	Moyenne	Non qualifiable
Identification et description des impacts	Peu d'épidémies d'arboviroses ont été observées dans un contexte similaire (zone tempérée vs. zone tropicale habituellement)	<p>Avis d'experts complétés par une revue de la littérature et l'interrogation d'acteurs de terrain.</p> <p>Description des méthodes mises en œuvre dans le rapport d'expertise et des incertitudes associées à l'expertise.</p>	Faible à moyenne	Non qualifiable
Méthode de collecte des données / recherche de littérature	La recherche de littérature est ciblée sur des mots-clés économiques, ce qui risque d'écarter les impacts non valorisés selon un critère économique	<p>Revue de littérature et avis d'experts complétés par l'interrogation des acteurs de terrain.</p> <p>Description des méthodes mises en œuvre dans le rapport d'expertise et des incertitudes associées à l'expertise.</p>	Faible	Sous-estimation des impacts qui ne font pas l'objet de publications

Étapes de l'évaluation	Sources d'incertitude	Prise en compte de l'incertitude	Impact de l'incertitude sur le résultat de l'expertise	
			Amplitude de l'incertitude	Direction de l'incertitude
Méthode de collecte de données / interrogation des acteurs de terrain	Le nombre d'acteurs interrogés est limité, il y a des non réponses. Le nombre de questions est limité et les questionnaires n'ont pas été testés	Construction du questionnaire en GT. Description des méthodes mises en œuvre dans le rapport d'expertise et des incertitudes associées à l'expertise.	Moyenne	Non qualifiable
Quantification des impacts sanitaires et socio-économiques	Absence d'expérience antérieure, incertitude sur l'ampleur attendue et sur la réaction des acteurs concernés	En l'absence de données quantitative, le GT s'est attaché à identifier et à décrire les impacts sans les quantifier, en se plaçant dans une situation d'épidémie. Recommandation de collecter des données sur les impacts en cas d'épidémie	Forte	Non qualifiable

D'une façon générale, concernant les réponses aux trois questions, dans le contexte d'une saisine qui porte sur l'anticipation d'une situation inédite, l'exercice principalement prospectif reste associé à une incertitude irréductible. Le GT émet des recommandations de collecte de données pour réduire l'incertitude.

6 Conclusions et recommandations

6.1 Conclusions du groupe de travail et réponses aux questions de la saisine

Aedes albopictus est une espèce invasive de moustiques vectrice notamment des virus de la dengue, chikungunya et Zika. Rencontrée principalement dans des habitats urbains ou périurbains en Europe, cette espèce est surtout active en journée, et les femelles hématophages piquent fréquemment les êtres humains.

Arrivé en 2004, *Ae. albopictus* colonise progressivement le territoire de la France hexagonale, avec les trois quarts des départements colonisés en moins de 20 ans. L'exposition des populations humaines aux piqûres augmente donc d'année en année, mais varie cependant en fonction du niveau de colonisation et de facteurs liés aux comportements individuels, à l'environnement (météo, végétation) et à la bio-écologie des moustiques.

Une femelle *Ae. albopictus* s'infecte en piquant un hôte vertébré virémique. Après multiplication dans le moustique, le virus gagne les glandes salivaires de la femelle, qui devient infectante et transmettra alors le virus à tout nouvel hôte qu'elle piquera. La capacité vectorielle d'un moustique à transmettre un virus dépend de l'aptitude d'un moustique à assurer la transmission d'un virus (compétence vectorielle) mais aussi de nombreux facteurs extrinsèques aux moustiques, tels que la température, la biodisponibilité en hôtes ou encore la souche virale impliquée.

Le virus de la dengue, le virus chikungunya et le virus Zika sont des arbovirus transmis par des moustiques vecteurs du genre *Aedes*, qui circulent essentiellement en zone intertropicale où ils sont responsable d'épidémies. Ces dernières décennies, à la faveur des changements climatiques et globaux (urbanisation, déforestation, mouvements de biens et personnes), le nombre de cas d'infection par ces arbovirus dans le monde a considérablement augmenté avec un nombre record de cas de dengue notifiés à l'OMS en 2023 et 2024 et l'émergence des virus chikungunya et Zika dans des territoires précédemment indemnes (comme l'Amérique latine en 2013-14 et 2015-16) où ils ont été responsables d'épidémies majeures.

Les maladies provoquées par ces trois arbovirus présentent des caractéristiques communes (signes cliniques des formes simples, existence de formes paucisymptomatiques et asymptomatiques, modes de transmission et répartition géographique).

La grande majorité des infections ont lieu par voie vectorielle. Une transmission non vectorielle est néanmoins possible. La transmission par voie sexuelle est très bien documentée pour le virus Zika et quelques très rares cas ont également été rapportés pour le virus de la dengue. La transmission verticale maternofoetale est démontrée pour le virus Zika avec des conséquences pouvant être majeures pour le fœtus, notamment pour les infections survenues pendant le premier trimestre de grossesse. Une transmission en période périnatale lorsque la mère a été infectée dans les jours précédant l'accouchement est démontrée pour le virus chikungunya avec des conséquences pouvant être sévères pour le nouveau-né. Enfin, la transmission par

la transfusion et la greffe de tissus, organes et cellules est démontrée pour le virus de la dengue et chikungunya (greffe), et possible pour le virus Zika, même s'il n'y a pas de cas avéré publié. Cela justifie la mise en place de mesures de sécurisation de la transfusion et de la greffe vis à vis de ces trois virus.

Pour les trois virus, la période de virémie pendant laquelle la personne infectée peut contaminer un moustique lors de piqûre est assez courte (de un à 12 jours, en moyenne de trois à cinq jours).

Les formes asymptomatiques ou paucisymptomatiques sont fréquentes, le pourcentage de formes asymptomatiques variant de 20 à 90 % selon les études et en fonction du virus et, pour le même virus, en fonction de divers facteurs comme l'exposition antérieure au virus (par exemple l'exposition à différents sérotypes du virus de la dengue), la souche virale, les réponses immunitaires individuelles mais aussi la perception des symptômes par le malade. Pour les trois virus, les personnes asymptomatiques peuvent contribuer à la transmission si elles sont piquées en période virémique. Mais l'infection par chacun de ces virus peut aussi engendrer chez les patients des maladies aux conséquences parfois très graves : dengue sévère avec défaillance viscérale et/ou hémorragies, complications neurologiques en particulier syndrome de Guillain Barré des infections à virus chikungunya et Zika, formes rhumatologiques chroniques de l'infection à virus chikungunya, syndrome de Zika congénital notamment.

Le diagnostic de ces arbovirus peut être réalisé par mise en évidence du génome viral par RT-PCR (pendant la phase de virémie) ou par mise en évidence des anticorps par sérologie. La sérologie pose des problèmes de réactions croisées, notamment entre orthoflavivirus mais aussi de réactions non spécifiques, rendant le diagnostic délicat. Les experts indiquent que le diagnostic de ces arboviroses devrait être systématiquement évoqué chez des patients atteints de syndrome fébrile de retour de voyage en région intertropicale.

Des cas importés de ces arboviroses sont identifiés chaque année en France hexagonale. Leur nombre et leur provenance varient en fonction des épidémies dans le monde et, notamment, dans les zones avec de forts échanges comme les DROM (déplacements nombreux des populations entre les DROM et l'Hexagone). Cela a notamment été le cas pour la dengue en 2023 et 2024 avec le nombre le plus important de cas importés de dengue déclarés dans l'Hexagone depuis le début de la surveillance (2 524 cas en 2023 et 3 051 cas au 23 juillet 2024¹⁰¹), ceci en lien avec l'épidémie qui sévit dans les Antilles françaises.

En France hexagonale depuis 2010, avec l'implantation et la progression du vecteur *Aedes albopictus*, des foyers de transmission autochtone de ces virus sont régulièrement observés. S'ils sont restés limités en nombre entre 2010 et 2021 (moins de dix cas autochtones de dengue chaque année jusqu'en 2019, 48 cas identifiés au total entre 2010 et 2021 et 17 cas maximum pour l'infection par le virus chikungunya en 2017), l'année 2022 a marqué une évolution. En effet, le nombre de cas autochtones de dengue a été sensiblement supérieur aux chiffres observés depuis 2010, avec un total de 66 cas autochtones (dont un foyer de 35 cas) par rapport à un

¹⁰¹ <https://www.santepubliquefrance.fr/maladies-et-traumatismes/maladies-a-transmission-vectorielle/chikungunya/articles/donnees-en-france-metropolitaine/chikungunya-dengue-et-zika-donnees-de-la-surveillance-renforcee-en-france-hexagonale-2024>, page consultée le 24 juillet 2024.

maximum de 13 cas en 2020. De plus, en 2022, des foyers sont survenus dans des zones jusque-là indemnes (départements des Hautes Pyrénées, de Haute Garonne, des Pyrénées-Orientales, du Tarn-et-Garonne et de la Corse-du-Sud). Cette évolution s'est confirmée en 2023 avec un nombre de foyers de dengue identique (9) avec, pour la première fois, un foyer détecté en Île de France. Au moment de la rédaction de ce rapport, au 23 juillet 2024, un épisode de transmission autochtone de dengue a été recensé, au cours duquel un cas a été identifié, dans l'Hérault¹⁰².

Les très nombreux cas importés et la multiplication des foyers de transmission autochtone ont représenté une forte pression sur les services des ARS, les services de LAV et les services de SpF qui ont été mis en tension voire en situation de saturation dans certaines régions. Le dispositif de surveillance de la dengue, des fièvres à virus chikungunya et virus Zika est fondé sur la déclaration obligatoire (DO) à l'ARS des cas documentés biologiquement (cas confirmés et probables). La surveillance est renforcée chaque année entre mai et novembre, correspondant à la période estimée d'activité du vecteur au moment de la rédaction de ce rapport, avec notamment une sensibilisation des professionnels de santé au diagnostic et au signalement des cas et l'activation d'un dispositif de transfert automatisé des résultats biologiques des principaux laboratoires permettant le « rattrapage » des cas non signalés. Ce dispositif vise à déclencher les mesures de prévention et de contrôle adaptées autour des cas confirmés.

Les cas signalés à l'ARS (importés ou autochtones) font l'objet d'une enquête épidémiologique et entomologique. Lorsqu'il s'agit de cas autochtones, les investigations sont plus poussées, avec une recherche active de cas qui, le plus souvent, inclut une enquête en porte à porte. Cette recherche active de cas vise à détecter d'autres cas autochtones ainsi que le cas importé à l'origine de la transmission. L'objectif de l'enquête est de caractériser l'ampleur et la dynamique temporelle et spatiale de la transmission et ainsi guider les mesures de prévention et de contrôle, notamment les mesures de lutte antivectorielle (LAV)¹⁰³ et de sécurisation des produits issus du corps humain.

La LAV a pour objectif de lutter contre la transmission et la circulation d'agents pathogènes transmis par des moustiques vecteurs, en agissant sur les populations de vecteurs, mais aussi sur le comportement de la population humaine et en minimisant les risques d'atteinte à l'environnement, à la biodiversité et aux populations. Ces missions, déléguées par l'ARS à des opérateurs de démoustication, voient leur fréquence augmenter au cours des saisons, avec un risque de saturation des services observé depuis quelques années dans les régions présentant le plus grand nombre de cas autochtones ou en cas de nombreux cas importés.

A la date de ce rapport, aucun traitement antiviral contre ces trois virus ni de vaccin contre le virus de la dengue ou le virus chikungunya n'est recommandé dans la situation épidémiologique du territoire hexagonal, et aucun vaccin n'existe contre le virus Zika. Des évolutions des stratégies vaccinales dans les pays endémiques et pour les voyageurs seront néanmoins envisageables dans un avenir proche.

¹⁰² <https://www.santepubliquefrance.fr/maladies-et-traumatismes/maladies-a-transmission-vectorielle/chikungunya/articles/donnees-en-france-metropolitaine/chikungunya-dengue-et-zika-donnees-de-la-surveillance-renforcee-en-france-hexagonale-2024>, page consultée le 11 juillet 2024.

¹⁰³ Lutte et protection contre les vecteurs et leur surveillance.

Les questions de la saisine sont les suivantes :

1. « évaluer la probabilité d'apparition d'épidémies d'arboviroses transmises par les moustiques (*Ae. albopictus* ou *Culex*) en métropole ;
2. estimer l'ampleur d'une éventuelle épidémie ;
3. évaluer les impacts socio-économiques de ces épidémies (dont les impacts sur la santé humaine, le système de santé et les activités économiques – tourisme, arrêts de travail, etc.– et sociales notamment). »

Réponses aux questions 1 et 2 de la saisine

L'apparition et l'ampleur d'un épisode de transmission autochtone d'un arbovirus par *Ae. albopictus* en France hexagonale sont influencées par de nombreux facteurs qui agissent de concert et dont certains sont protecteurs. Le GT a souhaité qualifier l'influence de ces facteurs sur la probabilité d'apparition et l'ampleur d'un épisode de transmission autochtone, afin d'aider les acteurs de la prévention et du contrôle de ces arboviroses dans leur gestion et anticipation de ce risque. Un épisode de transmission autochtone ne peut se produire qu'après introduction du virus (par une personne infectée hors du territoire) dans une zone où le vecteur est présent et actif (entre mai et novembre). Dans ces conditions, les facteurs pouvant favoriser l'apparition d'un épisode de transmission autochtone sont principalement liés à des températures favorables au vecteur (et à la multiplication du virus dans le vecteur), la transmissibilité de la souche virale et aux flux de voyageurs arrivant sur le territoire hexagonal. Les facteurs permettant de réduire la probabilité d'apparition d'une transmission autochtone concernent essentiellement les acteurs de la prévention et du contrôle : la réactivité des mesures de LAV et la sensibilisation des professionnels de santé et des décideurs. L'ampleur d'un épisode de transmission peut être influencée par ces mêmes facteurs auxquels s'ajoutent la densité de population, le pourcentage d'infections asymptomatiques ou l'existence d'un autre événement mobilisant les mêmes ressources de réponse à une crise. L'ampleur de l'épidémie peut être décrite par différents niveaux de transmission allant de la présence d'un seul cas autochtone jusqu'à une épidémie avec adaptation des mesures de gestion et des impacts multisectoriels.

Le GT estime que la probabilité d'avoir, au cours d'une saison en France hexagonale, au moins un épisode de transmission autochtone sous forme de foyer(s) localisé(s) est très élevée (note de 9 sur une échelle de 0 à 9 avec une incertitude de 1 = faible¹⁰⁴ (Afssa 2008)), des épisodes de transmissions autochtones étant identifiés presque tous les ans depuis 2010 et chaque année depuis 2017. La probabilité d'apparition d'une épidémie d'arbovirose à cinq ans, dans le contexte hexagonal, comme la « répartition diffuse de cas humains autochtones au-delà des foyers déjà individualisés » (voir section 3.3) est notée par les experts de 6 à 7 (sur une échelle de 0 à 9 avec une incertitude de 2 = moyenne).

Le GT souligne que les grands événements internationaux organisés en période d'activité d'*Ae. albopictus* sont très favorables à la survenue d'épisodes de transmission d'arbovirus, du fait notamment de très forts flux de voyageurs, des conditions climatiques favorables, etc.

¹⁰⁴ L'incertitude est évaluée sur une échelle de 1 à 4, selon les modalités retenues dans le cadre de précédents travaux à l'Anses et rapportées dans l'Annexe 2.

Réponses à la question 3 de la saisine

La littérature sur les impacts des arbovirus dans une zone tempérée est beaucoup plus réduite que la littérature relative aux zones tropicales. L'identification des impacts repose donc fortement, en plus des articles identifiés, sur les réponses à l'enquête conduite par le GT auprès des acteurs de terrain, et sur l'avis des experts membres du GT. En l'absence de données quantitatives, le recensement des impacts est principalement descriptif et qualitatif.

Une épidémie est susceptible d'avoir des impacts multiples, touchant plusieurs acteurs.

Concernant les **activités de prévention et de contrôle des arboviroses**, à court terme, la situation actuelle sur le territoire hexagonal et les moyens matériels, humains et financiers contraints exposent à un risque de saturation des moyens de prévention et de contrôle en cas d'afflux de cas importés ou de transmission autochtone, quel que soit le niveau de cette dernière. Ainsi, plusieurs ARS interrogées ont signalé une mise en tension de leurs moyens pour traiter le nombre important de cas importés en 2023.

L'afflux inhabituel de cas importés et la multiplication des foyers autochtones conduisent à la mise en tension des moyens de LAV déjà observée en 2022 et 2023, à une dégradation des conditions de travail des différents acteurs (services des ARS, opérateurs de démoustication, SpF) et à une dégradation de la qualité des opérations. La saturation des moyens de LAV pourrait conduire à aggraver ces impacts.

Cette situation conduira les acteurs à réaliser en priorité certaines actions de surveillance, prévention et LAV. De plus, à moyens constants, la saturation conduira à des arbitrages dans l'allocation des moyens consacrés à la surveillance, à la prévention et au contrôle et ceux consacrés à d'autres interventions¹⁰⁵. Ces arbitrages doivent être anticipés pour en réduire les impacts.

La saturation des moyens pourra conduire à l'activation des niveaux les plus élevés du plan ORSEC-LAV.

Concernant les **acteurs institutionnels hors prévention et contrôle**, de multiples acteurs, du niveau local au niveau national, seraient amenés à jouer un rôle en cas d'épidémie. Une augmentation modérée de la transmission autochtone aurait dans un premier temps des impacts ponctuels (pendant l'épisode de transmission) sur l'activité des collectivités locales, principalement pour accompagner les traitements de LAV (information de la population et accès aux zones à traiter).

Une transmission plus massive conduirait à une mobilisation de moyens plus intense dans les collectivités territoriales et les services déconcentrés de l'État. Une communication plus large auprès de la population générale serait mise en place, afin de ralentir la transmission et répondre aux inquiétudes de la population.

L'augmentation du risque aurait également des impacts en dehors des épisodes de transmission, pour préparer à l'échelle locale et nationale une réaction organisée face à une transmission qui s'intensifie. Avec l'apparition du risque dans l'Hexagone, un plan avait été élaboré en 2006, en cours d'actualisation dans le cadre de l'élaboration

¹⁰⁵ Par exemple, les ARS pourraient être conduites à retarder les enquêtes épidémiologiques et donc les traitements de LAV si les agents sont mobilisés au même moment pour gérer une épidémie de rougeole ou une toxi-infection alimentaire collective.

du plan ORSEC-LAV. A l'avenir, avec l'augmentation du risque et la multiplication des foyers voire la survenue d'épidémie, il sera nécessaire d'adapter ce plan notamment à la lumière des leçons tirées de l'expérience.

D'une façon générale, il est attendu une augmentation des coûts et des budgets des administrations publiques consacrés aux arboviroses en parallèle de l'augmentation du risque.

Les acteurs locaux sont dans l'attente d'une coordination nationale de la gestion des cas d'arboviroses, notamment pour la définition des critères de priorisation des cas à traiter.

Concernant **l'état de santé des populations**, l'évaluation des impacts d'une épidémie d'arboviroses transmise par les moustiques du genre *Aedes* doit tenir compte du fait que la population n'est majoritairement pas immunisée contre ces virus. L'impact est en effet fortement déterminé par les formes graves, les formes chroniques et les séquelles de la maladie. Il sera directement lié à l'arbovirus, à la fréquence et à la répartition des cas, ainsi qu'à l'intensité de la transmission. Il dépendra également d'autres facteurs, notamment la performance du système de prévention et de contrôle (LAV), la saison, la zone géographique, la souche virale, la pyramide des âges, les comorbidités au sein de la population et l'état du système de santé.

Il n'existe que peu de données sur le fardeau sanitaire des arboviroses transmises par *Aedes albopictus* en Europe. Les évaluations du fardeau sanitaire (exprimées en DALYs) réalisées dans des pays étrangers ne sont pas directement transposables à la situation hexagonale, étant donné que le système de surveillance, l'efficacité de la riposte, le système de soins, la législation concernant l'interruption de grossesse (concernant essentiellement l'infection au Zika) et les comorbidités de la population sont différents.

Le système de santé hexagonal est *a priori* plus à même d'accueillir les patients dans de bonnes conditions de prise en charge que celui de nombreux pays dans lesquels l'impact des arboviroses a été étudié. Néanmoins, le GT attire l'attention sur l'importance pour la population et les professionnels de santé, de connaître les facteurs de risque et les signes d'alerte des formes graves des arboviroses. Le GT attire également l'attention sur le risque de saturation du système de soins hexagonal en cas d'épidémie, et notamment des services d'urgence en période estivale, qui pourrait compliquer l'accueil des patients et potentiellement alourdir l'effet de la maladie sur l'état de santé. De plus, la saturation de l'offre de soins pourrait également avoir un impact sur la prise en charge des autres maladies et donc sur l'état de santé de la population en général.

Concernant **le système de soins**, l'expérience acquise lors des épidémies d'arboviroses survenues ces dernières années dans les DROM révèle que l'impact sur le système de soins se traduit essentiellement par deux problématiques principales : une augmentation de l'activité liée à la croissance du nombre de patients et une diminution de la disponibilité des professionnels de santé, eux-mêmes touchés par l'épidémie (avec des arrêts de travail pouvant atteindre deux semaines en cas d'infection par le DENV).

Ces circonstances provoquent des tensions dans les capacités de diagnostic et peuvent entraîner la saturation de certains services, voire de l'ensemble du système de soins en cas d'épidémie étendue.

Cette problématique est exacerbée lorsqu'une autre épidémie survient simultanément, comme ce fut le cas par exemple aux Antilles, avec une double épidémie de SARS-CoV-2 et de DENV survenue en 2020. Ces situations de tension extrême nécessitent la mobilisation de renforts et de la réserve sanitaire en phase épidémique.

En ce qui concerne la dengue, ce sont surtout la médecine de ville et les services d'urgence et de réanimation qui sont impactés. Pour le chikungunya, l'impact s'étend à la médecine de ville, aux urgences, et aux services hospitaliers de médecine et de rhumatologie. Concernant le Zika, le principal risque est la saturation des services de réanimation et des services de soins médicaux et de réadaptation (SMR), à cause de l'incidence élevée des syndromes de Guillain-Barré associés à ce virus. Selon le GT, les acteurs du suivi de grossesse pourraient également être particulièrement sollicités.

Une épidémie d'arbovirose peut également avoir un impact sur les collectes de sang, en limitant le nombre de donneurs éligibles, en augmentant le coût des tests de dépistage et en mettant en tension les stocks de produits.

Les groupes les plus à risque de développer des formes sévères incluent les patients atteints de drépanocytose, les personnes âgées et les jeunes enfants. Une vigilance accrue est nécessaire pour les femmes enceintes, en particulier infectées par le virus Zika, en raison des risques pour le fœtus. Pour les trois virus, des retards dans la prise en charge peuvent affecter les individus les plus précaires ou ceux éloignés du système de soins.

En France hexagonale, la formation des professionnels de santé, tant en ville qu'à l'hôpital, représente un enjeu crucial nécessitant une attention particulière. Les CHU interrogés n'ont pas rapporté de plan spécifique pour l'organisation des soins en cas d'épidémie d'arbovirose, ce qui peut s'expliquer par le nombre relativement faible de cas rapportés à ce jour. Cependant, divers CHU, principalement situés dans le Sud de la France (zone traditionnellement plus exposée aux arboviroses), ont mis en place différentes mesures spécifiques, telles qu'une surveillance sanitaire des cas d'arboviroses importés et autochtones, une sensibilisation de tous les professionnels de santé aux précautions à prendre pour limiter les risques de transmission, des plans pour augmenter les capacités diagnostiques sur site. Dans ces établissements, le risque de transmission vectorielle d'arbovirose en milieu hospitalier est également pris en compte, avec la mise en place de mesures préventives, qui combinent généralement plusieurs approches (utilisation de moustiquaires, diffuseurs électriques d'insecticides, application de répulsifs cutanés, actions visant à limiter les gîtes larvaires au sein de l'établissement, etc.).

Un niveau accru de transmission et l'implantation d'*Aedes albopictus* dans de nouvelles régions pourraient conduire d'autres établissements hospitaliers ou d'autres structures de soins susceptibles d'accueillir des patients en phase de virémie d'arbovirose à devoir mettre en place des protocoles équivalents à ceux déjà énoncés par les CHU dans le cadre de leur protocole.

Selon le GT, le financement des mesures de prévention sur les budgets propres des établissements pourrait limiter la montée en puissance nécessaire de ces mesures en cas d'augmentation de la transmission autochtone. Des budgets spécifiques et des achats groupés de produits répulsifs pourraient être nécessaires à une échelle plus importante, au niveau des Groupes hospitaliers de Territoire (GHT) ou au-delà.

Selon le GT, il n'est pas attendu un impact significatif des arboviroses sur le système de soins au niveau 2 de transmission autochtone (cf. tableau 3). L'effet pour un niveau 3 de transmission est incertain, et un impact significatif est attendu pour le niveau 4 A ce dernier stade, l'expérience des DROM montre notamment la nécessité d'organiser une filière d'accueil spécifique des malades à l'hôpital.

Concernant les **activités économiques**, l'**impact macroéconomique** semble faible, avec trois modulations susceptibles d'entraîner un impact significatif, en cas de transmission massive. Un effet domino d'épidémies massives sur d'autres continents vers les marchés européens pourrait être observé, via les chaînes de valeur qui subiraient les effets d'une crise sanitaire en amont. Le secteur du tourisme pourrait être particulièrement touché, du fait de la sensibilité et de la réactivité des touristes, notamment en lien avec la couverture médiatique de l'épidémie. Enfin, des pertes d'activité économique pourraient survenir, en lien avec des pertes de productivité dues aux arrêts de travail.

L'impact microéconomique sur le marché de la prévention se caractérise par un effet sur les coûts et sur les profits des entreprises qui utiliseront ces moyens de protection et qui ont pour objectif de préserver le volume d'affaires et l'activité, un effet sur le revenu des ménages dans tous les cas et un effet possible et non intentionnel des politiques publiques de protection avec une démobilisation de l'effort individuel face à l'effort public. Selon le GT, en parallèle de ces impacts négatifs, une épidémie entraînerait l'émergence d'opportunités de marché, liées aux moyens de protection, aux traitements et aux vaccins, aux assurances et à la recherche.

Concernant **le tourisme**, il ressort de la littérature et des témoignages des acteurs de terrain consultés que l'impact économique est largement mentionné par les opérateurs car les épidémies ont lieu dans des lieux hautement touristiques mais la littérature ne rapporte pas d'études quantitatives sur l'amplitude de cet impact. L'impact serait d'autant plus important que la France est une destination très touristique. Les impacts économiques semblent centrés sur les professionnels du tourisme (plus que sur les touristes eux-mêmes) et l'impact le plus fortement attendu, qu'il conviendrait d'étudier, est lié aux transferts des flux de touristes vers des zones moins exposées. Enfin, l'impact est très fortement lié à la couverture médiatique car les touristes sont sensibles à l'information diffusée. Selon le GT, les impacts sur le tourisme pourraient survenir dès les premiers niveaux de transmission autochtone (niveau 2 du Tableau 3).

En l'absence de littérature spécifique relative à l'impact des arboviroses sur le **marché immobilier**, le GT s'est appuyé sur une littérature portant sur d'autres crises sanitaires. Le GT estime que les nuisances des moustiques, ainsi que leur capacité à transmettre les virus, pourraient générer une baisse potentielle des prix sur le marché immobilier local (toutes choses égales par ailleurs) et une baisse potentielle de la valeur du patrimoine des ménages propriétaires sur ces territoires. Le GT estime qu'une épidémie d'arbovirose (niveau 3 du Tableau 3) viendrait aggraver ces effets à court terme.

Concernant l'impact sur **le travail**, le GT s'attend à ce qu'une épidémie d'arbovirose ait principalement deux effets : des absences au travail des malades et de leurs aidants et une baisse consécutive de la productivité, et une mondialisation des effets liés aux chaînes d'approvisionnement, qui toucherait tous les secteurs économiques. Selon le GT, il n'est pas attendu un impact significatif des arboviroses sur le travail

au niveau 2 de transmission autochtone (cf. tableau 3). L'effet pour un niveau 3 de transmission est incertain, et un impact significatif est attendu pour le niveau 4 (épidémie).

Concernant **l'éducation**, peu de littérature académique sur ce sujet précis est disponible, mais il est possible de se référer aux travaux portant sur d'autres maladies infectieuses à transmission vectorielle.

Les impacts dépendent de la forme de la maladie (conséquences d'une exposition *in utero*, formes asymptomatiques, formes cliniques non sévères, formes cliniques et infections répétées, cas sévères) et relèvent de trois catégories. La première concerne les absences, soit directement des jours d'absence à l'école des enfants malades (10 jours en moyenne par cas), soit indirectement, par la fermeture des écoles, l'absence des enseignants, ou l'incapacité liée à la maladie des parents. La deuxième porte sur les effets de la maladie sur les capacités d'apprentissage et la cognition, les résultats scolaires et le développement de l'enfant : à court terme, du fait de la fatigue et de la fièvre, des absences répétées en cas de formes cliniques répétées ou sévères, à long terme, avec des effets sur le développement des individus, leur niveau d'éducation et leur niveau de revenu et enfin, d'autres conséquences possibles de nature comportementale (des effets de substitution entre les dépenses et le temps alloués à la santé versus à l'éducation). La troisième catégorie d'impact concerne des effets plus systémiques à court ou long terme : la gestion des absences des enseignants, la démoustication ou les fermetures d'école et les coûts liés, l'ajustement des programmes scolaires en période épidémique ou inter-épidémique.

Selon le GT, il n'est pas attendu un impact significatif des arboviroses sur l'éducation au niveau 2 de transmission autochtone (cf. Tableau 3). L'effet pour un niveau 3 de transmission est incertain ; un impact significatif est attendu pour le niveau 4 (épidémie).

Concernant **la recherche**, la survenue d'une épidémie ou l'endémisation d'un arbovirus semble conduire à un développement de programmes de recherche visant à mieux connaître la maladie et ses impacts et à évaluer les meilleurs moyens de s'en prémunir ou d'y faire face.

Le volume financier dédié à ces programmes a sensiblement augmenté au cours des 20 dernières années, depuis que les pays à haut revenu de l'hémisphère nord sont directement concernés par un risque de transmission autochtone.

Le développement des programmes de recherche est directement tributaire des budgets dédiés. Il est possible que ces budgets proviennent en partie de la réallocation de budgets auparavant affectés à d'autres programmes de recherche.

Un impact sur la recherche est souvent observé à l'occasion d'une crise, mais se prolonge rarement au-delà de la crise, avec un risque de réorientation des moyens à l'occasion de la crise suivante, une non pérennité des financements, et une fragilité des réseaux/consortiums mis en place.

L'expérience montre que lorsque les fonds sont débloqués au niveau national, européen ou mondial, les laboratoires de recherche français se mobilisent rapidement et efficacement et s'organisent en consortiums pour répondre aux questions de recherche qui émergent dans le sillage des virus et de leurs vecteurs. L'excellence et la compétitivité des équipes de recherche nationales doit être entretenue pendant l'inter-crise pour anticiper et assurer la réactivité nécessaire en cas de crise. Il est

ainsi fondamental de soutenir l'émergence d'équipes de recherche travaillant sur ces thématiques ainsi que de maintenir un panel de compétences suffisamment large pour répondre à ces besoins. Ceci implique de pérenniser des postes dans les équipes de recherche dans des domaines relatifs au risque lié aux arboviroses : virologistes, entomologistes, modélisateurs etc. La mobilisation de ces forces de recherche vers des approches préventives est un enjeu majeur.

Concernant **la couverture médiatique**, l'augmentation de la transmission autochtone ou la survenue d'épidémie va avoir un impact sur l'activité des médias et inversement, l'activité des médias aura un impact sur la dynamique épidémique. La façon dont les médias relaient l'information sur l'épidémie a un impact sur l'attitude et les comportements de la population.

De même, l'activité médiatique peut servir de marqueur de la préoccupation publique et la couverture de l'évènement aura un effet sur la forme et le volume des informations transmises par les médias (traditionnels et sociaux).

Compte-tenu de l'intérêt déjà marqué des médias pour les arboviroses dans l'Hexagone, le GT anticipe un effet médiatique dès les premiers cas de transmission autochtone, qui pourrait être d'autant plus fort si l'arbovirose concerne un virus n'ayant jamais circulé sur le territoire ou touche un évènement majeur (sportif par exemple).

Dans un contexte d'épidémie en France hexagonale, on peut s'attendre à ce que les autorités (comme les ARS) mettent en œuvre, ou renforcent, la mobilisation sociale, pour promouvoir les bons gestes de lutte contre les moustiques (élimination de gîtes larvaires, etc.).

L'émergence ou le développement éventuels de plusieurs types de collectifs mobilisés peuvent également être envisagés :

- des associations de patients et de personnes impactées par les maladies ;
- des collectifs opposés à la à la démoustication, dans la continuité de certains mouvements déjà observés (assez rarement) dans l'Hexagone. Cela soulignerait alors la nécessité d'approfondir la réflexion sur l'évolution de la LAV dans un contexte épidémique (approches alternatives au traitement chimique, association de la population à la définition des solutions, etc.) ;
- des collectifs réclamant une lutte contre les nuisances ;
- des collectifs soucieux face à la saturation des moyens de la lutte antivectorielle (en cas de saturation) ;
- des mouvements d'opposition à une éventuelle recommandation de vaccination.

Compte-tenu des mouvements sociaux déjà observés, le GT estime que des impacts en termes de mouvements sociaux sont attendus dès le niveau 2 de la transmission (tel que défini dans le Tableau 3).

Concernant **les inégalités sociales** en temps d'épidémie, la littérature académique qui porte spécifiquement sur les inégalités et les arboviroses est peu abondante. S'il est possible de se référer à l'expérience de l'épidémie de Covid, le GT recommande de le faire avec prudence car le mode de transmission diffère fondamentalement. Beaucoup d'études montrent que les crises de santé vont de pair avec une accentuation des inégalités en moyenne, mais ce résultat doit être nuancé selon les

types d'inégalités analysées (géographiques ou spatiales, de santé, de revenu, d'accès aux soins ou au marché du travail, etc.), les niveaux géographiques analysés (du micro au macro) et la temporalité des effets. Le lien entre épidémie et inégalités est également bi-directionnel. D'une part, les inégalités ont un effet sur la dynamique épidémique, la transmission de la maladie ou la prévention de la maladie. D'autre part, la circulation épidémique peut avoir un effet sur l'évolution des inégalités, effets qui peuvent être très hétérogènes dans le temps et selon les indicateurs retenus. Les politiques peuvent renforcer ces inégalités ou, au contraire, les réduire.

Le risque d'arbovirose augmente avec **les changements climatiques et autres changements globaux** dans certaines zones géographiques, dont l'Hexagone. Des mesures pour agir sur les facteurs à l'origine de ces changements peuvent être prises :

- pour limiter les risques d'épidémie à court terme (comme limiter les déplacements intercontinentaux, qui facilitent la circulation virale et la circulation des vecteurs) ;
- pour aménager l'environnement urbain en conciliant l'adaptation aux changements climatiques et la prise en compte du risque d'arbovirose, par exemple dans les projets de végétalisation des villes ;
- concernant les crises, pour limiter les impacts des arboviroses en adaptant les moyens de lutte de sorte qu'une gestion de crises concomitantes soit réalisable sans arbitrage potentiellement défavorable pour l'être humain, la biodiversité et l'environnement ;
- pour lutter à plus long terme contre la hausse des émissions de CO₂ qui contribuent à l'augmentation des températures, préserver la biodiversité et les habitats naturels pour limiter les contacts entre hôtes, vecteurs et virus.

Le GT a analysé des impacts communément attendus des épidémies d'arboviroses (par exemple les impacts sur la santé ou le système de santé), mais aussi des impacts qui le seraient moins (comme ceux relatifs au logement). Il peut également exister des boucles de rétroactions entre les différents impacts (ce qui signifie que certains impacts peuvent exercer une influence sur d'autres). De plus, le GT rappelle deux limites au travail réalisé : d'une part, la littérature portant sur un contexte similaire à celui de l'Hexagone étant très limitée, l'évaluation des impacts (attendus) est par conséquent marquée par des incertitudes (ces incertitudes ont fait l'objet d'une analyse dans le rapport) ; d'autre part, le GT n'est pas en mesure d'établir des relations de causalité et de quantifier l'ampleur et la durée des impacts dans l'état actuel des méthodes et des données disponibles.

Le GT a rapporté, parmi les impacts, des mesures prises par les acteurs concernés par la gestion de l'épidémie sur la base d'expériences passées. Ces mesures n'ont pas toutes fait l'objet d'une évaluation et le fait que le GT les mentionne ne constitue pas une recommandation à les mettre en œuvre.

Le GT interpelle les décideurs sur l'importance de collecter les données qui sous-tendent les impacts observés lors d'épisodes d'épidémies pour mieux mesurer les impacts et mieux appréhender les épisodes futurs.

6.2 Recommandations

Sur la base de ses travaux, le GT souhaite émettre des recommandations. Les recommandations visent à réduire la probabilité d'apparition et l'ampleur de la transmission autochtone ou à limiter les impacts de cette transmission. Toute action visant à limiter la transmission contribue à en réduire l'impact.

Les recommandations se déclinent d'abord en recommandations générales (recommandations 1 à 5), puis en recommandations qui se distinguent par le moment de l'action et le moment des effets attendus de cette action (recommandations 6 à 16), et enfin en recommandations concernant les besoins de recherche ou d'évaluation (recommandations 17 à 23).

6.2.1 Recommandations générales

Recommandation 1 – S'appuyer sur l'expérience des DROM

Dans l'évaluation des impacts, le GT s'est heurté à un manque de données dans des contextes comparables à l'Hexagone. Il recommande de valoriser davantage les données relatives à l'expérience des DROM sur les arboviroses pour bâtir et adapter les solutions à mettre en œuvre dans l'Hexagone.

Recommandation 2 – Élaborer un plan interministériel

Plusieurs institutions ont déjà produit des recommandations pour la prévention et le contrôle des épisodes de transmission autochtone d'arbovirus transmis par *Aedes albopictus* (Rapport COVARIS du 3 avril 2023, Rapport parlementaire de Naillat et Ali de juillet 2020), Rapports Anses¹⁰⁶ par exemple). La diversité des institutions sollicitées illustre la pluralité des acteurs concernés. Dans la continuité des recommandations déjà émises, le GT appelle à l'élaboration d'un plan interministériel pour l'Hexagone pour lutter contre les arboviroses, impliquant également les acteurs décentralisés.

Recommandation 3 – Veiller aux inégalités en temps d'épidémie

En amont des crises et en cas de crise, le GT recommande d'assurer l'accès des personnes les plus vulnérables : (i) aux moyens de lutte (répulsifs, produits de santé) (ii) aux soins et (iii) à l'information relative aux arboviroses.

Recommandation 4 – Tenir compte des changements globaux

Le risque d'arbovirose augmente avec les changements climatiques et autres changements globaux dans certaines zones géographiques, dont l'Hexagone.

Le GT recommande de rechercher les synergies et d'identifier les antagonismes qui peuvent exister entre la lutte contre les changements globaux (comme certaines mesures d'adaptation aux changements climatiques) et celle contre les arboviroses, afin d'optimiser et de mettre en cohérence l'ensemble des actions et des normes.

¹⁰⁶ [Tout comprendre sur les vecteurs et les enjeux de lutte | Anses - Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail](#)

En particulier, le GT recommande d'améliorer les connaissances sur :

- les impacts des mesures d'adaptation et d'atténuation des changements globaux sur les arboviroses (par ex. la végétalisation des villes, le stockage de l'eau, le développement de trames vertes, bleues et noires) ;
- les interactions entre virus et vecteurs en fonction des températures.

Recommandation 5 – Mettre en place un comité de suivi des recommandations

Le GT s'est attaché à proposer des recommandations pour limiter l'ampleur des transmissions autochtones à venir et leurs impacts, sans viser l'exhaustivité. Ces recommandations sont ciblées et complémentaires à celles déjà émises par les différentes institutions citées ci-dessus. Le GT appelle à la mise en place d'un comité de suivi de toutes ces recommandations.

6.2.2 (In)former et (ré)agir aujourd'hui

Recommandation 6 – Sensibiliser davantage la population

Parce que l'apparition et la diffusion des arboviroses et leurs impacts sont notamment déterminés par le niveau de sensibilisation de l'ensemble de la société, le GT recommande de davantage sensibiliser au risque d'arbovirose et aux mesures de protection collective et individuelle (suppression des gîtes larvaires, conduite à tenir en cas de maladie, utilisation de répulsifs, port de vêtements longs, etc.) :

- les élus et agents des collectivités territoriales ;
- les élus nationaux, les différents ministères et les acteurs décentralisés de ces ministères ;
- l'ensemble des professionnels de santé ;
- la population générale.

Afin de limiter l'impact des arboviroses sur le système de soins, il importe que les médecins et les patients sachent reconnaître les symptômes d'une arbovirose, qu'ils connaissent la conduite à tenir et qu'ils sachent identifier les facteurs de gravité et les premiers signes d'une forme sévère. Cette connaissance peut passer par différentes actions : favoriser les échanges entre les acteurs des soins ou mettre en place des formations spécifiques pour les individus et les professionnels des soins par exemple, pour une détection rapide des cas et une réaction adaptée au contexte.

Le GT recommande également de développer la prévention des arboviroses à l'école, à travers la mise en place et le financement de programmes d'éducation à la santé et de sensibilisation sur les arboviroses et le risque vectoriel en général.

Le secteur associatif pourra jouer un rôle dans la sensibilisation de la population.

Le GT recommande de développer des outils ou des supports de sensibilisation permettant de diffuser une information adaptée à ces différents publics.

Cette sensibilisation contribuera à améliorer la réactivité des acteurs à toutes les étapes de prévention et de contrôle, afin de rompre la chaîne de transmission suite à la détection de premiers cas d'arbovirose.

Recommandation 7 – Coordonner les acteurs de la surveillance

Le présent rapport met en évidence l'apport et l'importance de la surveillance des vecteurs et des arbovirus dans le contrôle de la transmission autochtone. Le GT recommande de favoriser la coordination des acteurs, des actions et des moyens impliqués dans la surveillance entomologique et humaine.

Cette coordination devra s'appuyer sur l'optimisation des outils déjà utilisés (Voozarbo, SI-LAV, site internet Signalement-moustique).

Recommandation 8 – Éviter la saturation des moyens de LAV

Afin d'éviter la saturation des moyens de LAV, compte-tenu des niveaux de tension déjà observés (en 2022, 2023 et 2024), de l'impact des transmissions autochtones sur les acteurs de la LAV et de l'importance de la LAV dans les facteurs d'apparition et d'ampleur d'une épidémie, le GT recommande :

- de recenser les moyens humains et matériels disponibles à l'échelle nationale et de tenir ces informations à jour ;
- d'être en capacité d'augmenter les moyens de LAV en cas de besoin ;
- d'anticiper et de renforcer si nécessaire les effectifs d'agents formés pour répondre efficacement à l'évolution des besoins ;
- de mutualiser les ressources humaines et le matériel à l'échelle nationale, voire internationale en cas de crise importante, et d'intégrer ces mutualisations dans les futurs plans ORSEC-LAV, en s'appuyant sur :
 - une vigilance relative à la disponibilité des opérateurs multirégions si les interventions se multiplient dans différents territoires dont ils sont opérateurs ;
 - une équipe nationale de « réservistes » mobilisables en renfort des OpD au niveau national ;
 - une mutualisation éventuelle des moyens de LAV à l'international (à l'image, par exemple, des interventions de pompiers étrangers lors des incendies dans les Landes de l'été 2022).
- d'anticiper les arbitrages qui devraient être réalisés au sein des actions de prévention et de contrôle (priorisation des lieux d'intervention autour des cas) ou entre les arboviroses et les autres crises sanitaires, en cas de crises concomitantes ou de saturation des moyens.

Le niveau de risque lié aux arboviroses évolue dans le temps et dans l'espace.

A plus long terme, le GT recommande de redimensionner les moyens de LAV à l'échelle d'une zone géographique en fonction du niveau de risque, le cas échéant sur la base des travaux réalisés sur les cartes de risque.

Recommandation 9 – Réduire les facteurs de risque de formes sévères de la maladie

L'impact d'une épidémie d'arbovirose sur l'état de santé de la population est fortement déterminé par les formes graves, les formes chroniques et les séquelles de la maladie (cf. section 4.2.4). Le GT recommande de mettre en place un suivi des patients

développant des formes graves, chroniques ou avec séquelles. La lutte contre les facteurs de risque de formes sévères contribuera à en réduire l'incidence et donc à réduire l'impact des arboviroses sur l'état de santé.

Recommandation 10 – Développer la coopération médecine de ville-hôpital

Les services d'urgence et la médecine ambulatoire sont les secteurs les plus touchés en cas d'épidémie. Afin d'optimiser la prise en charge, le GT recommande de prévoir et d'établir un schéma de coopération entre la médecine de ville et l'hôpital pour une coordination des prises en charge selon les besoins des patients. Cette coopération doit inclure l'ensemble des parties prenantes des soins : laboratoires, pharmacies, médecins de ville et centres de santé, sociaux et médico-sociaux.

Recommandation 11 – Anticiper les stocks nécessaires de moyens de protection, de produits de santé et du corps humain

Le GT recommande de mener une réflexion sur les stocks de produits (médicaments, répulsifs, moustiquaires notamment) nécessaires en cas d'épidémie pour assurer leur disponibilité et les rendre accessibles à tous en cas de crise.

Le GT recommande une disposition similaire pour les produits du corps humain (sang, tissus organes).

Recommandation 12 – Envisager des politiques publiques d'accompagnement économique

Une épidémie massive d'arbovirose pourrait avoir un impact significatif sur certains secteurs économiques, notamment le tourisme (cf. section 4.2.6). Le GT recommande d'évaluer l'opportunité d'éventuelles politiques publiques de soutien aux secteurs touchés.

L'opportunité du recours à une adaptation des modalités de travail (par exemple recours au chômage technique) en cas de crise majeure devrait être évaluée.

Une épidémie d'arbovirose est susceptible d'ouvrir des opportunités pour certains acteurs économiques dans le domaine de la prévention ou la protection de ces nouveaux risques dans l'Hexagone (cf. section 4.2.6). Le GT recommande d'anticiper ces opportunités et d'encadrer les pratiques des acteurs concernés dans le développement de ces marchés.

Recommandation 13 – Soutenir la scolarité des élèves et étudiants

Une épidémie d'arbovirose est susceptible d'avoir un impact sur la scolarité des élèves et des étudiants (cf. section 4.2.7). Le GT recommande de prévoir un accompagnement scolaire ponctuel en cas de fermeture d'école et un système de remplacements en cas de personnel manquant.

Recommandation 14 – Informer en toute transparence pour instaurer la confiance

En cas d'épidémie, la diffusion de l'information a un impact sur l'attitude et le comportement de la population et appelle à une attention particulière sur la diffusion des informations (cf. section 4.2.9).

Le GT recommande de rendre visibles les instances publiques d'information, et en particulier de faciliter l'identification des sites officiels et des autres sites, notamment à visée commerciale.

Recommandation 15 – Associer les citoyens à la lutte contre les arboviroses

Le GT recommande de mettre en place des instances de concertation avec les citoyens dans le cadre de la lutte contre les arboviroses.

Le GT recommande également le développement et la consolidation des sciences citoyennes, en s'appuyant notamment sur le site internet signalement-moustique.anses.fr.

Recommandation 16 – Coordonner les politiques et la veille à l'échelle mondiale

La situation épidémiologique mondiale affecte directement la situation hexagonale et la coordination des politiques à l'échelle mondiale permettra d'atténuer les impacts des arboviroses. La surveillance et le contrôle de ces maladies doivent alors s'organiser dans le cadre de collaborations internationales.

Compte tenu de l'épidémiologie mondiale, qui peut évoluer rapidement et de la variété des souches virales des arbovirus, le GT recommande de s'assurer de la mise en place d'une veille internationale efficace incluant la surveillance des souches virales et d'y consacrer les moyens nécessaires.

6.2.3 En matière de recherche et d'évaluation

Recommandation 17 – Stabiliser les moyens de la recherche et assurer sa pérennité

Le GT recommande de planifier des financements pérennes de la recherche relative aux arboviroses sur le long terme, d'assurer la pérennité des équipes de recherche et de former sur le long terme des professionnels pluridisciplinaires pour réagir à de nouvelles problématiques liées aux arboviroses.

Le GT recommande de maintenir une vigilance sur l'effet d'éviction des autres thèmes de recherche en cas d'épidémie, une crise étant susceptible de mobiliser des financements dédiés.

Le GT s'est heurté à plusieurs reprises au manque de données pour conduire son analyse, ce qui le conduit à proposer des recommandations sur l'évaluation et la recherche. Le développement des recherches citoyennes (évoquées dans la recommandation 15) s'intègre dans ces programmes de recherche.

Recommandation 18 – Mieux connaître les facteurs d'apparition et d'ampleur

Les travaux réalisés ont mis en évidence un manque de données concernant les facteurs influençant la transmission autochtone d'arbovirose en région tempérée.

Le GT recommande d'améliorer les connaissances existantes en menant des recherches sur :

- les facteurs d'apparition et d'ampleur identifiés lors des saisons de transmission les plus récentes ;
- les facteurs socio-environnementaux d'exposition au risque vectoriel ;
- les comportements favorisant la contamination ;
- la perception du risque lié aux arboviroses par la population ;
- les impacts des mesures d'adaptation et d'atténuation des changements globaux sur les arboviroses.

L'intégration des données collectées par les outils optimisés de surveillance (cf. recommandation 7) permettront de mieux caractériser le risque et d'acquérir des connaissances sur ses variations temporelles, géographiques et sociales. Ces connaissances pourraient permettre de développer un outil d'aide à la décision à l'échelle territoriale.

Recommandation 19 – Mieux documenter les impacts des arboviroses

Les impacts de cette transmission sont très peu documentés. Le GT s'est donc essentiellement appuyé sur des dires d'experts pour décrire ces impacts. Afin de pallier ce manque, le GT recommande d'améliorer les connaissances existantes en documentant mieux les impacts observés dans les DROM (cf. recommandation 1).

Le GT recommande de mettre en place des programmes de recherche spécifiques sur l'évaluation du coût et des impacts des arboviroses (par exemple par une estimation des DALYS ou une mesure de l'impact sur le tourisme ou l'absence à l'école) et d'encourager la publication des recherches menées sur les impacts des arboviroses.

Recommandation 20 – Évaluer les actions de lutte contre les arboviroses

Le GT recommande d'améliorer les connaissances existantes quant aux actions de lutte en menant des recherches sur :

- l'information de la population, la communication et la médiation sociale en lien avec la LAV pour la rendre plus efficace ;
- l'efficacité, le coût, les effets non intentionnels des différentes actions de LAV ;
- le développement et l'évaluation de nouveaux outils et stratégies pour la surveillance et le contrôle des moustiques *Aedes*, et en particulier la mesure de l'efficacité entomologique des nouveaux outils de LAV (pièges, technique de l'insecte stérile/incompatible, etc.) en conditions opérationnelles ;
- les attentes de la population vis-à-vis des moyens de lutte, dans un contexte d'augmentation du nombre de cas et d'interventions de LAV dans l'Hexagone.

Concernant en particulier, les impacts sanitaires et environnementaux de la lutte chimique, ils restent un point d'attention majeur. Le GT a pu constater à plusieurs reprises, et partage, les inquiétudes des acteurs de terrain à ce sujet. Ces inquiétudes

concernent l'impact environnemental (impact sur la biodiversité d'un traitement non spécifique du moustique tigre) et sanitaire (pour les populations, notamment les travailleurs) des traitements répétés. Compte tenu des effets des traitements de LAV, des demandes sociales concernant la toxicité (potentielle ou avérée) de ces produits, et de l'intérêt de cette évaluation dans un objectif de préservation de la biodiversité, le GT appelle à un travail spécifique qui porterait sur l'ensemble des vecteurs concernés par la LAV et l'ensemble des effets sanitaires et environnementaux non intentionnels de la LAV.

Recommandation 21 – Mieux connaître les maladies

Le GT a identifié des domaines dans lesquels l'acquisition des connaissances sur les maladies serait nécessaire pour mieux lutter contre les arboviroses :

- la pathogénèse liée aux différentes souches/lignées de virus circulantes, notamment pour le virus Zika ;
- les facteurs de gravité des arboviroses ;
- les modes de transmission non vectorielle (cf. Section 2.3) ;
- les effets à long terme des maladies (en matière de handicap ou sur le développement des enfants après infection *in utero*).

Recommandation 22 – Mesurer et développer la réponse du système de soins

Le GT recommande :

- le recueil des données d'activité du système de soins pour prendre en charge les malades atteints d'arboviroses afin de mesurer l'impact de la maladie sur le système de soins ;
- le développement, l'évaluation et la définition de stratégies de traitements prophylactiques et thérapeutiques contre les arboviroses (antiviraux, anticorps neutralisants, vaccins, etc.) pour atténuer l'impact des arboviroses sur le système de soins ;
- le développement et l'établissement d'une stratégie d'utilisation de tests de diagnostic rapide pour réduire le délai entre les signes cliniques et le diagnostic et améliorer la spécificité des outils diagnostiques.

Recommandation 23 – Évaluer les politiques d'accompagnement

Le GT recommande d'évaluer :

- les éventuelles politiques publiques d'accompagnement de l'activité économique (cf. recommandation 12) ;
- l'efficacité des politiques de soutien aux populations les plus vulnérables (y compris en matière de handicap).

Date de validation du rapport d'expertise collective par le groupe de travail et par le CES ASE « Analyse socio-économique » : 4 juillet 2024

[La version papier signée par les président du GT et du CES est gardée dans le dossier d'archives de la saisine]

7 Bibliographie

- AbuBakar, Sazaly, Sharifa Ezat Wan Puteh, Randee Kastner, Louisa Oliver, Shi Hao Lim, Riona Hanley, et Elaine Gallagher. 2022. « Epidemiology (2012-2019) and Costs (2009-2019) of Dengue in Malaysia: A Systematic Literature Review. » *International Journal of Infectious Diseases: IJID: Official Publication of the International Society for Infectious Diseases* 124 (novembre):240-47. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2022.09.006>.
- Abud, Denise Alves, Claudia Yang Santos, Abner Augusto Lobao Neto, Juliana Tosta Senra, et Suely Tuboi. 2022. « Real World Data Study of Prevalence and Direct Costs Related to Dengue Management in Brazil's Private Healthcare from 2015 to 2020. » *The Brazilian Journal of Infectious Diseases: An Official Publication of the Brazilian Society of Infectious Diseases* 26 (6): 102718. <https://doi.org/10.1016/j.bjid.2022.102718>.
- Acemoglu, Daron, Victor Chernozhukov, Iván Werning, et Michael D. Whinston. 2021. « Optimal Targeted Lockdowns in a Multigroup SIR Model ». *American Economic Review: Insights* 3 (4): 487-502. <https://doi.org/10.1257/aeri.20200590>.
- Afssa. 2008. « Une méthode qualitative d'évaluation du risque en santé animale - a qualitative risk assessment method in animal health ». Maisons-Alfort, France: Afssa.
- Akbar, Naeema A., Abdullah M. Assiri, Omima I. Shabouni, Osama M. Alwafi, Rajaa Al-Raddadi, Mohamad H Alzahrani, Esam I. Azhar, Ashraf Amir, Abdullah M. Aljiffri, et Abdulhakeem O. Althaqafi. 2020. « The Economic Burden of Dengue Fever in the Kingdom of Saudi Arabia. » *PLoS Neglected Tropical Diseases* 14 (11): e0008847. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0008847>.
- Algan, Yann, Camille Hémet, et David D. Laitin. 2016. « The Social Effects of Ethnic Diversity at the Local Level: A Natural Experiment with Exogenous Residential Allocation ». *Journal of Political Economy* 124 (3): 696-733. <https://doi.org/10.1086/686010>.
- Allard, Antoine, Benjamin M. Althouse, Samuel V. Scarpino, et Laurent Hébert-Dufresne. 2017. « Asymmetric Percolation Drives a Double Transition in Sexual Contact Networks ». *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 114 (34): 8969-73. <https://doi.org/10.1073/pnas.1703073114>.
- Almond, Douglas, Janet Currie, et Valentina Duque. 2018. « Childhood Circumstances and Adult Outcomes: Act II ». *Journal of Economic Literature* 56 (4): 1360-1446. <https://doi.org/10.1257/jel.20171164>.
- Amraoui, Fadila, Marie Vazeille, et Anna Bella Failloux. 2016. « French Aedes Albopictus Are Able to Transmit Yellow Fever Virus ». *Eurosurveillance* 21 (39): 30361. <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2016.21.39.30361>.
- Angelini, R., A. C. Finarelli, P. Angelini, C. Po, K. Petropulacos, G. Silvi, P. Macini, et al. 2007. « Chikungunya in North-Eastern Italy: A Summing up of the Outbreak ». *Weekly Releases (1997-2007)* 12 (47): 3313. <https://doi.org/10.2807/esw.12.47.03313-en>.
- Anses. 2020. « Avis de l'Anses relatif à l'évaluation du rapport bénéfice risque des pratiques de lutte anti-vectorielle habituellement mises en oeuvre pour lutter contre la dengue, dans le contexte actuel de confinement global (saisine 2020-SA-0057) ». Maisons-Alfort: Anses. <https://www.anses.fr/fr/content/la-lutte-contre-le-covid-19-ne-doit-pas-occulter-les-risques-li%C3%A9s-aux-%C3%A9pid%C3%A9mies-de-dengue>.

- . 2024. « Avis de l'Anses relatif à la priorisation des lieux fréquentés par les cas importés d'arbovirose pour la réalisation des prospections entomologiques et des actions de lutte antivectorielle (2022-AST-0103) ». Maisons-Alfort: Anses. <https://www.anses.fr/fr/system/files/SABA2022AST0103.pdf>.
- Aoustin, T. 2012. « [Chikungunya and urban sprawl on Reunion Island]. » *Medecine tropicale : revue du Corps de sante colonial* 72 Spec No (mars):51-59.
- Arbex, Alberto Kravayem, Vagner Rosa Bizarro, Mikele Torino Paletti, Odirlei Joanir Brandt, Ana Luísa Conceição de Jesus, Ian Werner, Luiggi Miguez Dantas, et Mirella Hansen de Almeida. 2016. « Zika Virus Controversies: Epidemics as a Legacy of Mega Events? » *Health* 8 (7): 711-22. <https://doi.org/10.4236/health.2016.87074>.
- Atalay, Kadir, et Rebecca Edwards. 2022. « House prices, housing wealth and financial well-being ». *Journal of Urban Economics* 129 (mai):103438. <https://doi.org/10.1016/j.jue.2022.103438>.
- Aubry, Fabien, Sofie Jacobs, Maïlis Darmuzey, Sebastian Lequime, Leen Delang, Albin Fontaine, Natapong Jupatanakul, et al. 2021. « Recent African Strains of Zika Virus Display Higher Transmissibility and Fetal Pathogenicity than Asian Strains ». *Nature Communications* 12 (1): 916. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-21199-z>.
- Aubry, Maïte, Anita Teissier, Claudine Roche, Vaea Richard, Aurore Shan Yan, Karen Zisou, Eline Rouault, et al. 2015. « Chikungunya Outbreak, French Polynesia, 2014 ». *Emerging Infectious Diseases* 21 (4): 724-26. <https://doi.org/10.3201/eid2104.141741>.
- Audifax, Bertho. 2006. « Rapport d'information de la commission des affaires culturelles sur l'épidémie à virus chikungunya à La Réunion et à Mayotte ». 3242. Assemblée Nationale. <https://www.assemblee-nationale.fr/12/rap-info/i3242.asp>.
- Bailey, Donald B. Jr, et Liana O. Ventura. 2018. « The Likely Impact of Congenital Zika Syndrome on Families: Considerations for Family Supports and Services. » *Pediatrics* 141 (Suppl 2): S180-87. <https://doi.org/10.1542/peds.2017-2038G>.
- Bajos, Nathalie, Jeanna-Eve Franck, Emilie Council, Florence Jusot, Ariane Pailhé, Alexis Spire, Claude Martin, et al. 2021. « Social Inequalities and Dynamics of the COVID-19 Epidemic: Evidence from France ». SSRN Scholarly Paper. Rochester, NY. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3792188>.
- Bajos, Nathalie, Alexis Spire, Léna Silberzan, Antoine Sireyjol, Florence Jusot, Laurence Meyer, Jeanna-Eve Franck, et al. 2022. « When Lack of Trust in the Government and in Scientists Reinforces Social Inequalities in Vaccination Against COVID-19 ». *Frontiers in Public Health* 10 (juillet). <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.908152>.
- Bajos, Nathalie, Josiane Warszawski, Ariane Pailhé, Emilie Council, Florence Jusot, Alexis Spire, Claude Martin, et al. 2020. « Les inégalités sociales au temps du Covid-19 ». *Questions de santé publique*, n° 40 (octobre), 1.
- Balavoine, Stephanie, Mathilde Pircher, Bruno Hoen, Cecile Herrmann-Storck, Fatiha Najioullah, Benjamin Madeux, Aissatou Signate, et al. 2017. « Guillain-Barré Syndrome and Chikungunya: Description of All Cases Diagnosed during the 2014 Outbreak in the French West Indies ». *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 97 (2): 356-60. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.15-0753>.
- Barzon, Luisa, Federico Gobbi, Gioia Capelli, Fabrizio Montarsi, Simone Martini, Silvia Riccetti, Alessandro Sinigaglia, et al. 2021. « Autochthonous dengue outbreak in Italy 2020: clinical, virological and entomological findings ».

- Journal of Travel Medicine* 28 (8): taab130. <https://doi.org/10.1093/jtm/taab130>.
- Bastos, Maria Luiza Almeida, Francileudo Santos de Abreu, et Geraldo Bezerra da Silva Junior. 2018. « Inability to Work Due to Chikungunya Virus Infection: Impact on Public Service during the First Epidemic in the State of Ceará, Northeastern Brazil. » *The Brazilian Journal of Infectious Diseases : An Official Publication of the Brazilian Society of Infectious Diseases* 22 (3): 248-49. <https://doi.org/10.1016/j.bjid.2018.05.002>.
- Basurko, Célia, Najeh Hcini, Magalie Demar, Philippe Abboud, null The CMFdeng Study Group, Mathieu Nacher, Gabriel Carles, Véronique Lambert, et Séverine Matheus. 2022. « Symptomatic Chikungunya Virus Infection and Pregnancy Outcomes: A Nested Case-Control Study in French Guiana ». *Viruses* 14 (12): 2705. <https://doi.org/10.3390/v14122705>.
- Basurko, Célia, Séverine Matheus, Hélène Hildéral, Sibille Everhard, Marion Restrepo, Emma Cuadro-Alvarez, Véronique Lambert, et al. 2018. « Estimating the Risk of Vertical Transmission of Dengue: A Prospective Study ». *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 98 (6): 1826-32. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.16-0794>.
- Baud, David, Duane J Gubler, Bruno Schaub, Marion C Lanteri, et Didier Musso. 2017. « An update on Zika virus infection ». *The Lancet* 390 (10107): 2099-2109. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)31450-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)31450-2).
- Benita, Francisco, Leonardo Rebollar-Ruelas, et Edgar David Gaytán-Alfaro. 2022. « What have we learned about socioeconomic inequalities in the spread of COVID-19? A systematic review ». *Sustainable Cities and Society* 86 (novembre):104158. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104158>.
- Black, W.C., et C.G. Moore. 1996. « Population Biology as a Tool for Studying Vector-Borne Diseases. » In *The Biology of Disease Vectors.*, Beaty, B.J., Marquardt, W.C., eds, 393-416. Niwot, CO: University Press of Colorado.
- Blanchard, Raphaël. 1917. « Le danger du paludisme et de la fièvre jaune en France ; moyens de l'éviter ». *Bulletin de l'Académie nationale de médecine*, 1917, sect. 77.
- Bley, Daniel, Ghozlane Fleury-Bahi, Clara Galland, Manuel Hefti, Marie-Jo Menozzi, Oscar Navarro, Dominique Pécaud, Frédéric Simard, A Tallec, et Nicole Vernazza-Licht. 2023. « Pratiques et logiques d'action en matière de lutte anti-vectorielle : principaux résultats d'une recherche interdisciplinaire sur l'implantation du moustique tigre sur la façade atlantique (Loire-Atlantique, Vendée) ». *non publié*.
- Bloch, Evan M., Paul M. Ness, Aaron A.R. Tobian, et Jeremy Sugarman. 2018. « Revisiting Blood Safety Practices Given Emerging Data about Zika Virus ». *New England Journal of Medicine* 378 (19): 1837-41. <https://doi.org/10.1056/NEJMs1704752>.
- Blundell, Richard, Monica Costa Dias, Jonathan Cribb, Robert Joyce, Tom Waters, Tom Wernham, et Xiaowei Xu. 2022. « Inequality and the Covid Crisis in the United Kingdom ». Working Paper. <https://ifs.org.uk/publications/inequality-and-covid-crisis-united-kingdom>.
- Boeras, Debi, Cheikh Tidiane Diagne, Jose L. Pelegrino, Marc Grandadam, Veasna Duong, Philippe Dussart, Paul Brey, et al. 2022. « Evaluation of Zika Rapid Tests as Aids for Clinical Diagnosis and Epidemic Preparedness ». *EClinicalMedicine* 49:101478. <https://doi.org/10.1016/j.eclinm.2022.101478>.
- Bohers, Chloé, Marie Vazeille, Lydia Bernaoui, Luidji Pascalín, Kevin Meignan, Laurence Mousson, Georges Jakerian, Anaïs Karch, Xavier de Lamballerie, et Anna-Bella Failloux. 2024. « *Aedes albopictus* Is a Competent Vector of

- Five Arboviruses Affecting Human Health, Greater Paris, France, 2023 ». *Eurosurveillance* 29 (20): 2400271. <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2024.29.20.2400271>.
- Bonnet, Florian, et Hippolyte d'Albis. 2020. « Spatial Inequality in Mortality in France over the Past Two Centuries - Bonnet - 2020 - Population and Development Review - Wiley Online Library ». février 2020. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/padr.12318>.
- Bonnet, Florian, Pavel Grigoriev, Markus Sauerberg, Ina Alliger, Michael Mühlichen, et Carlo-Giovanni Camarda. 2024. « Beyond Borders: Spatial Disparities in the Mortality Burden of the Covid-19 Pandemic across 569 European Regions (2020-2021) ». medRxiv. <https://doi.org/10.1101/2023.12.18.23300149>.
- Boucekkine, Raouf, Rodolphe Desbordes, et Hélène Latzer. 2009. « How Do Epidemics Induce Behavioral Changes? » *Journal of Economic Growth* 14 (3): 233-64. <https://doi.org/10.1007/s10887-009-9042-1>.
- Brady, Oliver J., Peter W. Gething, Samir Bhatt, Jane P. Messina, John S. Brownstein, Anne G. Hoen, Catherine L. Moyes, Andrew W. Farlow, Thomas W. Scott, et Simon I. Hay. 2012. « Refining the Global Spatial Limits of Dengue Virus Transmission by Evidence-Based Consensus ». *PLoS Neglected Tropical Diseases* 6 (8): e1760. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0001760>.
- Brandily, Paul, Clément Brébion, Simon Briole, et Laura Khoury. 2021. « A Poorly Understood Disease? The Impact of COVID-19 on the Income Gradient in Mortality over the Course of the Pandemic ». *European Economic Review* 140 (novembre):103923. <https://doi.org/10.1016/j.euroecorev.2021.103923>.
- Briegel, Hans, et Susanne E. Timmermann. 2001. « Aedes albopictus (Diptera: Culicidae): Physiological Aspects of Development and Reproduction ». *Journal of Medical Entomology* 38 (4): 566-71. <https://doi.org/10.1603/0022-2585-38.4.566>.
- Brito da Cruz, A.M.C., et H.S. Rodrigues. 2021. « Economic Burden of Personal Protective Strategies for Dengue Disease: an Optimal Control Approach ». Édité par Pereira A.I., Fernandes F.P., Coelho J.P., Teixeira J.P., Pacheco M.F., Alves P., et Lopes R.P. *Communications in Computer and Information Science* 1488 CCIS:319-35. https://doi.org/10.1007/978-3-030-91885-9_23.
- Brouard, Cécile, Pascale Bernillon, Isabelle Quatresous, Josiane Pillonel, Azzedine Assal, Henriette De Valk, Jean-Claude Desenclos, et workgroup « Quantitative Estimation of the Risk of Blood Donation Contamination by Infectious Agents ». 2008. « Estimated Risk of Chikungunya Viremic Blood Donation during an Epidemic on Reunion Island in the Indian Ocean, 2005 to 2007 ». *Transfusion* 48 (7): 1333-41. <https://doi.org/10.1111/j.1537-2995.2008.01646.x>.
- Brown, Christopher K., et Jill M. Shugart. 2019. « Zika Virus in Workers: Considerations for Ongoing Exposure Prevention ». *American Journal of Industrial Medicine* 62 (6): 455-59. <https://doi.org/10.1002/ajim.22978>.
- Brunkard, Joan Marie, Jose Luis Robles López, Josue Ramirez, Enrique Cifuentes, Stephen J. Rothenberg, Elizabeth A. Hunsperger, Chester G. Moore, Regina M. Brussolo, Norma A. Villarreal, et Brent M. Haddad. 2007. « Dengue Fever Seroprevalence and Risk Factors, Texas-Mexico Border, 2004 ». *Emerging Infectious Diseases* 13 (10): 1477-83. <https://doi.org/10.3201/eid1310.061586>.
- Bütikofer, Aline, et Kjell G Salvanes. 2020. « Disease Control and Inequality Reduction: Evidence from a Tuberculosis Testing and Vaccination Campaign ». *The Review of Economic Studies* 87 (5): 2087-2125. <https://doi.org/10.1093/restud/rdaa022>.

- Byaruhanga, Timothy, John T. Kayiwa, Annet M. Nankya, Irene J. Ataliba, C. Patrick McClure, Jonathan K. Ball, et Julius J. Lutwama. 2023. « Arbovirus Circulation, Epidemiology and Spatiotemporal Distribution in Uganda ». *IJID Regions* 6:171-76. <https://doi.org/10.1016/j.ijregi.2023.01.013>.
- Cage, Julia, Nicolas Herve, et Béatrice Mazoyer. 2022. « Social Media and Newsroom Production Decisions ». SSRN Scholarly Paper. Rochester, NY. <https://papers.ssrn.com/abstract=4144676>.
- Cailly, Priscilla, Annelise Tran, Thomas Balenghien, Grégory L'Ambert, Céline Toty, et Pauline Ezanno. 2012. « A Climate-Driven Abundance Model to Assess Mosquito Control Strategies ». *Ecological Modelling* 227:7-17. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2011.10.027>.
- Campelli, Gabriela Saravia, Esther García Expósito, María Cruz Calvo Reyes, Esteban Aznar Cano, M^a José Sierra Moros, et Fernando Simón. 2023. « Evaluación rápida de riesgo : Agrupación de casos de dengue autóctono en Ibiza ». Espagne: Centro de coordinacion de Alertas y Emergencias Sanitarias.
- Cao-Lormeau, Van-Mai, Alexandre Blake, Sandrine Mons, Stéphane Lastère, Claudine Roche, Jessica Vanhomwegen, Timothée Dub, et al. 2016. « Guillain-Barré Syndrome Outbreak Associated with Zika Virus Infection in French Polynesia: A Case-Control Study ». *Lancet (London, England)* 387 (10027): 1531-39. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)00562-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)00562-6).
- Carla da Silva Reis, Monique, Aline Carla Araújo Carvalho, Carolina Santos Souza Tavares, Victor Santana Santos, Hudson P. Jr Santos, et Paulo Ricardo Saquete Martins-Filho. 2020. « Changes in Occupational Roles and Common Mental Disorders in Mothers of Children With Congenital Zika Syndrome. » *The American Journal of Occupational Therapy: Official Publication of the American Occupational Therapy Association* 74 (1): 7401345010p1-5. <https://doi.org/10.5014/ajot.2019.035972>.
- Carrasco, Luis R., Linda K. Lee, Vernon J. Lee, Eng Eong Ooi, Donald S. Shepard, Tun L. Thein, Victor Gan, et al. 2011. « Economic Impact of Dengue Illness and the Cost-Effectiveness of Future Vaccination Programs in Singapore. » *PLoS Neglected Tropical Diseases* 5 (12): e1426. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0001426>.
- Carrat, Fabrice, Mathilde Touvier, Gianluca Severi, Laurence Meyer, Florence Jusot, Nathanael Lapidus, Delphine Rahib, et al. 2021. « Incidence and risk factors of COVID-19-like symptoms in the French general population during the lockdown period: a multi-cohort study ». *BMC Infectious Diseases* 21 (1): 169. <https://doi.org/10.1186/s12879-021-05864-8>.
- Carvajal, Pablo, Jo Anne G. Balanay, Sachiyo Shearman, et Stephanie L. Richards. 2022. « Facebook and Mosquito-Borne Disease Outbreaks: An Analysis of Public Responses to Federal Health Agencies' Posts about Dengue and Zika in 2016. » *PLOS Global Public Health* 2 (9): e0000977. <https://doi.org/10.1371/journal.pgph.0000977>.
- Carvalho, Marília Sá, Laís Picinini Freitas, Oswaldo Gonçalves Cruz, Patrícia Brasil, et Leonardo Soares Bastos. 2020. « Association of Past Dengue Fever Epidemics with the Risk of Zika Microcephaly at the Population Level in Brazil ». *Scientific Reports* 10 (1): 1752. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58407-7>.
- Cassadou, S., S. Boucau, M. Petit-Sinturel, P. Huc, I. Leparç-Goffart, et M. Ledrans. 2014. « Emergence of Chikungunya Fever on the French Side of Saint Martin Island, October to December 2013 ». *Euro Surveillance: Bulletin Europeen Sur Les Maladies Transmissibles = European Communicable Disease Bulletin* 19 (13): 20752. <https://doi.org/10.2807/1560-7917.es2014.19.13.20752>.

- Castañeda-Orjuela, Carlos, Hernando Díaz, Nelson Alvis-Guzman, Andres Olarte, Heidy Rodriguez, Guido Camargo, et Fernando De la Hoz-Restrepo. 2012. « Burden of Disease and Economic Impact of Dengue and Severe Dengue in Colombia, 2011. » *Value in Health Regional Issues* 1 (2): 123-28. <https://doi.org/10.1016/j.vhri.2012.09.014>.
- Castro, Marcia C., Qiuyi C. Han, Lucas R. Carvalho, Cesar G. Victora, et Giovanni V. A. França. 2018. « Implications of Zika Virus and Congenital Zika Syndrome for the Number of Live Births in Brazil. » *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 115 (24): 6177-82. <https://doi.org/10.1073/pnas.1718476115>.
- Castro, Marcia C., Mary E. Wilson, et David E. Bloom. 2017. « Disease and Economic Burdens of Dengue ». *The Lancet. Infectious Diseases* 17 (3): e70-78. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(16\)30545-X](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(16)30545-X).
- Cauchemez, Simon, Marianne Besnard, Priscillia Bompard, Timothée Dub, Prisca Guillemette-Artur, Dominique Eyrolle-Guignot, Henrik Salje, et al. 2016. « Association between Zika Virus and Microcephaly in French Polynesia, 2013-15: A Retrospective Study ». *Lancet (London, England)* 387 (10033): 2125-32. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)00651-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)00651-6).
- Cavailhès, Jean. 2018. « Prix des logements : Les « fondamentaux » à l'épreuve des faits ». <https://www.drm.dauphine.fr/fileadmin/mediatheque/drm/documents/Cavailhes.pdf>.
- CDC. 2023. « Chikungunya | CDC Yellow Book 2024 ». 2023. [https://wwwnc.cdc.gov/travel/yellowbook/2024/infections-diseases/chikungunya#:~:text=Approximately%203%25%E2%80%9328%25%20of,C%5D\)%20and%20joint%20pains](https://wwwnc.cdc.gov/travel/yellowbook/2024/infections-diseases/chikungunya#:~:text=Approximately%203%25%E2%80%9328%25%20of,C%5D)%20and%20joint%20pains).
- Cedano, Jorge Andrés, Bárbara Lucía Mora, Luis Gabriel Parra-Lara, Ramiro Manzano-Nuñez, et Fernando Rosso. 2019. « A Scoping Review of Transmission of Dengue Virus from Donors to Recipients after Solid Organ Transplantation ». *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene* 113 (8): 431-36. <https://doi.org/10.1093/trstmh/trz024>.
- Cerqueira-Silva, Thiago, Julia M. Pescarini, Luciana L. Cardim, Clémence Leyrat, Heather Whitaker, Carlos Alexandre Antunes de Brito, Elizabeth B. Brickley, et al. 2024. « Risk of Death Following Chikungunya Virus Disease in the 100 Million Brazilian Cohort, 2015-18: A Matched Cohort Study and Self-Controlled Case Series ». *The Lancet. Infectious Diseases*, S1473-3099(23)00739-9. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(23\)00739-9](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(23)00739-9).
- Chan, Kai Rol, Amni Adilah Ismail, Gaythri Thergarajan, Chandramathi Samudi Raju, Hock Chai Yam, Manikam Rishya, et Shamala Devi Sekaran. 2022. « Serological cross-reactivity among common flaviviruses ». *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology* 12. <https://doi.org/doi:10.3389/fcimb.2022.975398>.
- Chandley, Pankaj, Asha Lukose, Rajesh Kumar, et Soma Rohatgi. 2023. « An overview of anti-Chikungunya antibody response in natural infection and vaccine-mediated immunity, including anti-CHIKV vaccine candidates and monoclonal antibodies targeting diverse epitopes on the viral envelope ». *The Microbe* 1:100018. <https://doi.org/10.1016/j.microb.2023.100018>.
- Chen, Lin H., Carlos Marti, Clemente Diaz Perez, Bianca M. Jackson, Alyssa M. Simon, et Mei Lu. 2023. « Epidemiology and Burden of Dengue Fever in the United States: A Systematic Review. » *Journal of Travel Medicine*, octobre, taad127. <https://doi.org/10.1093/jtm/taad127>.

- Chen, Shengyao, Muhammad Saqib, Hafiz Sajid Khan, Yuan Bai, Usman Ali Ashfaq, Muhammad Khalid Mansoor, Abulimti Moming, et al. 2024. « Risk of Infection with Arboviruses in a Healthy Population in Pakistan Based on Seroprevalence ». *Virologica Sinica*, avril, S1995-820X(24)00037-3. <https://doi.org/10.1016/j.virs.2024.04.001>.
- Cheng, An, Tonghui Chen, Guogang Jiang, et Xinru Han. 2021. « Can Major Public Health Emergencies Affect Changes in International Oil Prices? » *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18 (24). <https://doi.org/10.3390/ijerph182412955>.
- Chiadmi, Ines, Sidnoma Abdoul Aziz Traoré, et Jean-Michel Salles. 2020. « Asian tiger mosquito far from home: Assessing the impact of invasive mosquitoes on the French Mediterranean littoral ». *Ecological Economics* 178 (décembre):106813. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106813>.
- Chikaki, Eriko, et Hirofumi Ishikawa. 2009. « A Dengue Transmission Model in Thailand Considering Sequential Infections with All Four Serotypes ». *Journal of Infection in Developing Countries* 3 (9): 711-22. <https://doi.org/10.3855/jidc.616>.
- Clark, Andrew E., Conchita D'Ambrosio, et Anthony Lepinteur. 2022. « Correction to: The Fall in Income Inequality during COVID-19 in Four European Countries ». *The Journal of Economic Inequality* 20 (2): 503-7. <https://doi.org/10.1007/s10888-021-09516-4>.
- CNEV. 2016a. « La mobilisation sociale contre *Aedes albopictus* - Inventaire des méthodes, outils et synthèses des expériences. » Centre national d'expertise sur les vecteurs.
- . 2016b. « La mobilisation sociale contre *Aedes albopictus* - Eléments pour la définition d'une stratégie ». Centre national d'expertise sur les vecteurs. https://www.anses.fr/fr/system/files/CNEV-Ft-Avril2016-Mobilisation_sociale_aedes_albopictus_elements_strategie.pdf.
- Cochet, Amandine, Clémentine Calba, Frédéric Jourdain, Gilda Grard, Guillaume André Durand, Anne Guinard, Investigation team, Harold Noël, Marie-Claire Paty, et Florian Franke. 2022. « Autochthonous Dengue in Mainland France, 2022: Geographical Extension and Incidence Increase ». *Eurosurveillance* 27 (44). <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2022.27.44.2200818>.
- Coelho, Flávio Codeço, Margaret Armstrong, Valeria Saraceni, et Cristina Lemos. 2017. « Can Zika Account for the Missing Babies? » *Frontiers in Public Health* 5:317. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00317>.
- Coelho, Flavio Codeço, Betina Durovni, Valeria Saraceni, Cristina Lemos, Claudia Torres Codeco, Sabrina Camargo, Luiz Max de Carvalho, et al. 2016. « Higher Incidence of Zika in Adult Women than Adult Men in Rio de Janeiro Suggests a Significant Contribution of Sexual Transmission from Men to Women ». *International Journal of Infectious Diseases* 51:128-32. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2016.08.023>.
- Constenla, Dagna, Cristina Garcia, et Noah Lefcourt. 2015. « Assessing the Economics of Dengue: Results from a Systematic Review of the Literature and Expert Survey. » *PharmacoEconomics* 33 (11): 1107-35. <https://doi.org/10.1007/s40273-015-0294-7>.
- Costa, Lourrany Borges, Francisca Kalline de Almeida Barreto, Marina Carvalho Arruda Barreto, Thyago Henrique Pereira Dos Santos, Maria de Margarete Oliveira de Andrade, Luís Arthur Brasil Gadelha Farias, André Ricardo Ribas de Freitas, Miguel Julian Martinez, et Luciano Pamplona de Góes Cavalcanti. 2023. « Epidemiology and Economic Burden of Chikungunya: A Systematic

- Literature Review ». *Tropical Medicine and Infectious Disease* 8 (6): 301. <https://doi.org/10.3390/tropicalmed8060301>.
- Couillard, Benjamin K., Christopher L. Foote, Kavish Gandhi, Ellen Meara, et Jonathan Skinner. 2021. « Rising Geographic Disparities in US Mortality ». *Journal of Economic Perspectives* 35 (4): 123-46. <https://doi.org/10.1257/jep.35.4.123>.
- Couturier, Elisabeth, Francis Guillemin, Marie Mura, Lucie Léon, Jean-Marc Virion, Marie-José Letort, Henriette De Valk, Fabrice Simon, et Véronique Vaillant. 2012. « Impaired quality of life after chikungunya virus infection: a 2-year follow-up study. » *Rheumatology (Oxford, England)* 51 (7): 1315-22. <https://doi.org/10.1093/rheumatology/kes015>.
- Crossley, Thomas F, Paul Fisher, Hamish Low, et Peter Levell. 2023. « A year of COVID: the evolution of labour market and financial inequalities through the crisis ». *Oxford Economic Papers* 75 (3): 589-612. <https://doi.org/10.1093/oep/gpac040>.
- Currie, Janet M. 2006. *The Invisible Safety Net: Protecting the Nation's Poor Children and Families*. Princeton University Press. <https://www.jstor.org/stable/j.ctt7t4rz>.
- Currie, Janet M., Hannes Schwandt, et Josselin Thuilliez. 2020. « Pauvreté, Égalité, Mortalité: Mortality (in)Equality in France and the United States ». *Journal of Population Economics* 33 (1): 197-231. <https://doi.org/10.1007/s00148-019-00736-7>.
- Daudens-Vaysse, Elise, Martine Ledrans, Noellie Gay, Vanessa Ardillon, Sylvie Cassadou, Fatiha Najioullah, Isabelle Leparç-Goffart, et al. 2016. « Zika Emergence in the French Territories of America and Description of First Confirmed Cases of Zika Virus Infection on Martinique, November 2015 to February 2016 ». *Euro Surveillence: Bulletin Européen Sur Les Maladies Transmissibles = European Communicable Disease Bulletin* 21 (28). <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2016.21.28.30285>.
- De Santis, Olga, Nicolas Bouscaren, et Antoine Flahault. 2023. « Asymptomatic Dengue Infection Rate: A Systematic Literature Review ». *Heliyon* 9 (9): e20069. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20069>.
- De Santis, Olga, Emilie Pothin, Nicolas Bouscaren, Seth R. Irish, Marie-Christine Jaffar-Bandjee, Luce Menudier, Julie Ramis, et al. 2023. « Investigation of Dengue Infection in Asymptomatic Individuals during a Recent Outbreak in La Réunion ». *Viruses* 15 (3): 742. <https://doi.org/10.3390/v15030742>.
- Deaton, Angus. 2003. « Health, Inequality, and Economic Development ». *Journal of Economic Literature* 41 (1): 113-58. <https://doi.org/10.1257/002205103321544710>.
- . 2021. « COVID-19 and Global Income Inequality ». Working Paper. Working Paper Series. National Bureau of Economic Research. <https://doi.org/10.3386/w28392>.
- DeFrancesco, Laura. 2016. « Zika Pipeline Progresses. » *Nature Biotechnology* 34 (11): 1084-86. <https://doi.org/10.1038/nbt1116-1084b>.
- Del Lesto, Irene, Claudio De Liberato, Riccardo Casini, Adele Magliano, Arianna Ermenegildi, et Federico Romiti. 2022. « Is Asian Tiger Mosquito (*Aedes Albopictus*) Going to Become Homodynamic in Southern Europe in the next Decades Due to Climate Change? » *Royal Society Open Science* 9 (12): 220967. <https://doi.org/10.1098/rsos.220967>.
- Delatte, Helene, Amelie Desvars, Anthony Bouétard, Séverine Bord, Geoffrey Gimonneau, Gwenaël Vourc'h, et Didier Fontenille. 2010. « Blood-Feeding Behavior of *Aedes Albopictus*, a Vector of Chikungunya on La Réunion ».

- Vector-Borne and Zoonotic Diseases* 10 (3): 249-58.
<https://doi.org/10.1089/vbz.2009.0026>.
- Delatte, Helene, C. Paupy, J. S. Dehecq, J. Thiria, A. B. Failloux, et D. Fontenille. 2008. « *Aedes albopictus*, vecteur des virus du chikungunya et de la dengue à la Réunion: biologie et contrôle ». *Parasite* 15 (1): 3-13.
<https://doi.org/10.1051/parasite/2008151003>.
- Delaunay, Pascal, Bruno Mathieu, Pierre Marty, Pierre Fauran, et Francis Schaffner. 2007. « Chronology of the development of *Aedes albopictus* in the Alpes-Maritimes Department of France, from 2002 to 2005 [2] ». *Medecine Tropicale* 67 (3): 310-11.
- Deryugina, Tatyana, et David Molitor. 2021. « The Causal Effects of Place on Health and Longevity ». *Journal of Economic Perspectives* 35 (4): 147-70.
<https://doi.org/10.1257/jep.35.4.147>.
- Dickinson, Katherine L., Mary H. Hayden, Steven Haenchen, Andrew J. Monaghan, Kathleen R. Walker, et Kacey C. Ernst. 2016. « Willingness to Pay for Mosquito Control in Key West, Florida and Tucson, Arizona. » *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 94 (4): 775-79.
<https://doi.org/10.4269/ajtmh.15-0666>.
- Diter, Kevin. 2021. « L'Explosion des inégalités. Classes, genre et générations face à la crise sanitaire. Anne Lambert et Joanie Cayouette-Remblière (dir.), 2021, La Tour-d'Aigues, Éditions de l'Aube, 448 pages ». *Revue des politiques sociales et familiales* 141 (4): 145-47. <https://doi.org/10.3917/rpsf.141.0145>.
- D'Lima, Walter, et Mark Thibodeau. 2022. « Health Crisis and Housing Market Effects - Evidence from the U.S. Opioid Epidemic ». *The Journal of Real Estate Finance and Economics*, janvier, 1-18. <https://doi.org/10.1007/s11146-021-09884-8>.
- Dorléans, Frédérique, Bruno Hoen, Fatiha Najjioullah, Cécile Herrmann-Storck, Kinda Maria Schepers, Sylvie Abel, Isabelle Lamaury, et al. 2018. « Outbreak of Chikungunya in the French Caribbean Islands of Martinique and Guadeloupe: Findings from a Hospital-Based Surveillance System (2013–2015) ». *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 98 (6): 1819-25.
<https://doi.org/10.4269/ajtmh.16-0719>.
- D'Ortenzio, Eric, Sophie Matheron, Xavier de Lamballerie, Bruno Hubert, Géraldine Piorkowski, Marianne Maquart, Diane Descamps, Florence Damond, Yazdan Yazdanpanah, et Isabelle Leparc-Goffart. 2016. « Evidence of Sexual Transmission of Zika Virus ». *New England Journal of Medicine* 374 (22): 2195-98. <https://doi.org/10.1056/NEJMc1604449>.
- Dran, Jenna. 2018. « A Unique Institutional Response to the Zika Virus Epidemic. » *Obstetrics and Gynecology* 131 (4): 666-70.
<https://doi.org/10.1097/AOG.0000000000002532>.
- Duffy, Mark R., Tai-Ho Chen, W. Thane Hancock, Ann M. Powers, Jacob L. Kool, Robert S. Lanciotti, Moses Pretrick, et al. 2009. « Zika Virus Outbreak on Yap Island, Federated States of Micronesia ». *The New England Journal of Medicine* 360 (24): 2536-43. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa0805715>.
- Duman-Scheel, Molly, Kathleen K. Eggleston, Nicole L. Achee, John P. Grieco, et Limb K. Hapairai. 2018. « Mosquito Control Practices and Perceptions: An Analysis of Economic Stakeholders during the Zika Epidemic in Belize, Central America ». *PloS One* 13 (7): e0201075.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201075>.
- Dumont, Y., et J. Thuilliez. 2016. « Human behaviors: A threat to mosquito control? » *Mathematical Biosciences* 281 (novembre):9-23.
<https://doi.org/10.1016/j.mbs.2016.08.011>.

- Duong, Veasna, Louis Lambrechts, Richard E. Paul, Sowath Ly, Rath Srey Lay, Kanya C. Long, Rekol Huy, et al. 2015. « Asymptomatic humans transmit dengue virus to mosquitoes ». *Proceedings of the National Academy of Sciences* 112 (47): 14688-93. <https://doi.org/10.1073/pnas.1508114112>.
- Duttine, Antony, Tracey Smythe, Míriam Ribiero Calheiro de Sá, Silvia Ferrite, Maria Zuurmond, Maria Elisabeth Moreira, Anna Collins, Kate Milner, et Hannah Kuper. 2020. « Congenital Zika Syndrome-Assessing the Need for a Family Support Programme in Brazil. » *International Journal of Environmental Research and Public Health* 17 (10). <https://doi.org/10.3390/ijerph17103559>.
- Duyen, Huynh T. L., Tran V. Ngoc, Do T. Ha, Vu T. T. Hang, Nguyen T. T. Kieu, Paul R. Young, Jeremy J. Farrar, Cameron P. Simmons, Marcel Wolbers, et Bridget A. Wills. 2011. « Kinetics of Plasma Viremia and Soluble Nonstructural Protein 1 Concentrations in Dengue: Differential Effects According to Serotype and Immune Status ». *The Journal of Infectious Diseases* 203 (9): 1292-1300. <https://doi.org/10.1093/infdis/jir014>.
- ECDC. 2017. « Factsheet about Chikungunya ». 2017. <https://www.ecdc.europa.eu/en/chikungunya/facts/factsheet>.
- . 2019. « Rapid Risk Assessment - Sexual Transmission of Dengue in Spain ». Stockholm: ECDC. <https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/rapid-risk-assessment-sexual-transmission-dengue-spain>.
- . 2021a. « Facts about Yellow Fever ». 2021. <https://www.ecdc.europa.eu/en/yellow-fever/facts>.
- . 2021b. « Threat Assessment Brief: Dengue Epidemic in Reunion, 2021 ». Stockholm: ECDC. <https://www.ecdc.europa.eu/sites/default/files/documents/Dengue-in-Reunion-5-May-2021.pdf>.
- . 2021c. « Zika Virus Disease - Annual Epidemiological Report for 2019 ». 2021. <https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/zika-virus-disease-annual-epidemiological-report-2019>.
- . 2023a. « Autochthonous Transmission of Chikungunya Virus in Mainland EU/EEA, 2007–Present ». 2023. <https://www.ecdc.europa.eu/en/infectious-disease-topics/z-disease-list/chikungunya-virus-disease/surveillance-threats-and>.
- . 2023b. « Factsheet about Dengue ». 2023. <https://www.ecdc.europa.eu/en/dengue-fever/facts>.
- . 2024. « Autochthonous Vectorial Transmission of Dengue Virus in Mainland EU/EEA, 2010-Present ». 2024. <https://www.ecdc.europa.eu/en/all-topics-z/dengue/surveillance-and-disease-data/autochthonous-transmission-dengue-virus-eueea>.
- Economopoulou, A., M. Dominguez, B. Helynck, D. Sissoko, O. Wichmann, P. Quenel, P. Germonneau, et I. Quatresous. 2009. « Atypical Chikungunya Virus Infections: Clinical Manifestations, Mortality and Risk Factors for Severe Disease during the 2005–2006 Outbreak on Réunion ». *Epidemiology and Infection* 137 (4): 534-41. <https://doi.org/10.1017/S0950268808001167>.
- Eritja, Roger, John R. B. Palmer, David Roiz, Isis Sanpera-Calbet, et Frederic Bartumeus. 2017. « Direct Evidence of Adult Aedes Albopictus Dispersal by Car ». *Scientific Reports* 7 (1): 14399. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-12652-5>.
- Feldstein, Leora R., Esther M. Ellis, Ali Rowhani-Rahbar, Morgan J. Hennessey, J. Erin Staples, M. Elizabeth Halloran, et Marcia R. Weaver. 2019. « Estimating the Cost of Illness and Burden of Disease Associated with the 2014-2015

- Chikungunya Outbreak in the U.S. Virgin Islands. » *PLoS Neglected Tropical Diseases* 13 (7): e0007563. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0007563>.
- Fernandes, Silke, Marcia Pinto, Letícia Barros, Maria Elisabeth Lopes Moreira, Thália Velho Barreto de Araújo, Tereza Maciel Lyra, Sandra Valongueiro, Mireia Jofre-Bonet, et Hannah Kuper. 2022. « The economic burden of congenital Zika Syndrome in Brazil: an overview at 5 years and 10 years. » *BMJ global health* 7 (7). <https://doi.org/10.1136/bmjgh-2022-008784>.
- Ferreira Freitas, Ricardo, et Mônica Cristine Fort. 2018. « Le virus Zika, une menace pour les Jeux olympiques : l'amplification de la peur par les médias et la consommation ». *Sociétés* 140 (2): 43-53. <https://doi.org/10.3917/soc.140.0043>.
- Ferreira-de-Lima, Victor Henrique, et Tamara Nunes Lima-Camara. 2018. « Natural vertical transmission of dengue virus in *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*: a systematic review ». *Parasites & Vectors* 11 (1): 77. <https://doi.org/10.1186/s13071-018-2643-9>.
- Fikrig, Kara, et Laura C. Harrington. 2021. « Understanding and Interpreting Mosquito Blood Feeding Studies: The Case of *Aedes Albopictus* ». *Trends in Parasitology* 37 (11): 959-75. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2021.07.013>.
- Flahault, Antoine. 2009. « Gestion d'une crise sanitaire : l'exemple du chikungunya ». *Les Tribunes de la santé* 22 (1): 53-66. <https://doi.org/10.3917/seve.022.0053>.
- Flahault, Antoine, Gilles Aumont, Véronique Boisson, Xavier de Lamballerie, François Favier, Didier Fontenille, Bernard-Alex Gaüzère, et al. 2007. « [Chikungunya, La Réunion and Mayotte, 2005-2006: an epidemic without a story?]. » *Sante publique (Vandoeuvre-les-Nancy, France)* 19 Suppl 3 (juin):S165-195.
- Flamand, Claude, Camille Fritzell, Christelle Prince, Philippe Abboud, Vanessa Ardillon, Luisiane Carvalho, Magalie Demar, et al. 2017. « Epidemiological Assessment of the Severity of Dengue Epidemics in French Guiana ». *PLOS ONE* 12 (2): e0172267. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172267>.
- Flor, Luisa S., Joseph Friedman, Cory N. Spencer, John Cagney, Alejandra Arrieta, Molly E. Herbert, Caroline Stein, et al. 2022. « Quantifying the Effects of the COVID-19 Pandemic on Gender Equality on Health, Social, and Economic Indicators: A Comprehensive Review of Data from March, 2020, to September, 2021 ». *The Lancet* 399 (10344): 2381-97. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(22\)00008-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(22)00008-3).
- Fontenille, Didier (ed.), C. Lagneau, S. Lecollinet, Robin Régine (ed.) Lefait, M. Setbon, B. Tirel, et A. Yébakina. 2009. *La lutte antivectorielle en France = Disease vector control in France*. IRD. (expertise collégiale). Marseille.
- Fontenille, Didier, Frédéric Jourdain, et Yvon Perrin. 2013. « *Aedes japonicus* : quel risque pour la France métropolitaine ? » In , 12pp. https://www.anses.fr/fr/system/files/CNEV-Ft-Sept2013-Introduction_aedes_japonicus_en_France.pdf.
- Fournier, Lucie, Clémentine Calba, Amandine Cochet, Nelly Fournet, Elise Brottet, Gilda Grard, Guillaume André Durand, et al. 2024. « Bilan de la dengue, du Chikungunya et du Zika en France hexagonale en 2023. » *BEH*.
- Francke, Marc, et Matthijs Korevaar. 2021. « Housing markets in a pandemic: Evidence from historical outbreaks ». *Journal of Urban Economics* 123 (mai):103333. <https://doi.org/10.1016/j.jue.2021.103333>.
- Franke, Florian, S Giron, A Cochet, C Jeannin, I Leparç-Goffart, H de Valk, F Jourdain, X de Lamballerie, G L'Ambert, et M C Paty. 2019. « Autochthonous chikungunya and dengue fever outbreak in Mainland France, 2010-2018 ».

- European Journal of Public Health* 29 (Supplement_4): ckz186.628. <https://doi.org/10.1093/eurpub/ckz186.628>.
- Franke, Florian, Alexandra Septfons, Isabelle Leparç-Goffart, Sandra Giron, Anne Guinard, Sarah Burdet, Anne Bernadou, et al. 2017. « Surveillance du chikungunya, de la dengue et des infections à virus Zika en France métropolitaine, 2016 / chikungunya, dengue and Zika virus infection surveillance in mainland France, 2016 ». *Bulletin épidémiologique hebdomadaire*, n° 12, 222-31.
- Franklinos, Lydia H. V., Kate E. Jones, David W. Redding, et Ibrahim Abubakar. 2019. « The Effect of Global Change on Mosquito-Borne Disease. » *The Lancet. Infectious Diseases* 19 (9): e302-12. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(19\)30161-6](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(19)30161-6).
- Freed, Benjamin, Sarah Hillman, Saran Shantikumar, Debra Bick, Jeremy Dale, et Julia Gauly. 2021. « The Impact of Disasters on Contraception in OECD Member Countries: A Scoping Review. » *The European Journal of Contraception & Reproductive Health Care: The Official Journal of the European Society of Contraception* 26 (5): 429-38. <https://doi.org/10.1080/13625187.2021.1934440>.
- Furceri, Davide, Prakash Loungani, Jonathan D. Ostry, et Pietro Pizzuto. 2022. « Will COVID-19 Have Long-Lasting Effects on Inequality? Evidence from Past Pandemics ». *The Journal of Economic Inequality* 20 (4): 811-39. <https://doi.org/10.1007/s10888-022-09540-y>.
- Gabiane, Gaëlle, Pei-Shi Yen, et Anna-Bella Failloux. 2022. « Aedes Mosquitoes in the Emerging Threat of Urban Yellow Fever Transmission ». *Reviews in Medical Virology* 32 (4): e2333. <https://doi.org/10.1002/rmv.2333>.
- Gallego, Viviana, Griselda Berberian, Susana Lloveras, Sergio Verbanaz, Tania S. S. Chaves, Tomas Orduna, et Alfonso J. Rodriguez-Morales. 2014. « The 2014 FIFA World Cup: Communicable disease risks and advice for visitors to Brazil – A review from the Latin American Society for Travel Medicine (SLAMVI) ». *Travel Medicine and Infectious Disease* 12 (3): 208-18. <https://doi.org/10.1016/j.tmaid.2014.04.004>.
- Gallet, Nicolas. 2023. « Arboviroses transmises par *Aedes albopictus* en France métropolitaine : évaluation des besoins et attentes des médecins généralistes en termes d'informations et d'aide à la démarche diagnostique. » Thèse pour le Diplôme d'Etat de Docteur en médecine, Nantes, France: Faculté de médecine - Université de Nantes.
- Gallivan, Mark, Ben Oppenheim, et Nita K. Madhav. 2019. « Using Social Media to Estimate Zika's Impact on Tourism: #babymoon, 2014-2017. » *PloS One* 14 (2): e0212507. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212507>.
- Galmiche, Simon, Tiffany Charmet, Laura Schaeffer, Rebecca Grant, Arnaud Fontanet, Juliette Paireau, Simon Cauchemez, et al. 2021. « Etude des facteurs sociodémographiques, comportements et pratiques associés à l'infection par le SARS-CoV-2 (ComCor) ». Report, Institut Pasteur ; Caisse Nationale d'Assurance Maladie ; IPSOS ; Institut Pierre Louis d'Epidémiologie et de Santé Publique (IPLESP) ; Santé Publique France. <https://pasteur.hal.science/pasteur-03155847>.
- Gaüzère, B. A., P. Gérardin, D. Vandroux, et P. Aubry. 2012. « [Chikungunya virus infection in the Indian Ocean: lessons learned and perspectives]. » *Medecine tropicale : revue du Corps de sante colonial* 72 Spec No (mars):6-12.
- Gay, Noëlie, Dominique Rousset, Patricia Huc, Séverine Matheus, Martine Ledrans, Jacques Rosine, Sylvie Cassadou, et Harold Noël. 2016. « Seroprevalence of Asian Lineage Chikungunya Virus Infection on Saint Martin Island, 7 Months

- After the 2013 Emergence ». *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 94 (2): 393-96. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.15-0308>.
- Gérardin, Patrick, Adrian Fianu, Denis Malvy, Corinne Mussard, Karim Boussaïd, Olivier Rollot, Alain Michault, Bernard-Alex Gaüzere, Gérard Bréart, et François Favier. 2011. « Perceived morbidity and community burden after a Chikungunya outbreak: the TELECHIK survey, a population-based cohort study. » *BMC medicine* 9:5. <https://doi.org/10.1186/1741-7015-9-5>.
- Gérardin, Patrick, Sylvain Sampéris, Duksha Ramful, Brahim Boumahni, Marc Bintner, Jean-Luc Alessandri, Magali Carbonnier, et al. 2014. « Neurocognitive Outcome of Children Exposed to Perinatal Mother-to-Child Chikungunya Virus Infection: The CHIMERE Cohort Study on Reunion Island ». *PLoS Neglected Tropical Diseases* 8 (7): e2996. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0002996>.
- Giron, Sandra, Florian Franke, Anne Decoppet, Bernard Cadiou, Thierry Travaglini, Laurence Thirion, Guillaume Durand, et al. 2019. « Vector-Borne Transmission of Zika Virus in Europe, Southern France, August 2019 ». *Euro Surveillance: Bulletin Européen Sur Les Maladies Transmissibles = European Communicable Disease Bulletin* 24 (45): 1900655. <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2019.24.45.1900655>.
- Giron, Sandra, Harold Noël, Florian Franke, Guillaume Durand, Giuseppina Ortu, Anne Decoppet, Sébastien Debeaumont, et al. 2020. « Première transmission vectorielle du virus Zika en Europe : enquête de séroprévalence pour étudier l'étendue de l'émergence dans le Var en Novembre 2019 / First vector transmission of the Zika virus in Europe: seroprevalence survey to study the extent of the emergence in Var, France, November 2019 ». *Bulletin épidémiologique hebdomadaire* 22:456-62.
- Giunti, Giulia, André B. B. Wilke, John C. Beier, et Giovanni Benelli. 2023. « What Do We Know About the Invasive Mosquitoes *Aedes Atropalpus* and *Aedes Triseriatus*? » *Current Tropical Medicine Reports* 10 (2): 41-46. <https://doi.org/10.1007/s40475-023-00284-x>.
- Gjenero-Margan, I., B. Aleraj, D. Krajcar, V. Lesnikar, A. Klobučar, I. Pem-Novosel, S. Kurečić-Filipović, et al. 2011. « Autochthonous Dengue Fever in Croatia, August-September 2010 ». *Euro Surveillance: Bulletin Européen Sur Les Maladies Transmissibles = European Communicable Disease Bulletin* 16 (9): 19805.
- Gloria-Soria, Andrea, Anne F. Payne, Sean M. Bialosuknia, Jessica Stout, Nicholas Mathias, Gillian Eastwood, Alexander T. Ciota, Laura D. Kramer, et Philip M. Armstrong. 2020. « Vector Competence of *Aedes Albopictus* Populations from the Northeastern United States for Chikungunya, Dengue, and Zika Viruses ». *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 104 (3): 1123-30. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.20-0874>.
- Glowacki, Elizabeth M., Allison J. Lazard, Gary B. Wilcox, Michael Mackert, et Jay M. Bernhardt. 2016. « Identifying the public's concerns and the Centers for Disease Control and Prevention's reactions during a health crisis: An analysis of a Zika live Twitter chat ». *American Journal of Infection Control* 44 (12): 1709-11. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2016.05.025>.
- Gollier, Christian. 2020. « Cost–Benefit Analysis of Age-Specific Deconfinement Strategies ». *Journal of Public Economic Theory* 22 (6): 1746-71. <https://doi.org/10.1111/jpet.12486>.
- Grandadam, Marc, Valérie Caro, Sébastien Plumet, Jean-Michel Thiberge, Yvan Souarès, Anna-Bella Failloux, Hugues J. Tolou, et al. 2011. « Chikungunya Virus, Southeastern France ». *Emerging Infectious Diseases* 17 (5): 910-13. <https://doi.org/10.3201/eid1705.101873>.

- Grange, Laura, Etienne Simon-Loriere, Anavaj Sakuntabhai, Lionel Gresh, Richard Paul, et Eva Harris. 2014. « Epidemiological Risk Factors Associated with High Global Frequency of Inapparent Dengue Virus Infections ». *Frontiers in Immunology* 5:280. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2014.00280>.
- Gratz, N. G. 2004. « Critical Review of the Vector Status of *Aedes Albopictus* ». *Medical and Veterinary Entomology* 18 (3): 215-27. <https://doi.org/10.1111/j.0269-283X.2004.00513.x>.
- Grobusch, Martin P., Karin S. van der Fluit, Cornelis Stijnis, Cornelis A. De Pijper, Thomas Hanscheid, Philippe Gautret, Patricia Schlagenhauf, et Abraham Goorhuis. 2020. « Can Dengue Virus Be Sexually Transmitted? » *Travel Medicine and Infectious Disease* 38:101753. <https://doi.org/10.1016/j.tmaid.2020.101753>.
- Hafsia, Sarah, Marion Haramboure, David Arthur Wilkinson, Thierry Baldet, Luce Yemadje-Menudier, Muriel Vincent, Annelise Tran, Célestine Atyame, et Patrick Mavingui. 2022. « Overview of Dengue Outbreaks in the Southwestern Indian Ocean and Analysis of Factors Involved in the Shift toward Endemicity in Reunion Island: A Systematic Review ». *PLoS Neglected Tropical Diseases* 16 (7): e0010547. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0010547>.
- Halasa, Yara A., Donald S. Shepard, et Wu Zeng. 2012. « Economic Cost of Dengue in Puerto Rico. » *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 86 (5): 745-52. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.2012.11-0784>.
- Halstead, Scott. 2019. « Recent Advances in Understanding Dengue ». *F1000Research* 8:F1000 Faculty Rev-1279. <https://doi.org/10.12688/f1000research.19197.1>.
- HAS. 2021. « Avis de la Commission de la transparence du 21 novembre 2021 - vaccin contre la dengue quadrivalent (vivant, atténué) DENG VAXIA, poudre et solvant pour suspension injectable. Première évaluation ».
- Haute Autorité de santé. 2020. *Choix méthodologiques pour l'évaluation économique à la HAS*. HAS. Saint-Denis la Plaine. https://www.has-sante.fr/jcms/r_1499251/fr/choix-methodologiques-pour-l-evaluation-economique-a-la-has.
- Hawley, W A. 1988. « The Biology of *Aedes Albopictus* ». *Journal of the American Mosquito Control Association Supplement* 1 (décembre):1-39.
- Hayden, Mary H., Christopher K. Uejio, Kathleen Walker, Frank Ramberg, Rafael Moreno, Cecilia Rosales, Mercedes Gameros, Linda O. Mearns, Emily Zielinski-Gutierrez, et Craig R. Janes. 2010. « Microclimate and Human Factors in the Divergent Ecology of *Aedes Aegypti* along the Arizona, U.S./Sonora, MX Border ». *EcoHealth* 7 (1): 64-77. <https://doi.org/10.1007/s10393-010-0288-z>.
- Hcini, Najeh, Véronique Lambert, Olivier Picone, Jean-Francois Carod, Gabriel Carles, Léo Pomar, Loïc Epelboin, et Mathieu Nacher. 2024. « Arboviruses and pregnancy: are the threats visible or hidden? » *Tropical Diseases, Travel Medicine and Vaccines* 10 (1): 4. <https://doi.org/10.1186/s40794-023-00213-w>.
- HCSP. 2019. « Avis relatif aux mesures de prévention pour la sécurité infectieuse transfusionnelle et de la greffe résultant de la circulation des virus de la dengue et du chikungunya : mise à jour des pays concernés ». Haut Conseil de la Santé Publique. https://www.hcsp.fr/Explore.cgi/Telecharger?NomFichier=hcspa20190614_d_enetchimespoulascutraetdesgre.pdf.
- . 2022a. « Avis relatif aux mesures de prévention des risques liés au virus Zika et au virus de la dengue dans le domaine de l'assistance médicale à la

- procréation (AMP) ». Haut Conseil de la Santé Publique. https://www.hcsp.fr/Explore.cgi/Telecharger?NomFichier=hcspa20220428_a_smdlaprprderilizietlade.pdf.
- . 2022b. « Avis sur les mesures de prévention pour la sécurité infectieuse transfusionnelle et de la greffe à la suite de cas de dengue autochtones dans le sud de la France ». Haut Conseil de la Santé Publique. https://www.hcsp.fr/Explore.cgi/Telecharger?NomFichier=hcspa20221019_d_endanlesuddelafrascudesproducer.pdf.
- Hoen, Bruno, Bruno Schaub, Anna L. Funk, Vanessa Ardillon, Manon Boullard, André Cabié, Caroline Callier, et al. 2018. « Pregnancy Outcomes after ZIKV Infection in French Territories in the Americas ». *New England Journal of Medicine* 378 (11): 985-94. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1709481>.
- Holicki, Cora M., Ute Ziegler, Cristian Răileanu, Helge Kampen, Doreen Werner, Jana Schulz, Cornelia Silaghi, Martin H. Groschup, et Ana Vasić. 2020. « West Nile Virus Lineage 2 Vector Competence of Indigenous Culex and Aedes Mosquitoes from Germany at Temperate Climate Conditions ». *Viruses* 12 (5): 561. <https://doi.org/10.3390/v12050561>.
- Holstein, M. 1967. « Dynamics of Aedes Aegypti Distribution, Density and Seasonal Prevalence in the Mediterranean Area ». *Bulletin de l'Organisation Mondiale de La Santé*, 1967, sect. 36.
- Hung, Trinh Manh, Donald S. Shepard, Alison A. Bettis, Huyen Anh Nguyen, Angela McBride, Hannah E. Clapham, et Hugo C. Turner. 2020. « Productivity Costs from a Dengue Episode in Asia: A Systematic Literature Review. » *BMC Infectious Diseases* 20 (1): 393. <https://doi.org/10.1186/s12879-020-05109-0>.
- International Labour Organization. 2021. « ILO Monitor: COVID-19 and the World of Work. Eighth Edition ». <https://www.ilo.org/resource/brief/ilo-monitor-covid-19-and-world-work-8th-edition>.
- Josseran, Loïc, Jean-Louis Solet, Philippe Renault, Nadège Caillère, Anne Fouillet, Alain Le Tertre, Abdelkrim Zeghnoun, et al. 2008. « Description des fluctuations de la mortalité réunionnaise dans le contexte de l'épidémie de chikungunya en 2005-2006. » *BEH*, 2008.
- Jourdain, Frédéric. 2021. « Evaluation et optimisation de la réponse aux risques sanitaires dus à la présence d'Aedes albopictus en France métropolitaine ». Thèse de doctorat, Paris 12: Université Paris-Est Créteil Val-de-Marne. <https://theses.hal.science/tel-04011464>.
- Jourdain, Frédéric, David Roiz, Henriette de Valk, Harold Noël, Grégory L'Ambert, Florian Franke, Marie-Claire Paty, Anne Guinard, Jean-Claude Desenclos, et Benjamin Roche. 2020. « From Importation to Autochthonous Transmission: Drivers of Chikungunya and Dengue Emergence in a Temperate Area ». *PLOS Neglected Tropical Diseases* 14 (5): e0008320. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0008320>.
- Jourdain, Frédéric, Henriette de Valk, Harold Noël, Marie-Claire Paty, Grégory L'Ambert, Florian Franke, Damien Mouly, Jean-Claude Desenclos, et Benjamin Roche. 2022. « Estimating Chikungunya Virus Transmission Parameters and Vector Control Effectiveness Highlights Key Factors to Mitigate Arboviral Disease Outbreaks ». *PLOS Neglected Tropical Diseases* 16 (3): e0010244. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0010244>.
- Jourdan, Nadine. 2007. « Le chikungunya n'a pas brisé la croissance - Revue économie de La Réunion Hors série | Insee ». 1 juillet 2007. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/1289432>.
- Kajimoto, Yusuke, et Tsutomu Kitajima. 2020. « Patient and National Economic Burden of Dengue in Japan: Results from Japanese National Claims

- Database. » *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 102 (6): 1237-43. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.19-0910>.
- Kamgang, Basile, Elysée Nchoutpouen, Frédéric Simard, et Christophe Paupy. 2012. « Notes on the blood-feeding behavior of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) in Cameroon ». *Parasites & Vectors* 5 (1): 57. <https://doi.org/10.1186/1756-3305-5-57>.
- Koppensteiner, Martin Foureaux, et Livia Menezes. 2024. « Maternal Dengue and Health Outcomes of Children ». *American Economic Journal: Applied Economics* 16 (2): 530-53. <https://doi.org/10.1257/app.20210656>.
- Krishnamoorthy, K., K. T. Harichandrakumar, A. Krishna Kumari, et L. K. Das. 2009. « Burden of Chikungunya in India: Estimates of Disability Adjusted Life Years (DALY) Lost in 2006 Epidemic. » *Journal of Vector Borne Diseases* 46 (1): 26-35.
- Kutsuna, Satoshi, Yasuyuki Kato, Meng Ling Moi, Akira Kotaki, Masayuki Ota, Koh Shinohara, Tetsuro Kobayashi, et al. 2015. « Autochthonous Dengue Fever, Tokyo, Japan, 2014 ». *Emerging Infectious Diseases* 21 (3): 517-20. <https://doi.org/10.3201/eid2103.141662>.
- La Ruche, G., Y. Souarès, A. Armengaud, F. Peloux-Petiot, P. Delaunay, P. Desprès, A. Lenglet, et al. 2010. « First Two Autochthonous Dengue Virus Infections in Metropolitan France, September 2010 ». *Euro Surveillance: Bulletin Européen Sur Les Maladies Transmissibles = European Communicable Disease Bulletin* 15 (39): 19676.
- Laajaj, Rachid, Duncan Webb, Danilo Aristizabal, Eduardo Behrentz, Raquel Bernal, Giancarlo Buitrago, Zulma Cucunubá, et al. 2022. « Understanding How Socioeconomic Inequalities Drive Inequalities in COVID-19 Infections ». *Scientific Reports* 12 (1): 8269. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-11706-7>.
- Lacour, Guillaume, Lionel Chanaud, Grégory L'Ambert, et Thierry Hance. 2015. « Seasonal Synchronization of Diapause Phases in *Aedes Albopictus* (Diptera: Culicidae) ». Édité par Joshua B. Benoit. *PLOS ONE* 10 (12): e0145311. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0145311>.
- Ladner, Joël, Mariana Rodrigues, Ben Davis, Marie-Hélène Besson, Etienne Audureau, et Joseph Saba. 2017. « Societal Impact of Dengue Outbreaks: Stakeholder Perceptions and Related Implications. A Qualitative Study in Brazil, 2015 ». *PLoS Neglected Tropical Diseases* 11 (3): e0005366. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0005366>.
- L'Azou, Maïna, Anne-Frieda Taurel, Claude Flamand, et Philippe Quénel. 2014. « Recent Epidemiological Trends of Dengue in the French Territories of the Americas (2000-2012): A Systematic Literature Review ». *PLoS Neglected Tropical Diseases* 8 (11): e3235. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0003235>.
- Lecadie, Arnaud, Laura Teyseyre, Kevin Larsen, Charles Vidal, Margot Caron, Nicolas Traversier, Thomas Aujoulat, Jérôme Allyn, et Nicolas Allou. 2021. « Case Report: Transmission of Dengue Virus from a Deceased Donor to a Kidney Transplant Recipient Previously Infected by Dengue Virus ». *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 104 (6): 2199-2201. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.21-0137>.
- Lee, Bruce Y., Jorge A. Alfaro-Murillo, Alyssa S. Parpia, Lindsey Asti, Patrick T. Wedlock, Peter J. Hotez, et Alison P. Galvani. 2017. « The Potential Economic Burden of Zika in the Continental United States. » *PLoS Neglected Tropical Diseases* 11 (4): e0005531. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0005531>.
- Lee, Jung-Seok, Vittal Mogasale, Jacqueline K. Lim, Sowath Ly, Kang Sung Lee, Sopheak Sorn, Esther Andia, et al. 2019. « A multi-country study of the

- economic burden of dengue fever based on patient-specific field surveys in Burkina Faso, Kenya, and Cambodia. » *PLoS neglected tropical diseases* 13 (2): e0007164. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0007164>.
- Legorreta-Soberanis, José, Sergio Paredes-Solís, Arcadio Morales-Pérez, Elizabeth Nava-Aguilera, Felipe René Serrano-de Los Santos, Diana Lisseth Dimas-García, Robert J. Ledogar, Anne Cockcroft, et Neil Andersson. 2017. « Household Costs of Dengue Illness: Secondary Outcomes from a Randomised Controlled Trial of Dengue Prevention in Guerrero State, Mexico. » *BMC Public Health* 17 (Suppl 1): 411. <https://doi.org/10.1186/s12889-017-4304-x>.
- Lequime, Sebastian, et Louis Lambrechts. 2014. « Vertical Transmission of Arboviruses in Mosquitoes: A Historical Perspective ». *Infection, Genetics and Evolution: Journal of Molecular Epidemiology and Evolutionary Genetics in Infectious Diseases* 28:681-90. <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2014.07.025>.
- Lim, Jacqueline Kyungah, Neal Alexander, et Gian Luca Di Tanna. 2017. « A Systematic Review of the Economic Impact of Rapid Diagnostic Tests for Dengue. » *BMC Health Services Research* 17 (1): 850. <https://doi.org/10.1186/s12913-017-2789-8>.
- Lin, Yushi, Kailu Fang, Yang Zheng, Hong-Liang Wang, et Jie Wu. 2022. « Global Burden and Trends of Neglected Tropical Diseases from 1990 to 2019. » *Journal of Travel Medicine* 29 (3): taac031. <https://doi.org/10.1093/jtm/taac031>.
- Lindh, Erika, Claudio Argentini, Maria Elena Remoli, Claudia Fortuna, Giovanni Faggioni, Eleonora Benedetti, Antonello Amendola, et al. 2019. « The Italian 2017 Outbreak Chikungunya Virus Belongs to an Emerging Aedes albopictus–Adapted Virus Cluster Introduced From the Indian Subcontinent ». *Open Forum Infectious Diseases* 6 (1): ofy321. <https://doi.org/10.1093/ofid/ofy321>.
- Liu-Helmersson, Jing, Joacim Rocklöv, Macquin Sewe, et Åke Brännström. 2019. « Climate change may enable *Aedes aegypti* infestation in major European cities by 2100 ». *Environmental Research* 172 (mai):693-99. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.02.026>.
- Low, Swee Ling, Yee Sin Leo, Yee Ling Lai, Sally Lam, Hwee Huang Tan, Judith Chui Ching Wong, Li Kiang Tan, et Lee Ching Ng. 2021. « Evaluation of Eight Commercial Zika Virus IgM and IgG Serology Assays for Diagnostics and Research ». *PLOS ONE* 16 (1): e0244601. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0244601>.
- Lowe, Rachel, Christovam Barcellos, Patricia Brasil, Oswaldo G. Cruz, Nildimar Alves Honório, Hannah Kuper, et Marilia Sá Carvalho. 2018. « The Zika Virus Epidemic in Brazil: From Discovery to Future Implications. » *International Journal of Environmental Research and Public Health* 15 (1). <https://doi.org/10.3390/ijerph15010096>.
- Luh, Dih-Ling, Cheng-Chieh Liu, Yun-Ru Luo, et Szu-Chieh Chen. 2018. « Economic Cost and Burden of Dengue during Epidemics and Non-Epidemic Years in Taiwan. » *Journal of Infection and Public Health* 11 (2): 215-23. <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2017.07.021>.
- Macciocchi, Daniele, Simone Lanini, Francesco Vairo, Alimuddin Zumla, Luiz Tadeu Moraes Figueiredo, Francesco Nicola Lauria, Gino Strada, et al. 2016. « Short-Term Economic Impact of the Zika Virus Outbreak. » *The New Microbiologica* 39 (4): 287-89.
- Macías, Alejandro E., Esteban Puentes-Rosas, David Velandia, David Morley, Laurent Coudeville, et Nicolas Baurin. 2019. « REAL-WORLD EVIDENCE OF DENGUE BURDEN ON HOSPITALS IN MEXICO: INSIGHTS FROM THE

- AUTOMATED SUBSYSTEM OF HOSPITAL DISCHARGES (SAEH) DATABASE. » *Revista de Investigacion Clinica; Organo Del Hospital de Enfermedades de La Nutricion* 71 (3): 168-77. <https://doi.org/10.24875/RIC.18002681>.
- Mahler, Daniel Gerszon, Nishant Yonzan, et Christoph Lakner. 2022. *The Impact of COVID-19 on Global Inequality and Poverty*. Policy Research Working Papers. The World Bank. <https://doi.org/10.1596/1813-9450-10198>.
- Mahroum, Naim, Mohammad Adawi, Kassem Sharif, Roy Waknin, Hussein Mahagna, Bishara Bisharat, Mahmud Mahamid, et al. 2018. « Public Reaction to Chikungunya Outbreaks in Italy-Insights from an Extensive Novel Data Streams-Based Structural Equation Modeling Analysis. » *PloS One* 13 (5): e0197337. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0197337>.
- Major, Chelsea G., Gabriela Paz-Bailey, Susan L. Hills, Dania M. Rodriguez, Brad J. Biggerstaff, et Michael Johansson. 2021. « Risk Estimation of Sexual Transmission of Zika Virus-United States, 2016-2017 ». *The Journal of Infectious Diseases* 224 (10): 1756-64. <https://doi.org/10.1093/infdis/jiab173>.
- Mallet, Henri-Pierre, Anne-Laure Vial, et Didier Musso. 2016. « Bilan de l'épidémie à virus Zika survenue en Polynésie française entre octobre 2013 et mars 2014. De la description de l'épidémie aux connaissances acquises après l'évènement ». *BEH*, n° 20-21, 367-73.
- Mariconti, Marina, Thomas Obadia, Laurence Mousson, Anna Malacrida, Giuliano Gasperi, Anna-Bella Failloux, et Pei-Shi Yen. 2019. « Estimating the Risk of Arbovirus Transmission in Southern Europe Using Vector Competence Data ». *Scientific Reports* 9 (1): 17852. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-54395-5>.
- Marimoutou, C., J. Ferraro, E. Javelle, X. Deparis, et F. Simon. 2015. « Chikungunya infection: self-reported rheumatic morbidity and impaired quality of life persist 6 years later. » *Clinical microbiology and infection : the official publication of the European Society of Clinical Microbiology and Infectious Diseases* 21 (7): 688-93. <https://doi.org/10.1016/j.cmi.2015.02.024>.
- Marques, Fernanda Jordão Pinto, Alessandra Lemos de Carvalho, Eliana Valverde Magro Borigato, Luiz Felipe Vieira de Oliveira, Lenamaris Mendes Rocha Duarte, Adriana Goncalves da Silva, Claret Luiz Dias Amarante, et al. 2023. « Health-Related Quality of Life in Children with Cerebral Palsy Associated with Congenital Zika Infection. » *Revista Paulista de Pediatria : Orgao Oficial Da Sociedade de Pediatria de Sao Paulo* 41:e2022016. <https://doi.org/10.1590/1984-0462/2023/41/2022016>.
- Martinet, Jean-Philippe, Chloé Bohers, Marie Vazeille, Hubert Ferté, Laurence Mousson, Bruno Mathieu, Jérôme Depaquit, et Anna-Bella Failloux. 2023. « Assessing Vector Competence of Mosquitoes from Northeastern France to West Nile Virus and Usutu Virus ». *PLOS Neglected Tropical Diseases* 17 (6): e0011144. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0011144>.
- Matangkasombut, Ponpan, Kajohnpong Manopwisedjaroen, Nada Pitabut, Sasikanya Thaloengsok, Swangjit Suraamornkul, Tawatchai Yingtaweesak, Veasna Duong, Anavaj Sakuntabhai, Richard Paul, et Pratap Singhasivanon. 2020. « Dengue Viremia Kinetics in Asymptomatic and Symptomatic Infection ». *International Journal of Infectious Diseases* 101:90-97. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.09.1446>.
- Mavalankar, Dileep, Seeni Vasan, Tapasvi Puwar, et Tiina Murtola. 2010. « Quantifying the Impact of Chikungunya and Dengue on Tourism Revenues ». *esocialsciences.com, Working Papers*, janvier.

- McDonald, George. 1961. « Epidemiologic Models in Studies of Vector-Borne Diseases ». *Public Health Reports* 76 (9): 753-64.
- McKinsey. 2020. « 2020 perspectives on the business impact of COVID-19 ». 16 décembre 2020. <https://www.mckinsey.com/capabilities/risk-and-resilience/our-insights/covid-19-implications-for-business-2020>.
- Messina, Jane P., Oliver J. Brady, Nick Golding, Moritz U. G. Kraemer, G. R. William Wint, Sarah E. Ray, David M. Pigott, et al. 2019. « The Current and Future Global Distribution and Population at Risk of Dengue ». *Nature Microbiology* 4 (9): 1508-15. <https://doi.org/10.1038/s41564-019-0476-8>.
- Monge, Susana, Visitación García-Ortúzar, Begoña López Hernández, María Ángeles Lopaz Pérez, Sarah Delacour-Estrella, María Paz Sánchez-Seco, Beatriz Fernández Martínez, et al. 2020. « Characterization of the First Autochthonous Dengue Outbreak in Spain (August-September 2018) ». *Acta Tropica* 205:105402. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2020.105402>.
- Montibeler, Everlam Elias, et Daniel Ribeiro de Oliveira. 2018. « Dengue Endemic and Its Impact on the Gross National Product of BRAZILIAN'S Economy. » *Acta Tropica* 178 (février):318-26. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2017.11.016>.
- Moore, Cynthia A., J. Erin Staples, William B. Dobyns, André Pessoa, Camila V. Ventura, Eduardo Borges da Fonseca, Erlane Marques Ribeiro, et al. 2017. « Characterizing the Pattern of Anomalies in Congenital Zika Syndrome for Pediatric Clinicians ». *JAMA Pediatrics* 171 (3): 288-95. <https://doi.org/10.1001/jamapediatrics.2016.3982>.
- Mordecai, Erin A., Jamie M. Caldwell, Marissa K. Grossman, Catherine A. Lippi, Leah R. Johnson, Marco Neira, Jason R. Rohr, et al. 2019. « Thermal Biology of Mosquito-Borne Disease ». *Ecology Letters* 22 (10): 1690-1708. <https://doi.org/10.1111/ele.13335>.
- Morgan, Caitlin, Stavroula-Maria Paraskevopoulou, Elizabeth A. Ashley, Fey Probst, et David Muir. 2015. « Nosocomial Transmission of Dengue Fever via Needlestick. An Occupational Risk ». *Travel Medicine and Infectious Disease* 13 (3): 271-73. <https://doi.org/10.1016/j.tmaid.2015.03.016>.
- Moro, Maria Luisa, Giovanni Rezza, Elisa Grilli, Raffaella Angelini, Pierluigi Macini, Nadir Spataro, Carlo Gagliotti, et al. 2010. « Chikungunya Virus in North-Eastern Italy: A Seroprevalence Survey ». *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 82 (3): 508-11. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.2010.09-0322>.
- Mosnier, Émilie, Cyril Farnarier, Marine Mosnier, Camille Allaria, Sandrine Loubière, Elisabetta Monfardini, Stanislas Rebaudet, Thomas Bosetti, et Aurélie Tinland. 2022. « Un modèle innovant d'intervention, de dépistage et de prise en charge mobile de la COVID-19 chez les personnes sans-abri à Marseille ». *Sante Publique (Vandoeuvre-Les-Nancy, France)* 33 (6): 947-57. <https://doi.org/10.3917/spub.216.0947>.
- Murray, Christopher J. L. 2022. « The Global Burden of Disease Study at 30 Years ». *Nature Medicine* 28 (10): 2019-26. <https://doi.org/10.1038/s41591-022-01990-1>.
- Murray, Natasha Evelyn Anne, Mikkel B. Quam, et Annelies Wilder-Smith. 2013. « Epidemiology of Dengue: Past, Present and Future Prospects. » *Clinical Epidemiology* 5:299-309. <https://doi.org/10.2147/CLEP.S34440>.
- Musso, Didier, Albert I. Ko, et David Baud. 2019. « Zika Virus Infection — After the Pandemic ». *New England Journal of Medicine* 381 (15): 1444-57. <https://doi.org/10.1056/NEJMra1808246>.

- Naillat, Philippe, et Ramlati Ali. 2020. « Rapport fait au nom de la Commission d'enquête chargée d'évaluer les recherches, la prévention et les politiques publiques à mener contre la propagation des moustiques Aedes et des maladies vectorielles ». Tome 1 3280. https://www.assemblee-nationale.fr/dyn/15/rapports/ceaedes/l15b3280-tj_rapport-enquete.
- Nakano, Katsuyuki. 2018. « Future Risk of Dengue Fever to Workforce and Industry through Global Supply Chain. » *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 23 (3): 433-49. <https://doi.org/10.1007/s11027-017-9741-4>.
- Neteler, Markus, David Roiz, Duccio Rocchini, Cristina Castellani, et Annapaola Rizzoli. 2011. « Terra and Aqua Satellites Track Tiger Mosquito Invasion: Modelling the Potential Distribution of Aedes Albopictus in North-Eastern Italy ». *International Journal of Health Geographics* 10:49. <https://doi.org/10.1186/1476-072x-10-49>.
- Nikolich-Žugich, Janko, Christine M. Bradshaw, Jennifer L. Uhrlaub, et Makiko Watanabe. 2021. « Immunity to Acute Virus Infections with Advanced Age ». *Current Opinion in Virology* 46:45-58. <https://doi.org/10.1016/j.coviro.2020.09.007>.
- Nishimura, Yukihiro, Pierre Pestieau, et Gregory Ponthiere. 2018. « Education choices, longevity and optimal policy in a Ben-Porath economy ». *Mathematical Social Sciences* 94 (juillet):65-81. <https://doi.org/10.1016/j.mathsocsci.2017.10.003>.
- OECD. 2020. « COVID-19: Protecting People and Societies ». OECD. 31 mars 2020. <https://www.oecd.org/coronavirus/policy-responses/covid-19-protecting-people-and-societies-e5c9de1a/>.
- . 2023. « Socio-economic and ethnic health inequalities in COVID-19 outcomes across OECD countries | en | OECD ». 9 mars 2023. <https://www.oecd.org/social/socio-economic-and-ethnic-health-inequalities-in-covid-19-outcomes-across-oecd-countries-6c2a96c9-en.htm>.
- Oliveira, Luana Nice da Silva, Alexander Itria, et Erika Coutinho Lima. 2019. « Cost of Illness and Program of Dengue: A Systematic Review. » *PloS One* 14 (2): e0211401. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0211401>.
- Orellano, Pablo Wenceslao, et Elena Pedroni. 2008. « [Cost-benefit analysis of vector control in areas of potential dengue transmission]. » *Revista panamericana de salud publica = Pan American journal of public health* 24 (2): 113-19. <https://doi.org/10.1590/s1020-49892008000800005>.
- PAHO/WHO. 2024. « Epidemiological Alert - Increase in Dengue Cases in the Region of the Americas - 16 February 2024 ». Washington, DC.: Pan American Health Organization/ World Health Organization. <https://www.paho.org/en/documents/epidemiological-alert-increase-dengue-cases-region-americas-16-february-2024>.
- Paixão, Enny S., Qeren Hapuk R. Ferreira Fernandes, Luciana L. Cardim, Julia M. Pescarini, Maria Conceicao N. Costa, Ila R. Falcão, Elizabeth B. Brickley, et al. 2022. « Socioeconomic risk markers of congenital Zika syndrome: a nationwide, registry-based study in Brazil. » *BMJ global health* 7 (9). <https://doi.org/10.1136/bmjgh-2022-009600>.
- Paty, M. C., C. Six, F. Charlet, G. Heuzé, A. Cochet, A. Wiegandt, J. L. Chappert, et al. 2014. « Large Number of Imported Chikungunya Cases in Mainland France, 2014: A Challenge for Surveillance and Response ». *Eurosurveillance* 19 (28): 20856. <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES2014.19.28.20856>.
- Paz-Bailey, Gabriela, Laura E. Adams, Jacqueline Deen, Kathryn B. Anderson, et Leah C. Katzelnick. 2024. « Dengue ». *Lancet (London, England)* 403 (10427): 667-82. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(23\)02576-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(23)02576-X).

- Peeling, Rosanna W., David L. Heymann, Yik-Ying Teo, et Patricia J. Garcia. 2022. « Diagnostics for COVID-19: Moving from Pandemic Response to Control ». *The Lancet* 399 (10326): 757-68. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)02346-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)02346-1).
- Peixoto, H.M., L.G. Gallo, G.L. Nascimento, et M.R.F. De Oliveira. 2021. « Economic impact of Zika virus infection and associated conditions ». *Zika Virus Biology, Transmission, and Pathways: Volume 1: The Neuroscience of Zika Virus*, 63-74. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820268-5.00006-7>.
- Pereira dos Santos, Taissa, David Roiz, Ricardo Lourenço-de-Oliveira, et Christophe Paupy. 2020. « A Systematic Review: Is Aedes Albopictus an Efficient Bridge Vector for Zoonotic Arboviruses? » *Pathogens* 9 (4): 266. <https://doi.org/10.3390/pathogens9040266>.
- Petersen, Eskild, Mary E. Wilson, Sok Touch, Brian McCloskey, Peter Mwaba, Matthew Bates, Osman Dar, et al. 2016. « Rapid Spread of Zika Virus in The Americas - Implications for Public Health Preparedness for Mass Gatherings at the 2016 Brazil Olympic Games ». *International Journal of Infectious Diseases* 44:11-15. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2016.02.001>.
- Petrić, Mina, Els Ducheyne, Céline Gossner, Cedric Marsboom, Gaëlle Nicolas, Roger Venail, Guy Hendrickx, et Francis Schaffner. 2021. « Seasonality and timing of peak abundance of Aedes albopictus in Europe: Implications to public and animal health ». *Geospatial Health* 16 (mai). <https://doi.org/10.4081/gh.2021.996>.
- Power, Grace M., Aisling M. Vaughan, Luxi Qiao, Nuria Sanchez Clemente, Julia M. Pescarini, Enny S. Paixão, Ludmila Lobkowicz, et al. 2022. « Socioeconomic Risk Markers of Arthropod-Borne Virus (Arbovirus) Infections: A Systematic Literature Review and Meta-Analysis. » *BMJ Global Health* 7 (4). <https://doi.org/10.1136/bmjgh-2021-007735>.
- Pozzetto, Bruno, Gilda Grard, Guillaume Durand, Marie-Claire Paty, Pierre Gallian, Sophie Lucas-Samuel, Stéphanie Diéterlé, et al. 2023. « Arboviral Risk Associated with Solid Organ and Hematopoietic Stem Cell Grafts: The Prophylactic Answers Proposed by the French High Council of Public Health in a National Context ». *Viruses* 15 (9): 1783. <https://doi.org/10.3390/v15091783>.
- Prades Illanes, Elvira, et Patrocinio Tello. 2020. « The Heterogeneous Economic Impact of COVID-19 Among Euro Area Regions and Countries ». SSRN Scholarly Paper. Rochester, NY. <https://papers.ssrn.com/abstract=3628350>.
- Preszburger, Jérôme. 2006. « Impact économique de l'épidémie de Chikungunya à La Réunion mesuré fin mars 2006 ». IEDOM. avril 2006. <https://www.iedom.fr/la-reunion/publications/etudes-thematiques/article/impact-economique-de-l-epidemie-de-chikungunya-a-la-reunion-mesure-fin-mars-2006>.
- Puntasecca, Christopher J., Charles H. King, et Angelle Desiree LaBeaud. 2021. « Measuring the Global Burden of Chikungunya and Zika Viruses: A Systematic Review. » *PLoS Neglected Tropical Diseases* 15 (3): e0009055. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0009055>.
- Rabionet, Silvia E., Carmen D. Zorrilla, Juana I. Rivera-Viñas, et Yeny Guerra-Sanchez. 2018. « Pregnancy and Zika: The Quest for Quality Care and Reproductive Justice. » *Puerto Rico Health Sciences Journal* 37 (Spec Issue): S45-50.
- Rangel, Marcos A., Jenna Nobles, et Amar Hamoudi. 2020. « Brazil's Missing Infants: Zika Risk Changes Reproductive Behavior. » *Demography* 57 (5): 1647-80. <https://doi.org/10.1007/s13524-020-00900-9>.

- Raude, Jocelyn, Kimberly Chinfatt, Peiching Huang, Charles Olivier Betansedi, Kenneth Katumba, Nicole Vernazza, et Daniel Bley. 2012. « Public Perceptions and Behaviours Related to the Risk of Infection with Aedes Mosquito-Borne Diseases: A Cross-Sectional Study in Southeastern France ». *BMJ Open* 2 (6): e002094. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2012-002094>.
- Renault, David, Stéphane A. P. Derocles, Phillip Haubrock, Frédéric Simard, Ross N. Cuthbert, et Claire Valiente-Moro. 2023. « Biological, Ecological and Trophic Features of Invasive Mosquitoes and Other Hematophagous Arthropods: What Makes Them Successful? » *Biological Invasions* 26 (1): 33-55. <https://doi.org/10.1007/s10530-023-03158-5>.
- Renault, Philippe, Elsa Balleydier, E. D'Ortenzio, M. Bâville, et L. Filleul. 2012. « Epidemiology of Chikungunya Infection on Reunion Island, Mayotte, and Neighboring Countries ». *Médecine et Maladies Infectieuses* 42 (3): 93-101. <https://doi.org/10.1016/j.medmal.2011.12.002>.
- Renault, Philippe, Jean-Louis Solet, Daouda Sissoko, Elsa Balleydier, Sophie Larrieu, Laurent Filleul, Christian Lassalle, et al. 2007. « A Major Epidemic of Chikungunya Virus Infection on Reunion Island, France, 2005-2006 ». *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 77 (4): 727-31.
- Rezza, G, L Nicoletti, R Angelini, R Romi, AC Finarelli, M Panning, P Cordioli, et al. 2007. « Infection with chikungunya virus in Italy: an outbreak in a temperate region ». *The Lancet* 370 (9602): 1840-46. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(07\)61779-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(07)61779-6).
- Ribeiro, Barbara, Sarah Hartley, Brigitte Nerlich, et Rusi Jaspal. 2018. « Media Coverage of the Zika Crisis in Brazil: The Construction of a “war” Frame That Masked Social and Gender Inequalities. » *Social Science & Medicine* (1982) 200 (mars):137-44. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2018.01.023>.
- Riccardo, Flavia, Giulietta Venturi, Marco Di Luca, Martina Del Manso, Francesco Severini, Xanthi Andrianou, Claudia Fortuna, et al. 2019. « Secondary Autochthonous Outbreak of Chikungunya, Southern Italy, 2017 ». *Emerging Infectious Diseases* 25 (11): 2093-95. <https://doi.org/10.3201/eid2511.180949>.
- Roche, Benjamin, Lucas Léger, Grégory L'Ambert, Guillaume Lacour, Rémi Foussadier, Gilles Besnard, Hélène Barré-Cardi, Frédéric Simard, et Didier Fontenille. 2015. « The Spread of Aedes Albopictus in Metropolitan France: Contribution of Environmental Drivers and Human Activities and Predictions for a Near Future ». *PLOS ONE* 10 (5): e0125600. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0125600>.
- Rocklöv, Joacim, Yesim Tozan, Aditya Ramadana, Maquines O. Sewe, Bertrand Sudre, Jon Garrido, Chiara Bellegarde de Saint Lary, Wolfgang Lohr, et Jan C. Semenza. 2019. « Using Big Data to Monitor the Introduction and Spread of Chikungunya, Europe, 2017 ». *Emerging Infectious Diseases* 25 (6): 1041-49. <https://doi.org/10.3201/eid2506.180138>.
- Roiz, David, Philippe Bousès, Frédéric Simard, Christophe Paupy, et Didier Fontenille. 2015. « Autochthonous Chikungunya Transmission and Extreme Climate Events in Southern France ». *PLoS Neglected Tropical Diseases* 9 (6): e0003854. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0003854>.
- Roiz, David, Paulina A. Pontifes, Frédéric Jourdain, Christophe Diagne, Boris Leroy, Anne-Charlotte Vaissière, María José Tolsá-García, Jean-Michel Salles, Frédéric Simard, et Franck Courchamp. 2024. « The rising global economic costs of invasive Aedes mosquitoes and Aedes-borne diseases ». *Science of The Total Environment*, mai, 173054. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173054>.

- Romeo-Aznar, Victoria, Richard Paul, Olivier Telle, et Mercedes Pascual. 2018. « Mosquito-Borne Transmission in Urban Landscapes: The Missing Link between Vector Abundance and Human Density ». *Proceedings. Biological Sciences* 285 (1884): 20180826. <https://doi.org/10.1098/rspb.2018.0826>.
- Romiti, Federico, Riccardo Casini, Adele Magliano, Arianna Ermenegildi, et Claudio De Liberato. 2022. « Aedes Albopictus Abundance and Phenology along an Altitudinal Gradient in Lazio Region (Central Italy) ». *Parasites & Vectors* 15 (1): 92. <https://doi.org/10.1186/s13071-022-05215-9>.
- Rosenberg, Eli S., Kate Doyle, Jorge L. Munoz-Jordan, Liore Klein, Laura Adams, Matthew Lozier, Kevin Weiss, Tyler M. Sharp, et Gabriela Paz-Bailey. 2019. « Prevalence and Incidence of Zika Virus Infection Among Household Contacts of Patients With Zika Virus Disease, Puerto Rico, 2016–2017 ». *The Journal of infectious diseases* 220 (6): 932-39. <https://doi.org/10.1093/infdis/jiy689>.
- Rosselló, Jaume, Maria Santana-Gallego, et Waqas Awan. 2017. « Infectious Disease Risk and International Tourism Demand ». *Health Policy and Planning* 32 (4): 538-48. <https://doi.org/10.1093/heapol/czw177>.
- Rosso, Fernando, Sarita Rodríguez, Jorge A. Cedano, Barbara L. Mora, Pablo A. Moncada, et Juan D. Velez. 2018. « Chikungunya in Solid Organ Transplant Recipients, a Case Series and Literature Review ». *Transplant Infectious Disease: An Official Journal of the Transplantation Society* 20 (6): e12978. <https://doi.org/10.1111/tid.12978>.
- Rosso, Fernando, Ana María Sanz, Luis Gabriel Parra-Lara, Pablo Andrés Moncada, Juan Diego Vélez, et Luis Armando Caicedo. 2019. « Dengue Virus Infection in Solid Organ Transplant Recipients: A Case Series and Literature Review ». *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 101 (6): 1226-31. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.19-0414>.
- Rothman, Sarah E., Jennifer A. Jones, Shannon L. LaDeau, et Paul T. Leisnham. 2021. « Higher West Nile Virus Infection in Aedes Albopictus (Diptera: Culicidae) and Culex (Diptera: Culicidae) Mosquitoes From Lower Income Neighborhoods in Urban Baltimore, MD ». *Journal of Medical Entomology* 58 (3): 1424-28. <https://doi.org/10.1093/jme/tjaa262>.
- Roy, Aurore. 2014. « Coût d'une épidémie de dengue en Nouvelle-Calédonie ». Direction des affaires sanitaires et sociales, service de santé publique. https://dass.gouv.nc/sites/default/files/atoms/files/epidemie_de_dengue_2012-2013.pdf.
- Rozé, Benoît, Fatiha Najioullah, Jean-Louis Fergé, Frédérique Dorléans, Kossivi Apetse, Jose-Luis Barnay, Elise Daudens-Vaysse, et al. 2017. « Guillain-Barré Syndrome Associated With Zika Virus Infection in Martinique in 2016: A Prospective Study ». *Clinical Infectious Diseases: An Official Publication of the Infectious Diseases Society of America* 65 (9): 1462-68. <https://doi.org/10.1093/cid/cix588>.
- Rueda, Juan C., Ana M. Santos, Jose-Ignacio Angarita, Rodrigo B. Giraldo, Eugenia-Lucia Saldarriaga, Jesús Giovanni Ballesteros Muñoz, Elías Forero, et al. 2019. « Demographic and Clinical Characteristics of Chikungunya Patients from Six Colombian Cities, 2014–2015 ». *Emerging Microbes & Infections* 8 (1): 1490-1500. <https://doi.org/10.1080/22221751.2019.1678366>.
- Safronetz, David, Angela Sloan, Derek R. Stein, Emelissa Mendoza, Nicole Barairo, Charlene Ranadheera, Leanne Scharikow, et al. 2017. « Evaluation of 5 Commercially Available Zika Virus Immunoassays ». *Emerging Infectious Diseases* 23 (9): 1577-80. <https://doi.org/10.3201/eid2309.162043>.

- Sangkaew, Sorawat, Damien Ming, Adhiratha Boonyasiri, Kate Honeyford, Siripen Kalayanarooj, Sophie Yacoub, Ilaria Dorigatti, et Alison Holmes. 2021. « Risk Predictors of Progression to Severe Disease during the Febrile Phase of Dengue: A Systematic Review and Meta-Analysis ». *The Lancet. Infectious Diseases* 21 (7): 1014-26. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(20\)30601-0](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(20)30601-0).
- Santé publique France. 2014. « Emergence du chikungunya dans les départements français d'Amérique: organisation et résultats de la surveillance épidémiologique, avril 2014 ». *BEH* 21-22:368-79.
- . 2016. « Dynamique et ampleur des épidémies de Zika en Martinique et en Guadeloupe de décembre 2015 à septembre 2016 ». *Bulletin de Veille Sanitaire Antilles - Guyane* 4:23-28.
- . 2017. « Point épidémiologique régional - Surveillance du virus Zika aux Antilles et en Guyane. Point au 23 février 2017. » Santé publique France - Guyane/ Santé publique France - Antilles. <https://www.santepubliquefrance.fr/regions/guyane/documents/bulletin-regional/2017/situation-epidemiologique-du-virus-zika-aux-antilles-et-en-guyane.-point-au-23-fevrier-2017>.
- . 2020. « Point épidémiologique régional - Dengue à Mayotte. Point au 10 décembre 2020. » Santé publique France - Mayotte. <https://www.santepubliquefrance.fr/regions/ocean-indien/documents/bulletin-regional/2020/surveillance-de-la-dengue-a-mayotte.-point-au-10-decembre-2020>.
- . 2023a. « Dengue: bilan de l'épidémie 2020-21 et actualités en 2023 ». Guyane: Santé publique France - Guyane. <https://www.santepubliquefrance.fr/regions/guyane/documents/bulletin-regional/2023/bulletin-de-sante-publique-dengue-en-guyane.-septembre-2023>.
- . 2023b. « Surveillance des arboviroses en France métropolitaine: nette augmentation des cas de dengue autochtone en 2022 ». *Bulletin épidémiologique hebdomadaire*, n° 14, 248-54.
- . 2024. « Point épidémiologique régional - Dengue en Guyane. Point au 15 février 2024. » Santé publique France - Guyane. <https://www.santepubliquefrance.fr/regions/guyane/documents/bulletin-regional/2024/dengue-en-guyane.-point-au-15-fevrier-2024>.
- Schilte, Clémentine, Frederik Staikowsky, Thérèse Couderc, Yoann Madec, Florence Carpentier, Somar Kassab, Matthew L. Albert, Marc Lecuit, et Alain Michault. 2013. « Chikungunya virus-associated long-term arthralgia: a 36-month prospective longitudinal study. » *PLoS neglected tropical diseases* 7 (3): e2137. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0002137>.
- Schneider, Martina, Marivic Narciso-Abraham, Sandra Hadl, Robert McMahon, Sebastian Toepfer, Ulrike Fuchs, Romana Hochreiter, et al. 2023. « Safety and Immunogenicity of a Single-Shot Live-Attenuated Chikungunya Vaccine: A Double-Blind, Multicentre, Randomised, Placebo-Controlled, Phase 3 Trial ». *The Lancet* 401 (10394): 2138-47. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(23\)00641-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(23)00641-4).
- Schuler-Faccini, Lavinia, Erlane M. Ribeiro, Ian M. L. Feitosa, Dafne D. G. Horovitz, Denise P. Cavalcanti, André Pessoa, Maria Juliana R. Dorigui, et al. 2016. « Possible Association Between Zika Virus Infection and Microcephaly - Brazil, 2015 ». *MMWR. Morbidity and Mortality Weekly Report* 65 (3): 59-62. <https://doi.org/10.15585/mmwr.mm6503e2>.
- Septfons, A., I. Leparç-Goffart, E. Couturier, F. Franke, J. Deniau, A. Balestier, A. Guinard, et al. 2016. « Travel-Associated and Autochthonous Zika Virus

- Infection in Mainland France, 1 January to 15 July 2016 ». *Euro Surveillance: Bulletin Europeen Sur Les Maladies Transmissibles = European Communicable Disease Bulletin* 21 (32): 30315. <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2016.21.32.30315>.
- Sepulveda, Edgardo R., et Ann-Sylvia Brooker. 2021. « Income inequality and COVID-19 mortality: Age-stratified analysis of 22 OECD countries ». *SSM - Population Health* 16 (août):100904. <https://doi.org/10.1016/j.ssmph.2021.100904>.
- Setbon, M, et J Raude. 2009. « Population Response to the Risk of Vector-Borne Diseases: Lessons Learned from Socio-Behavioural Research during Large-Scale Outbreaks ». *Emerging Health Threats Journal* 2 (1): 7083. <https://doi.org/10.3402/ehth.v2i0.7083>.
- Setbon, Michel, et Jocelyn Raude. 2008. « Le chikungunya à la Réunion : facteurs sociaux, environnementaux et comportementaux en situation épidémique ». *Population* 63 (3): 555-83. <https://doi.org/10.3917/popu.803.0555>.
- Sharma, Megha, Kapil Yadav, Nitika Yadav, et Keith C. Ferdinand. 2017. « Zika Virus Pandemic-Analysis of Facebook as a Social Media Health Information Platform. » *American Journal of Infection Control* 45 (3): 301-2. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2016.08.022>.
- Shaw, Christine A., Allison August, Stephan Bart, Peta-Gay Jackson Booth, Conor Knightly, Trevor Brasel, Scott C. Weaver, HongHong Zhou, et Lori Panther. 2023. « A Phase 1, Randomized, Placebo-Controlled, Dose-Ranging Study to Evaluate the Safety and Immunogenicity of an mRNA-Based Chikungunya Virus Vaccine in Healthy Adults ». *Vaccine* 41 (26): 3898-3906. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2023.04.064>.
- Shepard, Donald S., Laurent Coudeville, Yara A. Halasa, Betzana Zambrano, et Gustavo H. Dayan. 2011. « Economic Impact of Dengue Illness in the Americas. » *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 84 (2): 200-207. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.2011.10-0503>.
- Shepard, Donald S., Eduardo A. Undurraga, Yara A. Halasa, et Jeffrey D. Stanaway. 2016. « The Global Economic Burden of Dengue: A Systematic Analysis. » *The Lancet. Infectious Diseases* 16 (8): 935-41. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(16\)00146-8](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(16)00146-8).
- Sher, Chien-Yuan, Ho Ting Wong, et Yu-Chun Lin. 2020. « The Impact of Dengue on Economic Growth: The Case of Southern Taiwan. » *International Journal of Environmental Research and Public Health* 17 (3). <https://doi.org/10.3390/ijerph17030750>.
- Shewale, Jitesh B., Cecilia M. Ganduglia Cazaban, D. Kim Waller, Laura E. Mitchell, Peter H. Langlois, et A. J. Agopian. 2019. « Microcephaly Inpatient Hospitalization and Potential Zika Outbreak in Texas: A Cost and Predicted Economic Burden Analysis. » *Travel Medicine and Infectious Disease* 30 (août):67-72. <https://doi.org/10.1016/j.tmaid.2019.01.001>.
- Sidik, Saima May. 2022. « How COVID Has Deepened Inequality — in Six Stark Graphics ». 22 juin 2022. <https://www.nature.com/immersive/d41586-022-01647-6/index.html>.
- Simard, Frédéric, Elysée Nchoutpouen, Jean Claude Toto, et Didier Fontenille. 2005. « Geographic Distribution and Breeding Site Preference of *Aedes albopictus* and *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) in Cameroon, Central Africa ». *Journal of Medical Entomology* 42 (5): 726-31. <https://doi.org/10.1093/jmedent/42.5.726>.
- Simonin, Yannick, Debby van Riel, Philippe Van de Perre, Barry Rockx, et Sara Salinas. 2017. « Differential Virulence between Asian and African Lineages of

- Zika Virus ». *PLOS Neglected Tropical Diseases* 11 (9): e0005821. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0005821>.
- Sissoko, Daouda, Denis Malvy, Claude Giry, Gilles Delmas, Christophe Paquet, Philippe Gabrie, François Pettinelli, Marie Anne Sanquer, et Vincent Pierre. 2008. « Outbreak of Chikungunya Fever in Mayotte, Comoros Archipelago, 2005-2006 ». *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene* 102 (8): 780-86. <https://doi.org/10.1016/j.trstmh.2008.02.018>.
- Soh, Stacy, Soon Hoe Ho, Annabel Seah, Janet Ong, Borame Sue Dickens, Ken Wei Tan, Joel Ruihan Koo, et al. 2021. « Economic Impact of Dengue in Singapore from 2010 to 2020 and the Cost-Effectiveness of Wolbachia Interventions. » *PLOS Global Public Health* 1 (10): e0000024. <https://doi.org/10.1371/journal.pgph.0000024>.
- Solimini, Angelo G., Mattia Manica, Roberto Rosà, Alessandra Della Torre, et Beniamino Caputo. 2018. « Estimating the Risk of Dengue, Chikungunya and Zika Outbreaks in a Large European City ». *Scientific Reports* 8 (1): 16435. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-34664-5>.
- Solimini, Angelo, Chiara Virgillito, Mattia Manica, Piero Poletti, Giorgio Guzzetta, Giovanni Marini, Roberto Rosà, et al. 2023. « How Habitat Factors Affect an Aedes Mosquitoes Driven Outbreak at Temperate Latitudes: The Case of the Chikungunya Virus in Italy ». *PLoS Neglected Tropical Diseases* 17 (8): e0010655. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0010655>.
- Soumahoro, Man-Koumba, Pierre-Yves Boelle, Bernard-Alex Gaüzere, Kokuvi Atsou, Camille Pelat, Bruno Lambert, Guy La Ruche, et al. 2011. « The Chikungunya Epidemic on La Réunion Island in 2005-2006: A Cost-of-Illness Study. » *PLoS Neglected Tropical Diseases* 5 (6): e1197. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0001197>.
- Souza, William M. de, Shirlene T. S. de Lima, Leda M. Simões Mello, Darlan S. Candido, Lewis Buss, Charles Whittaker, Ingra M. Claro, et al. 2023. « Spatiotemporal Dynamics and Recurrence of Chikungunya Virus in Brazil: An Epidemiological Study ». *The Lancet Microbe* 4 (5): e319-29. [https://doi.org/10.1016/S2666-5247\(23\)00033-2](https://doi.org/10.1016/S2666-5247(23)00033-2).
- Souza, William M. de, Guilherme S. Ribeiro, Shirlene T. S. de Lima, Ronaldo de Jesus, Filipe R. R. Moreira, Charles Whittaker, Maria Anice M. Sallum, et al. 2024. « Chikungunya: A Decade of Burden in the Americas ». *The Lancet Regional Health – Americas* 30 (février). <https://doi.org/10.1016/j.lana.2023.100673>.
- Stegmann-Planchard, S., P. Gallian, B. Tressières, A. Lannuzel, A. Signaté, A. Cabié, et B. Hoen. 2018. « Le chikungunya, un facteur de risque de syndrome de Guillain-Barré ». *Médecine et Maladies Infectieuses*, 19es Journées Nationales d'Infectiologie - du mercredi 13 au vendredi 15 juin 2018 - Cité des Congrès de Nantes, 48 (4, Supplement): S16. <https://doi.org/10.1016/j.medmal.2018.04.054>.
- Stephenson, Caroline, Eric Coker, Samantha Wisely, Song Liang, Rhoel R. Dinglasan, et John A. Lednicky. 2022. « Imported Dengue Case Numbers and Local Climatic Patterns Are Associated with Dengue Virus Transmission in Florida, USA ». *Insects* 13 (2): 163. <https://doi.org/10.3390/insects13020163>.
- Succo, Tiphonie, Harold Noël, Birgit Nikolay, Marianne Maquart, Amandine Cochet, Isabelle Leparç-Goffart, Olivier Catelinois, et al. 2018. « Dengue Serosurvey after a 2-Month Long Outbreak in Nîmes, France, 2015: Was There More than Met the Eye? » *Eurosurveillance* 23 (23): 1700482. <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2018.23.23.1700482>.

- Tambyah, Paul A., Evelyn S.C. Koay, Michelle L.M. Poon, Raymond V.T.P. Lin, et Benjamin K.C. Ong. 2008. « Dengue Hemorrhagic Fever Transmitted by Blood Transfusion ». *New England Journal of Medicine* 359 (14): 1526-27. <https://doi.org/10.1056/NEJMc0708673>.
- Tan, Annabel X., Jessica A. Hinman, Hoda S. Abdel Magid, Lorene M. Nelson, et Michelle C. Odden. 2021. « Association Between Income Inequality and County-Level COVID-19 Cases and Deaths in the US ». *JAMA Network Open* 4 (5): e218799. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2021.8799>.
- Tan, Poh Lin, Joan Ryan, et Jeremy W. Lim-Soh. 2024. « Epidemics, pandemics and fertility change: responses to Zika and COVID-19 in Singapore ». *Asian Population Studies* 0 (0): 1-22. <https://doi.org/10.1080/17441730.2024.2311447>.
- Tarragona, Sonia, Malena Monteverde, Silvia Marchioni, Joaquín Caporale, Ana Cristina Pereiro, et Julio Maximiliano Palacios. 2012. « [Dengue in Argentina: an economic analysis of the impact of the 2009 epidemic]. » *Salud colectiva* 8 (2): 151-62. <https://doi.org/10.1590/S1851-82652012000200004>.
- Tedjou, Armel N., Basile Kamgang, Aurélie P. Yougang, Theodel A. Wilson-Bahun, Flobert Njiokou, et Charles S. Wondji. 2020. « Patterns of Ecological Adaptation of *Aedes Aegypti* and *Aedes Albopictus* and *Stegomyia* Indices Highlight the Potential Risk of Arbovirus Transmission in Yaoundé, the Capital City of Cameroon ». *Pathogens* 9 (6): 491. <https://doi.org/10.3390/pathogens9060491>.
- Thomas, Stephanie Margarete, Ulla Obermayr, Dominik Fischer, Juergen Kreyling, et Carl Beierkuhnlein. 2012. « Low-temperature threshold for egg survival of a post-diapause and non-diapause European aedine strain, *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) ». *Parasites & Vectors* 5 (1): 100. <https://doi.org/10.1186/1756-3305-5-100>.
- Thompson, Ryan, Jorge Martin Del Campo, et Dagna Constenla. 2020. « A Review of the Economic Evidence of Aedes-Borne Arboviruses and Aedes-Borne Arboviral Disease Prevention and Control Strategies. » *Expert Review of Vaccines* 19 (2): 143-62. <https://doi.org/10.1080/14760584.2020.1733419>.
- Thuilliez, Josselin, et Yves Dumont. 2019. « Public Mosquito Abatement: A Cluster Randomized Experiment ». *The World Bank Economic Review* 33 (2): 479-97. <https://doi.org/10.1093/wber/lhw066>.
- Tinto, Bachirou, Didier Patindé Alexandre Kaboré, Dramane Kania, Thérèse Samdapawindé Kagoné, Alice Kiba-Koumaré, Laura Pinceloup, Guillaume Thaurignac, et al. 2022. « Serological Evidence of Zika Virus Circulation in Burkina Faso ». *Pathogens (Basel, Switzerland)* 11 (7): 741. <https://doi.org/10.3390/pathogens11070741>.
- Tjaden, Nils Benjamin, Yanchao Cheng, Carl Beierkuhnlein, et Stephanie Margarete Thomas. 2021. « Chikungunya Beyond the Tropics: Where and When Do We Expect Disease Transmission in Europe? » *Viruses* 13 (6): 1024. <https://doi.org/10.3390/v13061024>.
- Tomasello, Danilo, et Patricia Schlagenhauf. 2013. « Chikungunya and dengue autochthonous cases in Europe, 2007–2012 ». *Travel Medicine and Infectious Disease* 11 (5): 274-84. <https://doi.org/10.1016/j.tmaid.2013.07.006>.
- Tozan, Yesim, Tyler Y. Headley, Maquines Odhiambo Sewe, Eli Schwartz, Tamar Shemesh, Jakob P. Cramer, Kirsten A. Eberhardt, et al. 2019. « A Prospective Study on the Impact and Out-of-Pocket Costs of Dengue Illness in International Travelers. » *The American journal of tropical medicine and hygiene* 100 (6): 1525-33. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.18-0780>.

- Trentini, F., P. Poletti, F. Baldacchino, A. Drago, F. Montarsi, G. Capelli, A. Rizzoli, et al. 2018. « The Containment of Potential Outbreaks Triggered by Imported Chikungunya Cases in Italy: A Cost Utility Epidemiological Assessment of Vector Control Measures. » *Scientific Reports* 8 (1): 9034. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-27443-9>.
- Tsetsarkin, Konstantin A., Dana L. Vanlandingham, Charles E. McGee, et Stephen Higgs. 2007. « A Single Mutation in Chikungunya Virus Affects Vector Specificity and Epidemic Potential ». *PLOS Pathogens* 3 (12): e201. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.0030201>.
- Uhart, M., C. Blein, M. L'Azou, L. Thomas, et L. Durand. 2016. « Costs of Dengue in Three French Territories of the Americas: An Analysis of the Hospital Medical Information System (PMSI) Database. » *The European Journal of Health Economics: HEPAC: Health Economics in Prevention and Care* 17 (4): 497-503. <https://doi.org/10.1007/s10198-015-0694-9>.
- UNDP, IFRC, et ISGlobal. 2017. « A Socio-Economic Impact Assessment of the Zika Virus in Latin America and the Caribbean - with a Focus on Brazil, Columbia and Suriname ». United Nations Development Programme. <https://www.undp.org/publications/socio-economic-impact-assessment-zika-virus-latin-america-and-caribbean>.
- Undurraga, Eduardo A., Miguel Betancourt-Cravioto, José Ramos-Castañeda, Ruth Martínez-Vega, Jorge Méndez-Galván, Duane J. Gubler, María G. Guzmán, et al. 2015. « Economic and Disease Burden of Dengue in Mexico. » *PLoS Neglected Tropical Diseases* 9 (3): e0003547. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0003547>.
- Vahey, Grace M., Sarabeth Mathis, Stacey W. Martin, Carolyn V. Gould, J. Erin Staples, et Nicole P. Lindsey. 2021. « West Nile Virus and Other Domestic Nationally Notifiable Arboviral Diseases - United States, 2019 ». *MMWR. Morbidity and Mortality Weekly Report* 70 (32): 1069-74. <https://doi.org/10.15585/mmwr.mm7032a1>.
- Vandentorren, Stéphanie, Sabira Smaïli, Edouard Chatignoux, Marine Maurel, Caroline Alleaume, Lola Neufcourt, Michelle Kelly-Irving, et Cyrille Delpierre. 2022. « The Effect of Social Deprivation on the Dynamic of SARS-CoV-2 Infection in France: A Population-Based Analysis ». *The Lancet Public Health* 7 (3): e240-49. [https://doi.org/10.1016/S2468-2667\(22\)00007-X](https://doi.org/10.1016/S2468-2667(22)00007-X).
- Vazeille, Marie, Leon Rosen, Laurence Mousson, et Anna-Bella Failloux. 2003. « Low Oral Receptivity for Dengue Type 2 Viruses of Aedes Albopictus from Southeast Asea Compared to That of Aedes Aegypti ». *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 68 (2): 203-8. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.2003.68.203>.
- Vazquez-Prokopec, Gonzalo M., Luis F. Chaves, Scott A. Ritchie, Joe Davis, et Uriel Kitron. 2010. « Unforeseen Costs of Cutting Mosquito Surveillance Budgets. » *PLoS Neglected Tropical Diseases* 4 (10): e858. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0000858>.
- Vega-Rúa, Anubis, Michele Marconcini, Yoann Madec, Mosè Manni, Davide Carraretto, Ludvik Marcus Gomulski, Giuliano Gasperi, Anna-Bella Failloux, et Anna Rodolfa Malacrida. 2020. « Vector Competence of Aedes Albopictus Populations for Chikungunya Virus Is Shaped by Their Demographic History ». *Communications Biology* 3 (1): 1-13. <https://doi.org/10.1038/s42003-020-1046-6>.
- Vega-Rúa, Anubis, Karima Zouache, Romain Girod, Anna-Bella Failloux, et Ricardo Lourenço-de-Oliveira. 2014. « High Level of Vector Competence of Aedes Aegypti and Aedes Albopictus from Ten American Countries as a Crucial

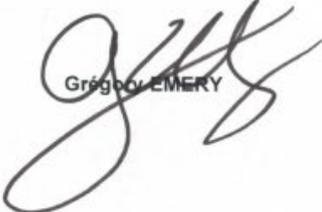
- Factor in the Spread of Chikungunya Virus ». *Journal of Virology* 88 (11): 6294-6306. <https://doi.org/10.1128/JVI.00370-14>.
- Vincent, Muriel, Marie Claire Paty, Patrick Gerardin, Elsa Balleydier, Aurélie Etienne, Jamel Daoudi, Fabian Thouillot, et al. 2023. « From Dengue Outbreaks to Endemicity: Reunion Island, France, 2018 to 2021 ». *Eurosurveillance* 28 (29): 2200769. <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2023.28.29.2200769>.
- Von Nordheim, Gerret, Karin Boczek, et Lars Koppers. 2018. « Sourcing the Sources: An Analysis of the Use of Twitter and Facebook as a Journalistic Source over 10 Years in *The New York Times*, *The Guardian*, and *Süddeutsche Zeitung* ». *Digital Journalism* 6 (7): 807-28. <https://doi.org/10.1080/21670811.2018.1490658>.
- Vouga, Manon, Marco P. Alves, Isabelle Éperon, Gilles Eperon, Laurence Rochat, Roland Sahli, Didier Musso, et David Baud. 2016. « Virus Zika : de la recherche au vaccin ». *Rev Med Suisse* 536:1794-98.
- Wachira, Virginia Kagure, Gilmara Lima Nascimento, Henry Maia Peixoto, et Maria Regina Fernandes de Oliveira. 2021. « Burden of Disease of Guillain-Barré Syndrome in Brazil before and during the Zika Virus Epidemic 2014-2016. » *Tropical Medicine & International Health: TM & IH* 26 (1): 66-81. <https://doi.org/10.1111/tmi.13508>.
- Waldock, Joanna, Nastassya L. Chandra, Jos Lelieveld, Yiannis Proestos, Edwin Michael, George Christophides, et Paul E. Parham. 2013. « The role of environmental variables on *Aedes albopictus* biology and chikungunya epidemiology ». *Pathogens and Global Health* 107 (5): 224-41. <https://doi.org/10.1179/2047773213Y.0000000100>.
- Wang, Tao, Man Wang, Bo Shu, Xue-qin Chen, Le Luo, Jin-yu Wang, Yong-zhuang Cen, et al. 2015. « Evaluation of Inapparent Dengue Infections During an Outbreak in Southern China ». *PLOS Neglected Tropical Diseases* 9 (3): e0003677. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0003677>.
- Warnke, K., et J. Paul. 2016. « [Zika Virus - Impact on the 2016 Olympic Games in Rio de Janeiro]. » *Sportverletzung Sportschaden: Organ der Gesellschaft für Orthopädisch-Traumatologische Sportmedizin* 30 (3): 154-56. <https://doi.org/10.1055/s-0042-110251>.
- Weaver, Scott C., et Naomi L. Forrester. 2015. « Chikungunya: Evolutionary history and recent epidemic spread ». *Antiviral Research* 120:32-39. <https://doi.org/10.1016/j.antiviral.2015.04.016>.
- Wenham, Clare, Amaral Arevalo, Ernestina Coast, Sonia Corrêa, Katherine Cuellar, Tiziana Leone, et Sandra Valongueiro. 2019. « Zika, Abortion and Health Emergencies: A Review of Contemporary Debates. » *Globalization and Health* 15 (1): 49. <https://doi.org/10.1186/s12992-019-0489-3>.
- WHO. 2009. *Dengue Guidelines for Diagnosis, Treatment, Prevention and Control: New Edition*. World Health Organization. Genève, Suisse: World Health Organization. <https://iris.who.int/handle/10665/44188>.
- . 2022a. « Chikungunya Fact Sheet ». 2022. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/chikungunya>.
- . 2022b. « Zika (maladie à virus) ». 2022. <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/zika-virus>.
- . 2023a. « Dengue and Severe Dengue ». 2023. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/dengue-and-severe-dengue>.
- . 2023b. « Dengue- Global Situation ». 2023. <https://www.who.int/emergencies/disease-outbreak-news/item/2023-DON498>.

- Widmar, Nicole J. Olynk, S. R. Dominick, Audrey Ruple, et Wallace E. Tyner. 2017. « The Influence of Health Concern on Travel Plans with Focus on the Zika Virus in 2016. » *Preventive Medicine Reports* 6 (juin):162-70. <https://doi.org/10.1016/j.pmedr.2017.02.023>.
- Wilder-Smith, Annelies, Eng-Eong Ooi, Olaf Horstick, et Bridget Wills. 2019. « Dengue ». *The Lancet* 393 (10169): 350-63. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)32560-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)32560-1).
- Wilson, Mary E., Lin H. Chen, Pauline V. Han, Jay S. Keystone, Jakob P. Cramer, Aluisio Segurado, DeVon Hale, et al. 2014. « Illness in Travelers Returned From Brazil: The GeoSentinel Experience and Implications for the 2014 FIFA World Cup and the 2016 Summer Olympics ». *Clinical Infectious Diseases* 58 (10): 1347-56. <https://doi.org/10.1093/cid/ciu122>.
- Winneg, Kenneth M., Jo Ellen Stryker, Daniel Romer, et Kathleen Hall Jamieson. 2018. « Differences Between Florida and the Rest of the United States in Response to Local Transmission of the Zika Virus: Implications for Future Communication Campaigns ». *Risk Analysis* 38 (12): 2546-60. <https://doi.org/10.1111/risa.13010>.
- Worobey, Michael, Jonathan Pekar, Brendan B. Larsen, Martha I. Nelson, Verity Hill, Jeffrey B. Joy, Andrew Rambaut, Marc A. Suchard, Joel O. Wertheim, et Philippe Lemey. 2020. « The Emergence of SARS-CoV-2 in Europe and North America ». *Science (New York, N.Y.)* 370 (6516): 564-70. <https://doi.org/10.1126/science.abc8169>.
- Yébakima, A. 1996. « Control of *Aedes aegypti* in Martinique. Contribution of entomology studies ». *Bulletin De La Societe De Pathologie Exotique (1990)* 89 (2): 161-62.
- Yu, Yi, Ying Liu, Feng Ling, Jimin Sun, et Jianmin Jiang. 2023. « Epidemiological Characteristics and Economic Burden of Dengue in Zhejiang Province, China. » *Viruses* 15 (8). <https://doi.org/10.3390/v15081731>.
- Zellweger, Raphaël M., Jorge Cano, Morgan Mangeas, François Taglioni, Alizé Mercier, Marc Despinoy, Christophe E. Menkès, Myrielle Dupont-Rouzeyrol, Birgit Nikolay, et Magali Teurlai. 2017. « Socioeconomic and Environmental Determinants of Dengue Transmission in an Urban Setting: An Ecological Study in Nouméa, New Caledonia ». *PLoS Neglected Tropical Diseases* 11 (4): e0005471. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0005471>.
- Zeng, Wu, Yara A. Halasa-Rappel, Laure Durand, Laurent Coudeville, et Donald S. Shepard. 2018. « Impact of a Nonfatal Dengue Episode on Disability-Adjusted Life Years: A Systematic Analysis. » *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 99 (6): 1458-65. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.18-0309>.
- Zhang, Jing Hua, Juan Yuan, et Tao Wang. 2017. « Direct Cost of Dengue Hospitalization in Zhongshan, China: Associations with Demographics, Virus Types and Hospital Accreditation. » *PLoS Neglected Tropical Diseases* 11 (8): e0005784. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0005784>.
- Zhuravskaya, Ekaterina, Maria Petrova, et Ruben Enikolopov. 2020. « Political Effects of the Internet and Social Media ». SSRN Scholarly Paper. Rochester, NY. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3439957>.
- Zouache, Karima, Albin Fontaine, Anubis Vega-Rua, Laurence Mousson, Jean-Michel Thiberge, Ricardo Lourenco-De-Oliveira, Valérie Caro, Louis Lambrechts, et Anna-Bella Failloux. 2014. « Three-way interactions between mosquito population, viral strain and temperature underlying chikungunya virus transmission potential ». *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 281 (1792): 20141078. <https://doi.org/10.1098/rspb.2014.1078>.

Zubieta-Zavala, Adriana, Malaquias López-Cervantes, Guillermo Salinas-Escudero, Adrian Ramírez-Chávez, José Ramos Castañeda, Sendy Isarel Hernández-Gaytán, Juan Guillermo López Yescas, et Luis Durán-Arenas. 2018. « Economic Impact of Dengue in Mexico Considering Reported Cases for 2012 to 2016. » *PLoS Neglected Tropical Diseases* 12 (12): e0006938. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0006938>.

ANNEXES

Annexe 1 : Lettre de saisine

 MINISTÈRE DE LA SANTÉ ET DE LA PRÉVENTION <i>Liberté Égalité Fraternité</i>	2022-SA-0146 Direction générale de la santé
SOUS-DIRECTION VEILLE ET SECURITE SANITAIRE BUREAU DES RISQUES INFECTIEUX EMERGENTS ET DES VIGILANCES Affaire suivie par : Albert GODAL Tél. : 01.40.56. 65. 06 Mél. : albert.godal@sante.gouv.fr	Paris, le – 3 AOUT 2022
Nos réf. : D-22-016554	Le Directeur général adjoint de la santé à Monsieur Roger GENET Directeur Général de l'agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"><p style="text-align: center;">Courrier arrivé</p><div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin: 0 auto;"><p style="text-align: center;">10 AOUT 2022</p></div><p style="text-align: center;">DIRECTION GENERALE</p></div>	
<p>Objet : Saisine sur la probabilité d'apparition d'épidémies de maladies transmises par les moustiques en métropole et sur leurs impacts sur la santé et l'économie</p> <p>La première installation du moustique vecteur <i>Aedes albopictus</i> en métropole a été constatée en 2004 à Menton. La colonisation du territoire métropolitain a été continue depuis cette date et, fin 2021, le moustique tigre était implanté durablement dans 67 départements de métropole.</p> <p>La part de la population exposée au moustique tigre augmente proportionnellement à cette avancée. Aujourd'hui 36 % de la population de France métropolitaine réside dans des communes colonisées et se trouve exposés à un risque de transmission vectoriel.</p> <p>Le système de surveillance des cas d'arboviroses, lequel repose principalement sur la déclaration obligatoire des cas humains aux ARS et à Santé publique France, permet une intervention rapide autour des cas détectés, ce qui a contribué de manière efficace à prévenir les départs d'épidémies. Cependant l'impact des arboviroses en région intertropicale croît chaque année et le risque d'importation de cas et de transmission autochtone est réel, c'est pourquoi je sollicite votre expertise pour étudier :</p> <ul style="list-style-type: none">– La probabilité d'apparition d'épidémies d'arboviroses transmises par les moustiques (<i>Aedes albopictus</i> ou <i>Culex</i>) en métropole ;– L'ampleur d'une éventuelle épidémie ;– Les impacts socio-économiques de ces épidémies (dont les impacts sur la santé humaine, le système de santé et les activités économiques (tourisme, arrêt de travail etc.) et sociales notamment) <p>Je souhaite disposer de votre avis dans les 12 mois à compter de la création du groupe de travail en charge de ce dossier, compte tenu des grandes échéances sportives à venir sur le territoire national.</p> <p>Mes services se tiennent à votre disposition pour toute question complémentaire.</p>	
 Grégoire EMERY	
<p>14 avenue Duquesne – 75350 Paris 07 SP Tél. 01 40 56 60 00 - www.social-sante.gouv.fr</p> <p><small>Le traitement de vos données est nécessaire à la gestion de votre demande et entre dans le cadre des missions confiées aux ministères sociaux. Conformément au règlement général sur la protection des données (RGPD), vous pouvez exercer vos droits à l'adresse dgs-rgpd@sante.gouv.fr ou par voie postale. Pour en savoir plus : https://solidarites-sante.gouv.fr/ministere/article/donnees-personnelles-et-cookies</small></p>	

Annexe 2 : Tableau des incertitudes de notation

Expression de l'incertitude		Critères d'attribution des indices d'incertitude
Indice (ii)	Qualification	
1	Faible	La note attribuée est fondée sur des résultats convergents d'études scientifiques ou sur un système de collecte de données de fiabilité reconnue.
2	Moyen	La note attribuée est fondée sur un nombre limité d'études scientifiques ou sur un système de collecte de données de fiabilité limitée ET la présence de convergence entre auteurs et/ou experts.
3	Elevé	La note attribuée est fondée sur : <ul style="list-style-type: none"> • un nombre limité d'études scientifiques ou sur un système de collecte de données de fiabilité limitée ET l'absence de consensus entre auteurs et/ou experts ; • ou sur un avis individuel d'expert en l'absence d'études scientifiques ou de système de collecte de données.
4	Absence de données	Aucune note n'est attribuée du fait de l'absence totale de données et d'avis d'expert.

Annexe 3 : Valeurs chiffrées proposées pour chaque qualificatif de probabilité et correspondance avec les valeurs ordinales (Afssa, 2008)

Echelle ordinale	Qualificatifs
0	Nulle
1	Quasi-nulle
2	Minime
3	Extrêmement faible
4	Très faible
5	Faible
6	Peu élevée
7	Assez élevée
8	Elevée
9	Très élevée

Annexe 4 : Description des facteurs influençant l'apparition ou l'ampleur d'un épisode de transmission d'arbovirus transmis par *Aedes albopictus*

Facteur discriminant : présence ou absence d'*Ae. albopictus* sur le territoire étudié

Un département est considéré colonisé si au moins une commune de ce département est officiellement colonisée par *Aedes albopictus*. L'instruction n° DGS/VSS1/2019/258 relative à la prévention des arboviroses¹⁰⁷ définit une commune comme colonisée par cette espèce vectrice si au moins un des trois critères suivants est rempli :

- détection d'œufs sur trois relevés successifs de pièges pondoirs ;
- observation de larves ou d'adultes par prospection entomologique dans un rayon supérieur à 150 m autour d'un signalement ou d'un piège positif ;
- la distance entre deux pièges positifs ou deux signalements positifs de particuliers est supérieure à 500 m.

Le statut d'un département peut être connu à partir des données du site www.signalement-moustique.anses.fr ou des cartes mises à disposition par la DGS. Ces cartes sont mises à jour sur le site du ministère chargé de la Santé le 1^{er} janvier de chaque année à partir de la base de données SI-LAV¹⁰⁸ gérée par la DGS. Cette base de donnée est mise à jour en temps réel et est en accès restreint (ARS, DGS, SpF et opérateurs de démoustication). Des limites du dispositif de surveillance entomologique peuvent néanmoins conduire à ce qu'une commune soit colonisée avant sa déclaration comme telle dans les bases de données officielles, notamment car les citoyens ne déclarent pas forcément immédiatement la présence du moustique-tigre.

En l'absence de moustique-tigre, la transmission autochtone ne peut pas avoir lieu : seuls des cas importés pourront être observés.

¹⁰⁷ <https://www.legifrance.gouv.fr/download/pdf/circ?id=44904>

¹⁰⁸ Système d'information du ministère chargé de la Santé dédié à la prévention des maladies vectorielles, mentionné dans l'article R.3114-13 du code de la santé publique et défini dans l'arrêté du 23 juillet 2019 relatif aux modalités de mise en œuvre des missions de surveillance entomologique, d'intervention autour des détections et de prospection, traitement et travaux autour des lieux fréquentés par les cas humains de maladies transmises par les moustiques vecteurs. Y sont enregistrés les « *suites données aux signalements de particuliers, le positionnement des pièges, le résultat des relevés de ces pièges, les résultats des prospections entomologiques péri-domiciliaires, les résultats de la surveillance des sites sensibles et points d'entrée, les actions de mobilisations sociales et le détail des interventions autour des lieux de contamination, de passage et de séjour de cas humains de maladies transmises par les insectes.* »

Facteurs liés à l'environnement

❖ Abondance ou densité vectorielle

La saisonnalité de l'activité d'*Ae. albopictus* est très marquée en France tempérée. Le moustique est actif dans la période de non-diapause conditionnée par la photopériode, soit de mai à novembre dans la région PACA ou Occitanie (Lacour et al. 2015; Roiz et al. 2015), bien que des détections précoces (dès début avril) et tardives (jusqu'en décembre) favorisées par les changements climatiques soit de plus en plus fréquemment observées (Petrić et al. 2021). Localement, la dynamique saisonnière des populations d'*Ae. albopictus* est suivie par échantillonnage des adultes (pièges avec ou sans leurre olfactif), des larves (nombre et productivité de différents types de gîtes larvaires naturels) et/ou des œufs (collectés sur pièges-pondoirs). La densité vectorielle peut être suivie de manière séquentielle dans le cadre d'études longitudinales, mais il n'existe à ce jour **aucune association quantitative démontrée entre les différents indices construits à partir des données entomologiques** (nombre d'œufs/piège, indices larvaires, nombre de femelles/piège), l'intensité du contact être humain-vecteur ou encore le risque épidémiologique (Fontenille et al. 2009; Yébakima 1996). La mesure de la densité vectorielle avec les outils entomologiques n'est qu'une approximation de la densité vectorielle réelle.

En conséquence, les estimations de la densité vectorielle n'étant ni précises, ni disponibles sur l'ensemble du territoire français, **les experts ont choisi de retenir d'autres facteurs connus pour influençant directement la densité de vecteurs et/ou la capacité vectorielle d'*Ae. albopictus***. Selon la littérature, l'abondance relative d'*Ae. albopictus*, une fois implanté dans un territoire, est conditionnée en grande partie par des variables climatiques, principalement liées la température et aux précipitations (Roiz et al. 2015; Jourdain 2021).

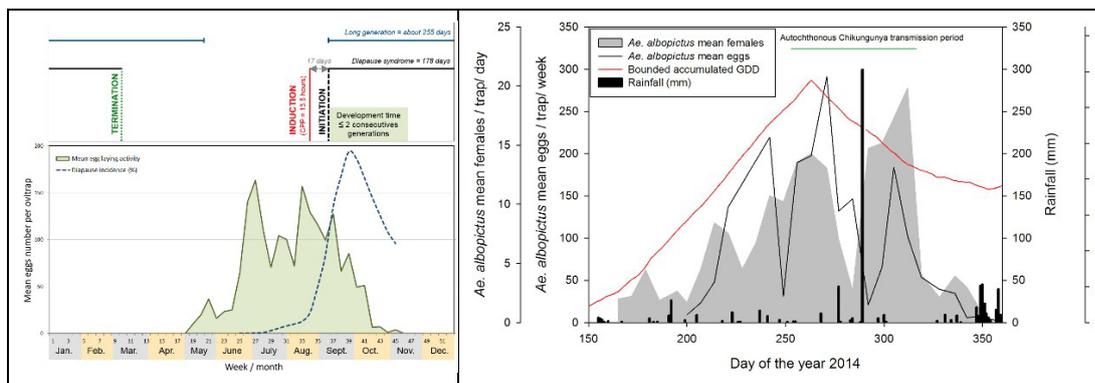


Figure 11.. Dynamique saisonnière d'*Aedes albopictus* conditionnée par la diapause (gauche, tiré de Lacour et al., 2015) et par la température accumulée et les précipitations (droite, tiré de Roiz et al., 2015).

Les facteurs choisis sont donc les *Growing Degree Days*, l'occupation du sol, la végétation observée dans la zone ainsi que les précipitations.

❖ **Growing Degree Days**

Le *Growing degree days* (GDD - indice de degrés-jours de croissance) est une mesure de la quantité de chaleur accumulée au cours d'une période donnée (Neteler et al. 2011). Il est calculé en additionnant les températures journalières moyennes supérieures à un seuil donné, en général sur une année. Il est également possible de le calculer sur une semaine. Calculé sur la semaine précédente et avec un seuil de 11°C, le GDD explique la majeure partie de la dynamique saisonnière des femelles *Ae. albopictus* en 2014 à Montpellier (Roiz et al. 2015).

Le GDD est également significativement associé à la survenue d'épisodes de transmission autochtone (Jourdain et al. 2020), conditionnant la densité vectorielle, la longévité des adultes mais aussi la période d'incubation extrinsèque, et donc la capacité vectorielle de la population de moustiques-tigres en un lieu donné, à un moment donné.

Le GDD se calcule à partir des données de températures, disponibles à partir des stations météo locales. En conséquence, ce n'est pas une mesure disponible et interprétable plusieurs mois à l'avance, mais d'une semaine à l'autre.

D'autres indicateurs de température existent : il est possible d'utiliser les températures moyennes avec minima et maxima. Par exemple, en Floride, Stephenson et al. (2022) ont montré que les municipalités avec des températures moyennes de 26,1-26,7°C, aux minimas supérieurs à 17,5-20,8°C et maximas inférieurs à 33,6-34,7°C, étaient associées à la transmission autochtone du virus de la dengue par *Ae. aegypti*. Cependant, ces seuils ne sont pas disponibles pour *Aedes albopictus* en régions tempérées.

Au-delà d'une certaine température, spécifique du couple virus-vecteur, il existe un effet délétère sur le moustique et les virus : le développement du virus chez le vecteur ne peut plus se faire ou est fortement ralenti. L'influence de ce facteur sur la probabilité d'apparition et l'ampleur d'un épisode de transmission est évalué pour des valeurs inférieures à cette température.

❖ **Occupation du sol**

L'identification de zones favorables à la pullulation d'*Ae. albopictus* peut-être guidée par la télédétection en utilisant différents proxys, plus ou moins corrélés au nombre potentiel de gîtes larvaires présents dans l'environnement.

Dans les zones urbaines, les larves d'*Ae. albopictus* sont souvent retrouvées dans toutes sortes de conteneurs, généralement des conteneurs artificiels tels que des pneus usagés, des conteneurs mis au rebut, des boîtes de conserve, des bocaux et des réservoirs d'eau (Simard et al. 2005; Tedjou et al. 2020). Il importe donc d'avoir un proxy facilitant la représentation de ces conteneurs.

Dans les zones péri-urbaines, *Ae. albopictus* est majoritairement présent dans les conteneurs retrouvés dans les jardins pavillonnaires ou les friches, comme les pots de fleurs, les réserves d'eau de pluie, etc. Un proxy de ces gîtes larvaires peut être la proportion d'habitat pavillonnaire ou proportion de bâti, en fonction de l'échelle considérée et de la granulométrie adaptée (Delatte et al. 2010; Waldoock et al. 2013).

❖ Végétation observée dans la zone

En France hexagonale, *Ae. albopictus* est essentiellement présent en zone urbaine et périurbaine. Un taux de couverture végétale élevé sur un rayon de 300 mètres, tel qu'observé en zone périurbaine ou résidentielle, a été associé à la survenue des épisodes de transmission autochtone en France hexagonale (Jourdain *et al.* 2020, 2021). A Tokyo, *Ae. albopictus* présent en grande densité dans le parc urbain Yoyogi est à l'origine d'une flambée épidémique de dengue autochtone avec plus de 160 cas répertoriés au cœur de la cité en 2014 (Kutsuna *et al.* 2015). Si le couvert végétal reste un facteur favorable à la survenue d'épisodes de transmission autochtone par *Ae. albopictus*, un tissu urbain discontinu avec entre 30 et 80 % de surfaces artificielles imperméabilisées apparaît également comme un facteur favorisant la présence et la pullulation du moustique tigre en zone urbaine (Jourdain *et al.* 2021). L'indice NDVI (Indice de végétation par différence normalisée) peut s'avérer un indicateur pertinent pour estimer le taux de couverture végétale dans une région ou sur un périmètre donné, mais se révèle peu opérationnel dans le cadre d'une analyse de risques sur le court terme (F. Jourdain, comm. pers.). Des études sont en cours en région Occitanie pour préciser les interactions entre moustique et végétalisation (nature, structure, distribution) en ville, dans les territoires colonisés.

❖ Précipitations

Des précipitations modérées avec des moyennes mensuelles de 114-127 mm ont été associées à la transmission autochtone du virus de la dengue par *Ae. aegypti* en Floride (Stephenson *et al.*, 2022). En Italie, les précipitations accumulées un mois avant les captures ont été corrélées de manière négative avec les abondances de moustiques, mais à Montpellier elles ont été corrélées de manière positive avec les abondances (Roiz *et al.*, 2010 ; Roiz *et al.*, 2015). Les précipitations ou leur cumul n'ont pas été identifiées comme facteurs principaux conduisant à la survenue d'événements de transmission autochtone en France, mais plutôt comme facteurs secondaires, selon certains modèles univariés ou multivariés (Jourdain *et al.*, 2020).

En général, l'effet des précipitations est complexe à évaluer, et ne dépend pas seulement des quantités accumulées : leur distribution dans le temps, la survenue d'événements extrêmes et l'alternance avec des périodes de sécheresse sont des facteurs à prendre en compte. Par ailleurs, l'impact des précipitations est contrebalancé par les pratiques locales d'usage et de stockage des eaux pendant les périodes les plus sèches (irrigation, récupération et stockage des eaux de pluie), le moustique tigre affectionnant particulièrement les gîtes larvaires artificiels entretenus par les activités anthropiques.

Utilisation des facteurs température, précipitations, occupation du sol et couverture végétale :

Les quatre facteurs précédents ne sont pas interprétables seuls, mais doivent être combinés. Le modèle ARBOCARTO combine une partie de ces paramètres. Les événements exceptionnels (par exemple les épisodes méditerranéens) sont également à prendre en compte.

ARBOCARTO est un outil de cartographie prédictive des densités de populations de moustiques *Aedes* à une échelle spatiale adaptée à l'organisation des actions de surveillance et de contrôle. Les données d'entrée du modèle sont des données météorologiques locales (température et pluviométrie quotidiennes) et des données environnementales sur la distribution des gîtes de ponte des moustiques, obtenues à partir de relevés de terrain, de données de télédétection à haute ou très haute résolution spatiale, ou de données additionnelles (*Urban Atlas*, occupations du sol produites par le CES OSO ou l'IGN, *OpenStreetMap*). Les sorties de l'outil sont des cartographies des densités de moustiques pour différents stades (œufs, larves, adultes), à des échelles spatiales (quartier, îlot IRIS, etc.) et temporelles (fréquences journalières, hebdomadaires, mensuelles, etc.) choisies par l'utilisateur et dans différents formats géographiques pour une visualisation dans un logiciel de Système d'Information Géographique (.shp) ou avec Google Earth (.kml). L'outil ARBOCARTO est développé par des chercheurs du CIRAD (Unités Mixtes de Recherche TETIS et ASTRE) et Marie Demarchi, ingénieure en géomatique, afin de consolider la stratégie de lutte et de surveillance mise en œuvre par les services de lutte antivectorielle. Il permet la cartographie en temps réel des densités de populations d'*Aedes* et la simulation d'actions de contrôle (destruction de gîtes larvaires, utilisation d'insecticides, etc.) et de leur impact sur les populations de moustiques.

Les cartes produites par l'outil permettent de cibler en priorité les lieux où un risque d'abondance de moustiques est très élevé, afin d'orienter les actions de surveillance, de mobilisation sociale et de lutte antivectorielle (Cailly et al. 2012). Il est actuellement utilisé à La Réunion, à l'île Maurice et en Guadeloupe et Martinique.

❖ **Ancienneté de la colonisation du département par *Aedes albopictus***

L'ancienneté de la colonisation n'est pas un proxy suffisant pour estimer la densité vectorielle et l'intensité du contact être humain-vecteurs. D'abord, car la date officielle de colonisation de la commune ou du département n'est pas toujours la date réelle du début de la colonisation (biais de signalement). Ensuite, car différents processus de colonisation (progression de proche en proche *versus* saut sur de longues distances) produisent différents résultats en termes d'expansion des populations vectorielles (Roche *et al.*, 2015).

De plus, le bilan des données de terrain des épisodes entre 2010 et 2022 réalisé par Santé publique France (non publié) montre que les dates de colonisation ne sont pas directement corrélées au risque d'épisode de transmission.

En conséquence, ce facteur n'a pas été pris en compte par les experts du GT.

Facteurs liés aux populations humaines

❖ Pourcentage de la population exposée

Ce facteur correspond au pourcentage de la population d'un département vivant dans une commune connue comme colonisée. Ce pourcentage ne prend pas en considération les flux touristiques.

Ce facteur permet de relativiser la colonisation d'un département par *Aedes albopictus* (par exemple, en 2022, seule 3,5 % de la population de Haute Vienne (87) était exposée à *Ae. albopictus*, contre 98,3 % dans l'Hérault (34)). Ce facteur participe au risque d'émergence et de diffusion d'une arbovirose : plus la part de population exposée est importante, plus le risque est élevé.

La quantification de ce facteur est associée à une incertitude élevée : certaines communes sont colonisées mais non déclarées, et l'ensemble d'une commune est déclarée colonisée dès qu'un quartier est colonisé.

Les cartes et données disponibles sont mises à disposition de Santé publique France par le ministère de la Santé (logiciel SI-LAV).

❖ Densité de la population humaine du département étudié

La densité de population d'un département permet d'évaluer la taille de la population exposée au risque de transmission autochtone dans le département étudié. Ce facteur est complémentaire du facteur « pourcentage de la population exposée ». Par exemple, pour un même pourcentage de population exposée une situation épidémiologique pourra prendre plus d'ampleur dans un département avec une forte densité de population que dans un département avec une faible densité de population (Solimini *et al.* 2023, Romeo-Aznar *et al.* 2018).

De plus, des variations saisonnières de la densité varient avec les flux touristiques. Ces variations peuvent avoir un impact sur la taille d'un foyer localisé de transmission autochtone en augmentant le nombre de personnes susceptibles d'être infectées, en particulier dans les territoires à faible densité hors saison touristique¹⁰⁹. Mais ces variations n'auront pas forcément un impact majeur sur le nombre de cas dans des zones ou territoire déjà fortement peuplées, comme par exemple en Ile de France.

❖ Influence de la pratique d'activités extérieures sur le risque de piqûres et le risque de transmission autochtone

Très peu d'études sont disponibles sur les facteurs et comportements prédisposant au risque de piqûre. Parmi celles-ci, 90 % ont été réalisées dans des zones où *Ae. aegypti* est le vecteur principal du virus de la dengue. Ce moustique pique à l'intérieur. Or, en France hexagonale, le vecteur est *Ae. albopictus* qui pique très majoritairement à l'extérieur. Cela modifie donc les comportements à risque. De plus, de nombreux facteurs d'exposition à la piqûre sont culturels et spécifiques aux

¹⁰⁹ C'est par exemple le cas de la commune d'Argelès-sur-mer (66008), qui passe de 15 000 à 150 000 habitants entre le 15 juillet et le 15 août.

populations étudiées. Il est donc très difficile d'extrapoler des études réalisées hors de France hexagonale.

La problématique de l'eau et de son stockage, de par son rôle dans la création de gîtes larvaires, est la problématique centrale d'exposition à la piqûre. Les comportements et activités à risque sont ensuite ceux qui vont mettre en contact les individus avec ces zones à risque (accès à l'eau, stockage, présence de déchets et de points d'eau dans les jardins – (UNDP, IFRC, et ISGlobal 2017; Hayden et al. 2010; Brunkard et al. 2007; M Setbon et Raude 2009).

Le GT souhaite également attirer l'attention des gestionnaires sur les métiers à risque, c'est-à-dire les emplois qui impliquent de travailler à l'extérieur et dans des zones à forte population de moustiques. Ces personnes sont plus exposées aux piqûres de moustiques et donc potentiellement au risque d'infection et de transmission ultérieure d'un arbovirus (Byarunhanga *et al.* 2023). C'est le cas par exemple des ouvriers du bâtiment, des paysagistes, des agriculteurs, et des sylviculteurs.

❖ **Flux de personnes**

Les flux de personnes correspondent aux personnes entrant dans le territoire considéré (territoire national, région, département, selon la granulométrie du risque analysé) et pouvant être **sources de cas importés**. Ce flux participe au risque de la **survenue d'un foyer voire d'une épidémie** (Rocklöv *et al.* 2019).

➤ **Flux de personnes arrivant des DROM ou d'un territoire international en situation d'épidémie/d'endémie**

En raison de l'importance de la France hexagonale en tant que destination touristique, de nombreuses personnes en provenance de zones d'endémie/d'épidémie arrivent chaque année sur le territoire français hexagonal. Un flux élevé de ressortissants français se déplace également à l'étranger dans ces zones avant de revenir sur le territoire hexagonal (Solimini *et al.* 2018). De plus, les échanges de personnes avec les DROM sont importants et ne diminuent pas en période d'épidémie. D'après les experts de Santé publique France (analyse descriptive des données de surveillance), lorsqu'une épidémie a lieu dans un DROM, la grande majorité des cas importés détectés en France hexagonale proviennent des DROM concernés, notamment lorsque le territoire des Antilles est concerné (Paty *et al.* 2014, Santé publique France 2021b), ce qui s'est confirmé en 2023.

En conséquence, la prise en compte des flux touristiques en provenance de zones d'épidémies est un facteur majeur pour évaluer le risque d'épidémie en France hexagonale, en tant que source des cas importés.

Il est également possible de mentionner le personnel militaire et les travailleurs humanitaires déployés dans des régions à forte incidence de maladies arbovirales, en particulier dans les zones tropicales et subtropicales, qui peut également être exposé à un risque accru de piqûres de moustiques et d'infections subséquentes, pouvant représenter, de façon beaucoup plus marginale, une source de cas importés.

➤ **Flux de personnes provenant d'un territoire hexagonal en situation de transmission autochtone/épidémie**

Ce facteur représente le risque de cas importés depuis un département français hexagonal en situation d'épidémie vers le département français hexagonal étudié. Il

est traduit par les mouvements touristiques pendulaires dans l'Hexagone, avec notamment un afflux massif de touristes vers les départements du pourtour méditerranéen pendant la saison estivale et surtout leur retour vers leur département d'origine.

Les experts ont choisi de séparer ce facteur des flux issus des DROM ou de destinations internationales afin d'identifier le risque lié aux trajets intra-hexagonaux.

Ce facteur est à prendre en compte à partir du moment où des départements hexagonaux sont en situation d'épidémie (ou sont très fortement susceptibles de l'être sur la période évaluée).

➤ Évènements internationaux :

Les évènements internationaux génèrent des flux à part, pouvant être source de cas importés depuis l'international, ou depuis le territoire hexagonal si des personnes infectées sur le lieu de l'évènement voyagent ensuite en France (Wilson *et al.* 2014 ; Gallego *et al.* 2014 ; Arbex *et al.* 2016 ; Petersen *et al.* 2016) :

- présence d'un évènement international majeur à l'étranger, comme par exemple la coupe du monde de football au Brésil ou des rassemblements non sportifs, comme le pèlerinage à la Mecque. Ce facteur a été exclu par les experts, car il est trop fréquent pour être réellement discriminant. Il peut également être redondant avec les flux de voyageurs depuis une zone d'épidémie, déjà évalués dans les facteurs précédents ;
- présence d'un évènement international majeur sur le territoire hexagonal (exemple JOP 2024 ou Mondial de rugby 2023) : ce facteur a été divisé en deux :
 - **présence d'un évènement international majeur sur le territoire hexagonal hors du département étudié ;**
 - **présence d'un évènement international majeur dans le département étudié.**

Les experts considèrent que l'impact d'un rassemblement de personnes n'est pas le même dans le département de l'évènement ou dans un autre département. En effet, lors d'un rassemblement dans un autre département, le risque pour le département étudié est l'importation de cas humains provenant de cet évènement, si une transmission a eu lieu lors de cet évènement. Par contre, dans le cas d'un rassemblement dans le département étudié, le nombre de voyageurs sera important et le risque de cas importés et, en conséquence, de transmission autochtone locale, sera plus élevé (sous réserve des autres facteurs).

Facteurs liés au virus

❖ Part d'individus asymptomatiques

La proportion d'individus asymptomatiques est un facteur clé de l'épidémiologie des différentes arboviroses considérées. En fonction de cette proportion, qui varie selon les arbovirus, le délai de détection des cas et la proportion d'individus infectés détectés peut varier, ce qui va influencer le risque de démarrage d'un foyer de transmission autochtone et l'ampleur que peut prendre une épidémie (Jourdain 2021). En effet, des individus asymptomatiques peuvent transmettre le virus et donc contribuer à la propagation de la maladie. L'absence de traitements de lutte antivectorielle et une moindre adhésion aux comportements de prévention chez les personnes asymptomatiques, liée au retard ou à l'absence de détection des cas, peuvent fortement augmenter l'ampleur d'une épidémie.

Il est important de noter que les taux de cas asymptomatiques peuvent fluctuer en fonction de divers facteurs tels que l'âge, l'exposition antérieure au virus (comme par exemple l'exposition à différents sérotypes de virus de la dengue), les réponses immunitaires individuelles et les variations régionales (Nikolich-Žugich *et al.* 2021; Vahey *et al.* 2021). En outre, la proportion de cas asymptomatiques estimée peut être influencée par les protocoles d'études et les caractéristiques de la population étudiée (pratiques de recours au soin, littératie, position sociale, etc.).

Concernant les trois arbovirus les plus connus transmis par *Aedes albopictus*, les données disponibles indiquent une part d'individus asymptomatiques (ou avec des symptômes très légers) d'environ 80 % des personnes infectées par le virus Zika (Musso *et al.* 2019) ou le virus de la dengue, mais les taux peuvent classiquement varier de 50 à 90 % suivant les travaux et les populations étudiées (Grange *et al.* 2014 ; Wang *et al.* 2015; Chikaki et Ishikawa 2009; Wilder-Smith *et al.* 2019; ECDC 2017a; WHO 2023; CDC 2021). Ce taux est plus faible avec le virus chikungunya, les données allant de 20 % à 40 % d'individus asymptomatiques suivant les études (CDC 2023, ECDC 2017b; Rueda *et al.* 2019; Moro *et al.* 2010).

Cependant, une incertitude importante existe sur ces données. De plus, la population hexagonale étant immunologiquement naïve, les experts s'attendent à un taux de personnes asymptomatiques et/ou paucisymptomatiques dans la fourchette basse de ces estimations (De Santis *et al.* 2023).

❖ Transmission sexuelle

Les virus de la dengue, chikungunya et Zika sont avant tout transmis par des moustiques vecteurs mais des transmissions non vectorielles ont été décrites. La part de la transmission sexuelle dans la dynamique des épidémies est difficile à quantifier, il est en effet difficile de distinguer les modes de transmission et les études sont contradictoires (Major *et al.* 2021; Rosenberg *et al.* 2019; Coelho *et al.* 2016).

Les auteurs s'accordent néanmoins sur le fait que la transmission sexuelle peut contribuer à la dynamique de la transmission et participer à l'émergence de foyers d'infection à virus Zika, mais bien moins que la transmission vectorielle.

Douze cas de transmission sexuelle du virus Zika ont été documentés en France hexagonale pendant l'épidémie qui a sévi en Amérique latine et aux Antilles en 2016 (Franke *et al.* 2017). Dans le même temps, plus de 1 000 cas ont été importés.

Quelques rares cas de transmission sexuelle de virus de la dengue ont aussi été décrits en France (HCSP 2019) ainsi qu'en Espagne et en Corée en 2019 (ECDC 2019; J.-S. Lee *et al.* 2019). Néanmoins, ce mode de transmission reste anecdotique et ne semble pas à même d'influer sur la dynamique d'une épidémie.

Aucun cas de transmission sexuelle pour le virus chikungunya n'a été décrit à ce jour.

❖ **Transmission par les produits issus du corps humain**

Ce mode de transmission concerne les dons de sang, mais aussi les greffes d'organes, de tissus et de cellules.

1. Virus de la dengue

Concernant le virus de la dengue, les transmissions interhumaines rapportées sont rares. Elles sont référencées par le HCSP dans son avis du 14 juin 2019 relatif aux « *Mesures de prévention pour la sécurité infectieuse transfusionnelle et de la greffe résultant de la circulation des virus de la dengue et du chikungunya* » (HCSP 2019)

Le HCSP rapportait :

- des transmissions transplacentaires, notamment en fin de grossesse, et par l'allaitement ;
- des transmissions par piqûre d'aiguille ;
- quelques infections post-transfusionnelles (Tambyah *et al.* 2008) ;
- des contaminations suite à un don d'organe ou de cellules-souches ;
- le rôle des tissus (cornée, tissu neural) a été évoqué.

Peu de données ont été publiées depuis, en dehors d'études quantifiant le pourcentage de donneurs de sang virémiques dans diverses épidémies mais pas de nouvelles transmissions documentées.

L'ECDC rappelle aussi que ces transmissions restent rares et le risque est difficilement quantifiable (ECDC 2021b).

En France hexagonale, un cas autochtone de dengue identifié à Paris en 2021 a très probablement été contaminé par une greffe rénale en 2021 (Santé publique France 2023a). Ce mode de transmission avait déjà été (Lecadiou *et al.* 2021 ; Cedano *et al.* 2019).

2. Virus chikungunya

Concernant le virus chikungunya, le HCSP rappelle que les transmissions interhumaines sont exceptionnelles (HCSP 2019). « *Au cours de l'épidémie de La Réunion, quelques cas de transmission in utero plutôt en fin de grossesse (pas de malformations décrites) ou à l'accouchement ont été décrits avec des conséquences potentiellement graves pour le produit de conception (mort tardive in utero, syndrome neurologique avec possibles séquelles chez le nouveau-né) [23]. Le virus n'a jamais été isolé à partir du lait ou du sperme. Aucun cas de transmission par des produits du corps humain n'a été documenté à ce jour* ».

3. Virus Zika

Concernant le virus Zika, certaines études comme celle de Musso *et al.* (2014) rapportent une détection de virus Zika par PCR dans 3 % des donneurs de sang en Polynésie française entre octobre 2013 et février 2014, soit en période d'épidémie d'infection à virus Zika, tous les donneurs étant asymptomatiques lors du don. Les cas ayant été détectés, aucun cas secondaire à une transfusion sanguine n'a été mis en évidence, mais 11 des 42 personnes détectées positives ont rapporté une fièvre Zika-like dans les jours suivant la détection virale dans leur sang.

Les experts précisent qu'en période d'épidémie, il n'est le plus souvent pas possible d'identifier la source de l'infection entre une infection par piqûre de moustique ou transfusion sanguine, (hormis si l'on peut comparer les virus du donneur et du receveur).

En l'état actuel des connaissances, ces modes de transmission, non vectoriels, n'influent pas dans la dynamique de transmission d'un foyer ou d'une épidémie. Par contre, notamment pour les produits issus du corps humain, leur impact peut être majeur (coût des mesures de sécurisation et impact potentiel sur l'approvisionnement).

❖ **Méthodes diagnostiques disponibles, performantes et réalisables**

Ce facteur traduit la disponibilité des tests diagnostiques, leur performance, et la capacité diagnostique des laboratoires. Des tests existent-il pour l'arbovirose étudiée ? Quelles sont leurs caractéristiques ? Sont-ils disponibles ? En quelle quantité ? Peuvent-ils être réalisés par un laboratoire du territoire et quel est le délai entre le prélèvement et le résultat ? Comme mis en évidence lors de la pandémie par le SARS-CoV-2, la performance et la disponibilité des outils diagnostiques sont essentielles pour maîtriser une épidémie (Peeling *et al.* 2022).

Les tests diagnostiques sont importants dans le cadre des facteurs influençant l'apparition d'une arbovirose pour plusieurs raisons :

- détection précoce : ce facteur est important pour les gestionnaires afin de quantifier une épidémie existante mais aussi de prévenir le risque d'apparition d'une telle épidémie ou d'en limiter la progression (notamment en isolant les cas positifs et en effectuant des opérations de démoustication dans la zone où le ou les cas positifs ont été détectés) ;
- surveillance épidémiologique : les tests de diagnostic fournissent des données sur la prévalence, la distribution et la dynamique de transmission de ces virus. Ces informations permettent aux autorités de santé publique d'alimenter les données de surveillance afin de mettre en œuvre des mesures de contrôle et d'allouer les ressources de manière appropriée. Elles aident les chercheurs à étudier de nouvelles souches d'arbovirus connus ou à identifier des arbovirus émergents, mais aussi à surveiller les changements dans les séquences génétiques virales et à évaluer l'efficacité des vaccins ou des thérapies antivirales lorsqu'elles sont disponibles.

➤ Disponibilité des tests

La disponibilité des tests diagnostiques pour une arbovirose, c'est-à-dire l'existence d'un test enregistré pour l'arbovirose concernée et sa production en quantité suffisante, est un facteur clé, puisqu'elle conditionne la possibilité et les conditions de la démarche diagnostique. Des informations supplémentaires sont nécessaires sur les outils diagnostiques disponibles pour détecter le virus Zika, le virus de la dengue et le virus chikungunya. Notamment, pour le virus Zika, bien que des kits commerciaux soient apparus depuis 2016, ces tests semblent moins performants que pour d'autres arbovirus avec des résultats très hétérogènes entre les tests commerciaux disponibles (Safronetz et al. 2017; Low et al. 2021).

Dans une première approche, les experts considèrent qu'il existe des différences (bien que modérées) entre les outils diagnostiques disponibles pour ces trois arboviroses : des tests rapides sont disponibles pour le virus de la dengue, mais pas pour les autres virus, le virus Zika étant probablement le virus pour lequel le moins de tests sont disponibles. Une étude récente montre le développement de tests rapides pour ce virus mais qui resteront à évaluer en conditions épidémiologiques (Boeras et al. 2022).

➤ Performance diagnostique

Il est important de noter que la valeur d'un test diagnostique peut varier en fonction de sa sensibilité (capacité d'un test à identifier correctement les cas positifs) et de sa spécificité (capacité à identifier correctement les cas négatifs).

Différents arbovirus peuvent nécessiter des tests spécifiques (PCR, tests ELISA, tests de séroneutralisation, etc.) pour détecter et identifier le virus impliqué. Par conséquent, le test de diagnostic spécifique utilisé dépendra de l'arbovirus suspecté et des options de test disponibles. Chaque type de test a ses propres avantages et ses limites en termes de sensibilité, de spécificité, de rapidité, de praticité et de coût. Dans l'ensemble, la valeur d'un test diagnostique de l'arbovirose réside dans sa capacité à identifier avec précision et rapidement les personnes infectées, permettant une prise en charge appropriée des patients, des interventions des autorités de santé rapides et des efforts de surveillance adaptés. Il doit être sensible, spécifique, abordable, facile à utiliser et idéalement capable de détecter simultanément plusieurs arbovirus. Le test de diagnostic idéal pour les arbovirus doit avoir une sensibilité et une spécificité élevées pour minimiser les résultats faux positifs et faux négatifs. Des tests multiplexés sont en développement mais aucun pour l'heure n'a fait preuve de niveau de spécificité/sensibilité suffisamment satisfaisant.

Des différences dans l'efficacité des tests de diagnostic des arbovirus peuvent être observées. Divers facteurs peuvent influencer sur ces performances, notamment le type de test disponible, l'arbovirus ou la souche spécifique ciblés et le stade de l'infection. Voici quelques points clés à considérer :

- certains arbovirus peuvent avoir des marqueurs de diagnostic plus distincts ou des charges virales plus élevées à des stades spécifiques de l'infection, ce

qui les rend plus faciles à détecter. À l'inverse, d'autres arbovirus peuvent poser des défis en termes de sensibilité et de spécificité diagnostiques ;

- le moment d'utilisation des tests de diagnostic peut avoir un impact significatif sur l'efficacité des tests. Par exemple, dans certains cas, l'ARN viral peut être détectable uniquement pendant la phase aiguë de l'infection ou dans certains fluides biologiques (tels que le sang ou les urines), tandis que les tests sérologiques peuvent être plus efficaces pour détecter les anticorps produits au cours des derniers stades de l'infection ou pour des infections antérieures. Par conséquent, le moment approprié du test par rapport à l'apparition des symptômes ou à l'exposition potentielle est crucial ;
- réactivité croisée : une réactivité croisée se produit lorsqu'un test de diagnostic détecte des anticorps ou des antigènes similaires mais non spécifiques à l'arbovirus cible. Cela peut entraîner des résultats faussement positifs ou faussement négatifs. La réactivité croisée peut être un défi dans les zones où plusieurs arbovirus co-circulent ou chez les personnes ayant déjà été exposées à des virus apparentés. Cette réactivité croisée a notamment été mise en évidence entre les virus de la dengue et Zika (Chan et al. 2022).

➤ **Capacité diagnostique**

La capacité diagnostique correspond à la capacité d'un acteur ou d'un territoire à réaliser des tests diagnostiques et à rendre les résultats dans un délai cohérent avec l'épidémiologie de la maladie.

Dans le cadre des arboviroses, la capacité diagnostique peut s'évaluer à plusieurs niveaux :

- capacité diagnostique du CNR : cela concerne la capacité à tester le cas primaire de chaque foyer (confirmation du diagnostic), à réaliser les sérotypages dans le cas du virus de la dengue et à réaliser du génotypage pour caractériser les souches responsables de transmission autochtone ;
- capacité diagnostique de routine :
 - laboratoires privés : la plupart des tests sont demandés par des médecins généralistes et réalisés par des laboratoires privés (actuellement essentiellement Biomnis et Cerba) ;
 - laboratoires des CHU : lorsque des tests sont demandés en hospitalisation, les tests peuvent être réalisés *in house*. Dans ce cas de figure, plusieurs facteurs peuvent limiter la capacité diagnostique : présence des tests au laboratoire (notamment des tests rarement utilisés comme les tests PCR Zika), et la fréquence de lancement des tests (une fois par jour, par semaine, tous les 15 jours, etc.).

❖ **Transmissibilité des différentes souches**

Au sein d'un arbovirus donné, il existe plusieurs souches ou lignées qui présentent des caractéristiques génétiques distinctes. Ces différences génétiques peuvent entraîner des variations dans divers aspects de la biologie du virus, notamment des

différences de transmissibilité, c'est-à-dire que certaines souches peuvent être transmises plus ou moins efficacement selon les vecteurs.

D'une façon générale, la transmissibilité peut se référer à l'efficacité ou à la probabilité qu'un virus soit transmis d'un hôte infecté à un vecteur réceptif, et d'un vecteur infecté à un hôte sensible lors d'une piqûre de moustique. Le terme de transmissibilité différentielle sera utilisé ici pour indiquer la variation dans la capacité de différentes souches ou lignées d'arbovirus à être transmises aux populations humaines, principalement par voie vectorielle, mais aussi par d'autres modes de transmission plus marginaux comme la transmission sexuelle, verticale ou encore par les produits biologiques issus du corps humain.

La compréhension de la transmissibilité différentielle des souches/lignées d'arbovirus est cruciale pour l'étude de l'épidémiologie et de la dynamique des maladies arbovirales. Elle peut aider les chercheurs et les autorités de santé publique à évaluer le risque d'épidémies, à mettre au point des mesures de contrôle appropriées et à orienter les stratégies de surveillance et de prévention. Néanmoins, malgré l'importance majeure de ce facteur, il risque d'être très difficile, voire impossible, à évaluer, en raison de la grande difficulté à prédire quelle souche est susceptible d'être introduite sur le territoire.

Les facteurs influençant la transmissibilité différentielle des souches/lignées d'arbovirus peuvent être complexes et multiples. Ils peuvent inclure notamment :

- la compétence du vecteur : il s'agit de la capacité d'une espèce particulière de vecteur à être infectée par une souche spécifique du virus, à supporter la réplication virale et à transmettre ensuite le virus à un nouvel hôte. Les différentes espèces de vecteurs peuvent présenter des niveaux de compétence variables pour différentes souches ou lignées d'arbovirus (Gloria-Soria et al. 2020). Les variations de la composition génétique des souches d'arbovirus peuvent avoir un impact sur leur capacité à infecter le vecteur et à s'y répliquer. Certaines variations génétiques peuvent engendrer une transmissibilité accrue en permettant par exemple un meilleur échappement au système immunitaire du vecteur ou en améliorant l'efficacité de la réplication du virus dans différents tissus cibles. Des interactions génotype (du vecteur) x génotype (viral) x environnement ont été démontrées dans le système *Aedes*/virus chikungunya (Zouache et al. 2014) ;
- interactions entre le virus et l'hôte : les interactions entre l'arbovirus et l'hôte vertébré peuvent également avoir un impact sur la transmissibilité. Certaines souches peuvent avoir une meilleure capacité de réplication dans l'hôte vertébré, ce qui entraîne des charges virales plus élevées (notamment avec une virémie plus forte) et des chances accrues de transmission au vecteur (Aubry et al. 2021) ;
- spectre d'hôtes : la capacité d'une souche particulière à infecter un large éventail d'espèces hôtes peut influencer sa dynamique de transmission. Certaines souches peuvent avoir une gamme d'hôtes plus étendue, permettant la transmission entre plusieurs espèces et augmentant la probabilité de rencontres entre le vecteur et un hôte sensible. Cette notion de spectre d'hôte est à relativiser avec les virus de la dengue, Zika et

chikungunya qui se transmettent désormais majoritairement via un cycle urbain être humain/vecteur ;

- facteurs écologiques : les conditions environnementales, telles que la température, l'humidité et la disponibilité des sites de reproduction appropriés pour les vecteurs, peuvent affecter les populations de vecteurs et leur capacité à transmettre le virus. Certaines souches peuvent être mieux adaptées à des conditions écologiques spécifiques, ce qui peut avoir un impact sur leur transmissibilité globale.

La transmissibilité différentielle peut affecter la capacité de certaines souches ou lignées à établir et maintenir des cycles de transmission dans des populations de vecteurs spécifiques, ce qui peut entraîner des variations dans les schémas de propagation de la maladie.

Ainsi, l'émergence d'une souche du virus chikungunya présentant une mutation sur sa protéine d'enveloppe (Mutation E1-A226V), lui permettant une meilleure dissémination et transmission au sein du moustique vecteur *Aedes albopictus*, a favorisé l'apparition d'épidémies sur de nouvelles zones géographiques (Tsetsarkin *et al.* 2007 ; Vega-Rúa *et al.* 2020). Cette adaptation est illustrée lors de l'épidémie majeure d'infection à virus chikungunya en 2013-2014, où bien que la très grande majorité des cas importés l'ait été des Antilles, le foyer autochtone a été engendré par un des rares cas importés du Cameroun où circulait une souche mieux adaptée à *Aedes albopictus*.

De même, pour le virus Zika, deux lignées circulantes ont été mises en évidence. La lignée asiatique est actuellement la seule connue comme étant responsable d'épidémies dans le monde. La lignée africaine est quant à elle endémique dans certains pays d'Afrique et n'a pour le moment pas été associée à des épidémies (Simonin *et al.* 2017). L'importation d'un cas infecté de virus Zika par des souches de la lignée africaine est donc *a priori* beaucoup moins problématique que l'introduction d'une souche du lignage asiatique.

Dans le cas du virus de la dengue, aucune étude n'est disponible sur une adaptation éventuelle de certaines souches à *Ae. albopictus*. Néanmoins, l'évolution observée ces dernières années du rôle d'*Ae. albopictus* dans la transmission du virus de la dengue (historiquement considéré comme un vecteur secondaire face à *Aedes aegyptii*) pourrait n'être pas seulement due à des changements comportementaux, mais aussi à l'adaptation du virus de la dengue à ce vecteur. L'épidémie de dengue à La Réunion montre qu'*Ae. albopictus* peut être un vecteur primaire de virus de la dengue.

Il est donc crucial d'étudier et de comprendre ces variations de transmissibilité en raison de leur impact majeur sur la dynamique des maladies arbovirales en termes de distribution géographique, de potentiel épidémique et de gravité. Ces études peuvent aider les chercheurs et les autorités de santé publique à évaluer le risque d'épidémies, à mettre au point des mesures de contrôle appropriées et à orienter les stratégies de surveillance et de prévention.

En cas de détection de cas autochtones ou importés sur le territoire analysé, la souche peut être connue notamment si des échantillons sont positifs par qPCR ou

par culture virale (les analyses sérologiques ne permettant pas d'identifier la souche impliquée).

Dans le cadre d'une évaluation prédictive, il est beaucoup plus difficile d'identifier la souche qui circulera sur le territoire avant la détection de cas autochtones. Les experts signalent toutefois que dans certaines situations, une information sur les souches circulantes et/ou préoccupantes est disponible en amont de l'importation de cas. Par exemple, une proposition du GT serait de se baser sur les alertes de l'OMS sur les souches circulantes et préoccupantes. Le choix de la souche à évaluer pourra également être corrélé aux flux de voyageurs et notamment à l'origine géographique des touristes se rendant dans le département étudié, si les informations sur les souches circulantes dans le pays d'origine des voyageurs s'avèrent disponibles.

❖ **Pourcentage de la population immunisée**

Ce facteur est important pour deux raisons. Il permet de prendre en compte : :

- la proportion de la population protégée par son immunité : en dehors des individus vaccinés contre le virus de la fièvre jaune et les personnes ayant été infectées par le virus chikungunya ou le virus de la dengue suite à un voyage, ce facteur concerne peu d'individus en France hexagonale. Bien qu'aujourd'hui les niveaux extrêmement faibles voire inexistantes de séroprévalence ne protègent pas la population, même au niveau local, ce pourcentage peut être amené à évoluer et augmenter au cours du temps ;
- la proportion de la population plus à risque de formes graves de dengue suite à une deuxième infection par autre sérotype du virus de la dengue, ou selon certaines études suite à une infection par le virus Zika (Carvalho et al. 2020). Cet aspect va concerner plus directement l'évaluation des impacts et, comme le premier point, est amené à évoluer au cours du temps, en fonction des épidémies et des importations de différents sérotypes de virus de la dengue dans les mêmes zones géographiques.

Quelques données illustratives sont disponibles dans l'Hexagone suite à deux études post foyer autochtone réalisées par Santé publique France (Giron et al. 2020; Succo et al. 2018). Un programme de *screening* de donneurs de sang suite à une demande de l'ANRS et en partenariat avec Arbo-France doit également avoir lieu pour obtenir des données sur les séroprévalences de différentes arboviroses.

Facteurs liés aux moyens

❖ Réactivité du signalement des cas et de mise en place des mesures de LAV

Le signalement précoce des cas et la mise en place de mesures de gestion réactives autour des situations à risque représentent les deux principaux enjeux du dispositif de surveillance des arboviroses (Jourdain 2021).

Le délai de signalement des cas est ainsi un facteur important dans la gestion du risque épidémique, traduisant la réactivité du dispositif. Ce facteur peut correspondre au délai entre le premier jour de virémie d'un cas sur le territoire donné et le jour du signalement du cas à l'ARS concernée. Il est composé du :

- délai entre la date de début des signes et la consultation d'un professionnel de santé ;
- délai de réalisation du prélèvement ;
- délai de communication du résultat ;
- délai de signalement du cas par le laboratoire ou le professionnel de santé.

A la suite de ce délai de signalement se rajoutent le délai d'investigation des cas, d'information des opérateurs et celui de mise en place de la LAV.

Un seuil de 21 jours pour le délai de signalement est rapporté dans la littérature (Jourdain 2021) comme valeur seuil pour limiter la transmission autochtone. D'autres études seraient nécessaires pour valider cette valeur.

Les experts signalent toutefois que des délais de signalement courts et de mise en place de mesure de LAV sont surtout importants sur des épisodes de transmission restreints ou précoces (niveaux 1-2 voire 3 dans l'échelle d'ampleur définie par le GT). En situation d'épidémie, les services d'investigation et de LAV sont vite saturés, le délai de signalement et d'intervention perd donc de son importance

❖ Saturation des moyens de LAV

La LAV est le facteur déterminant pour empêcher le passage d'un cas importé à un cas autochtone ou d'un petit foyer autochtone (un ou deux cas) à un foyer de taille plus importante, ou d'autres foyers. La réactivité des acteurs de la LAV lors du signalement des cas est donc très importante pour pouvoir agir dans les phases initiales de l'épidémie.

Son efficacité sur les stades suivants de l'épidémie (c'est à dire lorsque le nombre de foyers augmente, ou que les cas deviennent disséminés) est plus discutable, notamment en raison de sa saturation rapide et du passage à des traitements de quartier.

L'expérience accumulée à La Réunion sur des épidémies de plusieurs dizaines de milliers de cas (virus de la dengue et virus chikungunya) a pu démontrer que la LAV n'est surtout efficace qu'en début d'épidémie. Si la situation évolue vers plusieurs foyers disséminés (soit à partir du niveau 3 dans l'échelle définie par le GT), la LAV n'est plus opérationnelle car les moyens actuels seraient saturés. Il n'est même pas

garanti qu'à partir du niveau 3 des traitements par quartiers (et non plus domiciliaires) soient réalisables.

La saturation peut concerner la disponibilité humaine (qui peut être palliée par des recrutements de renforts) ou de matériel. Cette saturation n'est cependant pas complètement reliée au nombre de cas autochtones, mais plutôt au **nombre de foyers, à l'extension géographique de la zone à traiter au cours d'un temps et à la pression d'importation.**

Chez les opérateurs ayant des contrats dans plusieurs régions, la question du partage et du déplacement des ressources peut également jouer un rôle majeur.

En situation de saturation, les opérateurs vont devoir :

- soit laisser des cas complètement sans traitement ;
- soit retarder l'intervention ;
- soit diminuer la taille ou le nombre de zones traitées autour du cas (diminution de la couverture de traitement) ;
- soit traiter des zones de circulation ou des quartiers et non plus des cas localisés. Ces traitements à l'échelle d'un quartier peuvent aussi être mis en place lors de rejets des mesures de LAV par la population à l'échelle du domicile. L'efficacité et l'impact de ces mesures sont alors très diminués. C'est lorsque la LAV doit passer sous la forme d'interventions par quartiers que la demande en matériel est la plus élevée (surface à traiter plus grande).

Dans les faits, le nombre de traitements maximal par semaine est relativement bas dans les marchés actuels, et la saturation au niveau régional serait donc très vite atteinte (voir la partie relative aux impacts sur la prévention, le contrôle et la gestion des arboviroses).

❖ **Expérience et compétence des acteurs de la LAV**

Il n'existe pas d'habilitation LAV, la définition d'un agent expérimenté ne repose donc pas sur l'obtention d'un diplôme particulier. Les critères pour habilitier les agents sont mal définis, et reposent uniquement sur la certification Certibiocide¹¹⁰, qui ne permet pas de s'assurer que l'agent est compétent pour maîtriser *Ae. albopictus*.

L'expérience des acteurs de LAV peut avoir une influence sur l'efficacité des mesures de LAV et donc sur le démarrage d'un épisode de transmission et son ampleur.

❖ **Présence d'un autre évènement concomitant mobilisant des ressources matérielles et humaines**

Une alerte sanitaire d'importance peut engendrer une mobilisation de moyens par les ARS afin de gérer le risque. Lors de la survenue d'évènements exceptionnels, ces moyens peuvent concerner :

¹¹⁰ Certibiocide : certification visant à former les professionnels à l'utilisation, la vente, ou l'achat des produits biocides réservés aux professionnels. Cette certification est remise à titre personnel. La formation est réalisée par un organisme de formation habilité et dure 21 heures.

- des ressources internes normalement affectées à d'autres services ;
- la réserve sanitaire¹¹¹ ;
- les services d'incendie et de secours (exemple : appui apporté pour réaliser de la LAV à La Réunion pendant l'épidémie de dengue entre 2019 et 2021), ou d'autres acteurs (services d'opérateurs Dératisation – Désinfection – Désinsectisation (3D)).

La coordination et la mobilisation de ces personnels relèvent alors des compétences du préfet du département. Ces éléments seront repris dans le plan ORSEC-LAV en préparation.

Il est important de noter que la survenue d'un évènement concomitant à une épidémie due à un arbovirus pourrait engendrer des difficultés dans la mobilisation de ces ressources, notamment si les acteurs concernés sont mobilisés sur leur mission principale (e.g. pompiers confrontés à des incendies, réserve sanitaire mobilisée pour la gestion d'une autre crise sanitaire telle que la pandémie de Covid-19, etc.).

Un exemple de double épidémie a été documenté par l'Anses lors de l'épidémie de dengue pendant la pandémie de Covid-19 aux Antilles (Anses 2020) : outre le fait que les activités de lutte et de sensibilisation des populations ont été directement impactées par les mesures prises pour lutter contre la pandémie (confinement), aucunes ressources supplémentaires n'étaient disponibles pour les agents de LAV.

Les experts précisent que ce manque de ressources aurait un impact sur l'ampleur de la transmission autochtone plutôt que sur le départ d'une transmission.

¹¹¹ La réserve sanitaire est composée de professionnels de santé volontaires et intervient en renfort sur des missions en France et à l'étranger en cas de situation sanitaire exceptionnelle. <https://www.service-public.fr/particuliers/vosdroits/F33926>

Facteurs liés aux moyens de préparation

❖ Dispositif de surveillance entomologique

En France hexagonale, la surveillance entomologique repose sur deux composantes :

- le réseau de pièges pondoirs associé à des prospections ciblées, mis en place sur les sites à risque élevé d'importation ou de dissémination d'espèces vectrices ou présentant une sensibilité particulière (e.g. sites de stockage de pneumatiques, établissements de santé, etc.) ainsi que lors des prospections des opérateurs de démoustication ;
- la surveillance participative des citoyens, par les signalements de particuliers réalisés sur le portail de signalement du moustique tigre (www.signalement-moustique.fr).

Cette surveillance est définie dans les marchés publics lancés par les ARS dans le cadre de la lutte antivectorielle : les mêmes acteurs réalisent la LAV et la surveillance entomologique. Elle a pour objectif de suivre la dynamique des populations de vecteurs : période d'activité, densités et apparition de nouvelles espèces. Elle vise ainsi à :

- prévenir de nouvelles implantations lorsque cela est réalisable, notamment de moustiques du genre *Aedes* ;
- détecter l'introduction de nouvelles espèces vectrices sur le territoire, notamment au niveau des points d'entrée au sens du Règlement sanitaire international (RSI) ;
- éclairer la décision d'intervention autour des cas humains importés, en évitant les interventions inutiles dans les lieux où le moustique vecteur n'est pas implanté ;
- suivre l'étendue de la colonisation du territoire par le vecteur *Aedes albopictus* afin de déterminer les nouveaux départements d'implantation du moustique.

La surveillance des virus dans les populations de vecteurs a été réalisée de manière ponctuelle et s'est avérée peu fructueuse et informative. Bien qu'elle relève surtout d'activités de recherche ou pour améliorer la connaissance de la circulation épidémique d'un virus donné, les experts indiquent qu'une telle surveillance en routine serait de moindre utilité au décideur.

Les experts ne considèrent pas le dispositif de surveillance entomologique comme un facteur critique de la transmission autochtone dans les zones historiquement colonisées. Cependant, elle est essentielle pour détecter les zones nouvellement colonisées et donc nouvellement à risque de transmission autochtone.

❖ Sensibilisation des professionnels de santé au diagnostic et au signalement des cas

Le signalement de tous les cas par les professionnels de santé est indispensable et constitue le socle de toute la surveillance et la lutte contre les arboviroses. Celui-ci

repose sur le niveau de connaissance de ces professionnels concernant ces maladies, leur diagnostic et leur signalement.

Chaque année, en début de saison, les Agences régionales de santé (ARS) en lien avec les équipes de Santé publique France sensibilisent les professionnels de santé au diagnostic et au signalement des cas : professionnels hospitaliers (médecins et biologistes), médecine de ville, laboratoires de biologie médicale, pharmaciens d'officines. Cette sensibilisation repose sur l'envoi de courriers électroniques diffusés par les ARS via leurs réseaux partenaires (ordre des médecins, URPS, CRAM, etc.).

Les notes de la DGS et les communiqués de presse contribuent également à sensibiliser les professionnels de santé.

Néanmoins, des imprécisions dans les connaissances de certains professionnels de santé sont mises en évidence sur le terrain et dans certaines études. (Gallet 2023; Bley et al. 2023 non publié)

❖ **Sensibilisation de la population à ces maladies et à la protection et la lutte contre les moustiques**

Les messages de sensibilisation au risque des arboviroses ciblent principalement les voyageurs. Ils reposent sur la nécessité de se protéger des piqûres de moustiques lors de séjour en zone intertropicale et lors du retour en France hexagonale et sur l'importance de consulter un professionnel de santé en cas d'apparition de symptômes au retour d'une zone intertropicale (Bley et al. 2023 non publié).

Dans certaines zones géographiques jugées à risque, ainsi que lors de l'identification d'une circulation autochtone, cette sensibilisation est réalisée auprès de la population générale notamment à travers la publication de communiqués de presse par les ARS concernées. Elle est également renforcée dans les zones directement concernées.

Peu de données sont disponibles sur l'efficacité de ces campagnes de sensibilisation.

Concernant la protection et la lutte contre les moustiques, la majorité des gîtes larvaires se trouvant dans des sites privés, la sensibilisation et la mobilisation de la population à la lutte contre les moustiques est indispensable. Les gîtes se trouvant dans les espaces publics devant quant à eux être gérés par les collectivités territoriales, leur sensibilisation et mobilisation dans la lutte est également essentielle.

Remarque : le niveau de sensibilisation de la population générale ne semble pas liée à l'ancienneté de la colonisation ou la présence d'un foyer dans le passé. La population semble rester sensibilisée pendant quelques années avant que ce niveau de sensibilisation ne diminue au cours du temps.

❖ **Sensibilisation des décideurs au risque épidémique/ de transmission d'arbovirus**

La sensibilisation des décideurs correspond à la conscience qu'ont les décideurs du niveau de risque de cas d'arboviroses autochtones sur leur territoire, et va conditionner leur implication dans la prévention et la lutte contre ces arboviroses. En particulier, le niveau de sensibilisation des décideurs, du préfet aux élus locaux, va conditionner la mise à disposition de moyens et la mobilisation des ressources

humaines, ce qui va conditionner la réactivité de la LAV et donc l'ampleur des transmissions autochtones.

Cette sensibilisation se décline à deux niveaux :

- la sensibilisation en période de crise, pendant un épisode de transmission ;
- la sensibilisation en dehors de ces périodes, avec une sensibilisation axée sur la prévention.

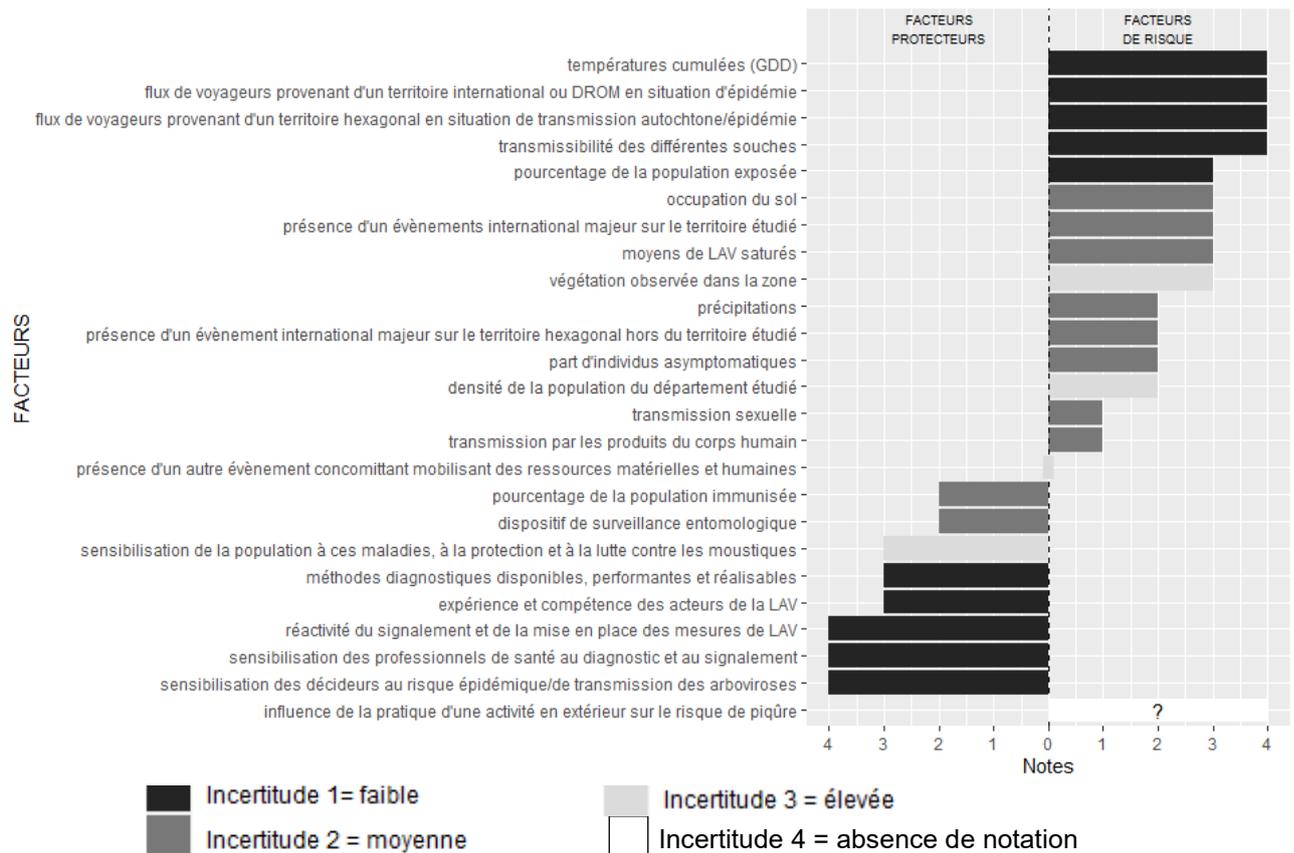
Cette sensibilisation peut et doit avoir lieu à tous les niveaux de décision, étatique comme territorial.

Quelques exemples :

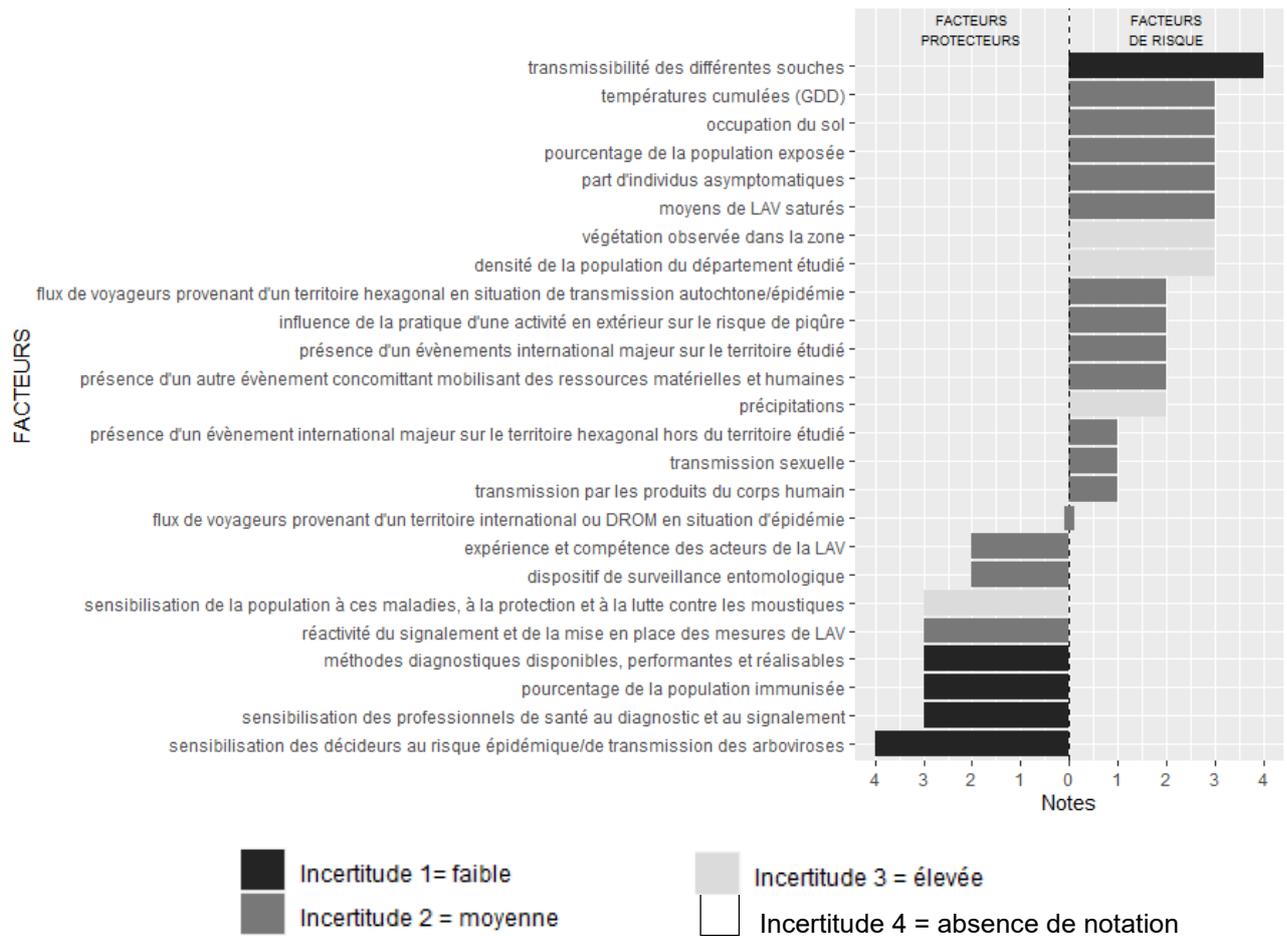
- sensibilisation au niveau ministériel :
 - les impacts des arboviroses concernant plusieurs ministères, la sensibilisation doit être interministérielle : au-delà du ministère de la santé, déjà sensibilisé, les experts pensent notamment au ministère de l'Environnement (plutôt concerné par les nuisances et par l'impact des biocides sur la biodiversité), le ministère du Tourisme (impact sur les flux touristiques, même avec un faible nombre de cas), le ministère de l'Économie et des Finances (mobilisations des moyens et conséquences économiques) ;
- sensibilisation au niveau préfectoral :
 - la sensibilisation du préfet de département ou de région, même dans des régions actuellement peu concernées par la colonisation par *Ae. albopictus*, est primordiale pour favoriser la résilience face à l'invasion, et la réactivité en cas de transmission autochtone pour l'éventuelle activation du plan ORSEC-LAV. Elle est par ailleurs nécessaire, pour une prise en compte préventive dans les politiques d'urbanisme (architecture, végétalisation, etc.) ;
- sensibilisation au niveau communal et des collectivités territoriales :
 - l'intégration d'un volet « arboviroses » dans les plans communaux de sauvegarde, dans le cadre de la gestion de crise doit être prévue dans le futur plan ORSEC-LAV ;
 - un référent ARS doit être présent dans chaque commune. Néanmoins, c'est actuellement le cas dans seulement 10 % des communes de France hexagonale;
 - de nombreuses communes dans les départements colonisés sont déjà sensibilisées, et cherchent désormais à investir dans des équipements permettant de diminuer les nuisances et les risques liés à la présence d'*Ae. albopictus* ;
 - lutte contre les gîtes larvaires dans les espaces publics.

Annexe 5. Version monochrome des Figures 7 et 8. Influence des facteurs sur l'apparition et l'ampleur d'un épisode de transmission d'arbovirus transmis par *Ae. albopictus*.

❖ Influence des facteurs sur l'apparition d'un épisode de transmission d'arbovirus par *Ae. albopictus*



❖ Influence des facteurs sur l'ampleur d'un épisode de transmission d'arbovirus par *Ae. albopictus*



Annexe 6 : Questionnaires adressés aux acteurs de terrain

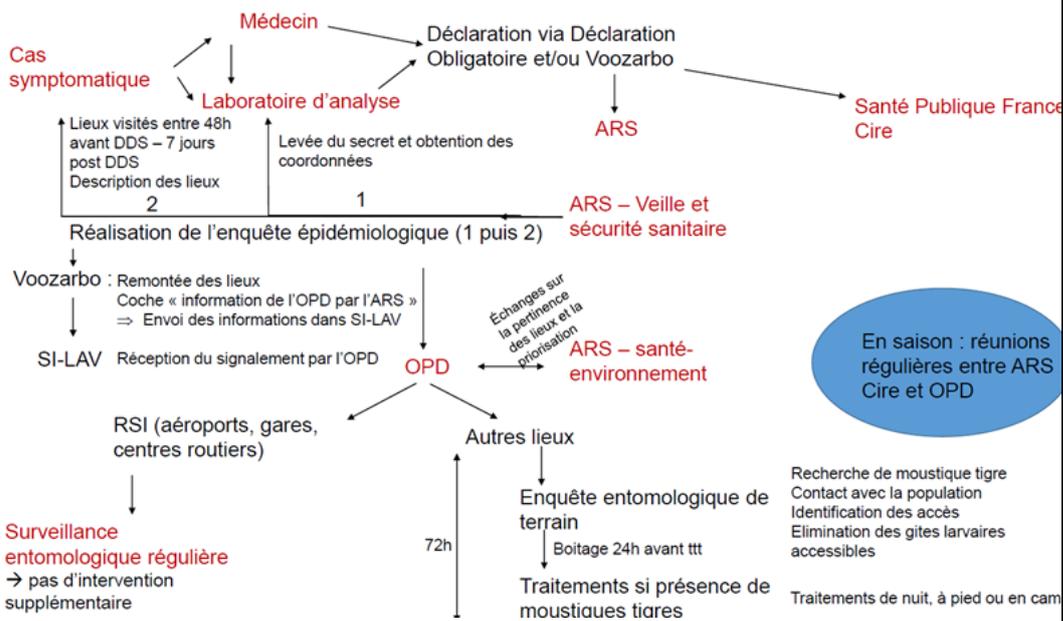
• Questionnaire adressé aux opérateurs de démoustication

Notre interrogation porte sur les éléments qui peuvent limiter votre action dans la lutte antivectorielle (LAV) aujourd'hui – enquête entomologique et traitement éventuel – et sur les impacts potentiels d'une augmentation de la transmission autochtone d'arboviroses par *Aedes albopictus* dans l'Hexagone.

Vous pouvez également nous transmettre tout document qui apporterait ou compléterait les réponses aux questions posées.

1. Contexte

Par rapport au schéma ci-dessous, pouvez-vous indiquer s'il correspond à votre activité et si vous interagissez avec d'autres acteurs non mentionnés pour l'activité qui relève de la LAV ?



2. Activité actuelle

2.1. Vous heurtez-vous à des difficultés dans la mise en œuvre de vos missions de lutte antivectorielle ? Si oui, lesquelles ?

2.2. Avez-vous accès et pouvez-vous traiter l'ensemble des gîtes larvaires et lieux de repos prévus dans votre protocole de traitement ?

2.3. Quelles sont les réactions (positives, neutres ou négatives) dans la population lors de vos interventions ? Observez-vous des réticences ?

2.4. Si vous vous heurtez à des réticences,

Sur quelles interventions portent-elles (suppression des gîtes larvaires, traitement adulticide, piégeage) ?

Quels motifs sont exprimés ?

D'où viennent les réticences (par ex. habitants, acteurs économiques, apiculteurs, acteurs politiques, militants associatifs) ?

2.5. Ces réticences ont-elles un impact sur votre organisation (besoin de formation complémentaire par exemple) ou sur la façon de mener votre activité (délai ou impossibilité d'effectuer des traitements) ?

2.6. Avez-vous des informations sur la part des traitements qui ne sont pas complètement réalisés, du fait de réticences ou pour d'autres motifs ?

2.7. Y a-t-il d'autres motifs qui peuvent gêner votre activité ?

2.8. Identifiez-vous des environnements / habitants / zones particulièrement vulnérables au risque de transmission autochtone ?

3. Perspective d'augmentation de l'activité

3.1. Vos moyens (humains, matériels) sont-ils mutualisés sur plusieurs territoires ? Si oui, à quelle échelle (entre départements, entre régions, sur tout le territoire national) ?

3.2. Jusqu'à quel niveau d'activité êtes-vous engagés par le(s) marché(s) public(s) qui vous est (sont) attribué(s), selon les zones géographiques concernées ?

3.3. Jusqu'à quel niveau d'activité pourriez-vous répondre à une demande supplémentaire et/ou exceptionnelle ? Le cas échéant, quels changements pourriez-vous envisager pour répondre à cette demande supplémentaire et dans quel délai (par exemple, réallocation des moyens internes, recrutements, formation, mutualisation des moyens avec d'autres opérateurs, sous-traitance) ? Quelles seraient les conditions nécessaires à cette adaptation (moyens supplémentaires, délais par exemple) ?

3.4. Quelles seraient d'après vous les conséquences de cette réorganisation (pour vous ou pour votre activité) ?

3.5. A partir de quel niveau (en nombre de cas importés ou autochtones, ou de sites à traiter ou de foyers) pensez-vous atteindre vos limites de capacité à intervenir y compris après adaptation ? Quels seraient les freins principaux à une augmentation de votre activité (financement, moyens matériels, moyens humains...) ?

3.6. Quels seraient selon vous les impacts d'une saturation de vos moyens ?

4. Commentaires libres

Avez-vous des commentaires à partager sur la mise en œuvre de la LAV, dans la perspective d'une augmentation du nombre de cas d'arboviroses transmises par *Aedes albopictus* dans l'Hexagone ?

• Questionnaire adressé aux ARS dans les DROM

Nos interrogations portent sur la gestion et les impacts des arboviroses transmises par *Aedes albopictus* (dengue, chikungunya, Zika). N'hésitez pas à moduler vos réponses selon le virus si nécessaire.

Vous pouvez également nous transmettre tout document qui apporterait ou compléterait les réponses aux questions posées.

1. Question relative à l'activité de lutte antivectorielle

Faites-vous face à des réactions de la population lors de la mise en œuvre des traitements de LAV ? Si oui, de quel type, sous quelle forme ?

2. Questions relatives à l'impact des arboviroses sur l'offre et l'organisation des soins et sur les autres activités

2.1. Quels domaines de l'offre de soins sont les plus touchés par une épidémie de dengue / Zika / chikungunya : médecine générale, services d'urgence, hospitalisation, pharmacies, laboratoires, infirmiers, autres (préciser) ?

2.2. Parmi les acteurs les plus touchés, à partir de quel niveau de transmission (ou d'activité, par exemple à partir de combien de passages aux urgences) pensez-vous que les maladies transmises par les moustiques *Aedes* (dengue, Zika, chikungunya) auraient un impact significatif (de nature à modifier l'activité habituelle) :

- Sur l'offre de soins (soins curatifs ambulatoires et hospitaliers, diagnostic biologique) ? En particulier, à partir de combien de cas ou de quel niveau de transmission, pensez-vous que l'offre de soins est / serait saturée (selon le type de ressources et le contexte - territoire, offre de soins initiale) ?

- Sur l'organisation des soins (nécessité de modifier l'offre de soins) ?

- En termes économiques :

O sur les activités des entreprises (absentéisme des employés) ?

O sur les individus (incapacité à travailler et/ou aide des malades, garde d'enfants) ?

O sur d'autres acteurs : école par exemple (absence des enseignants/fermeture ponctuelle, autres) ?

- Autres ?

2.3. Quels sont les facteurs qui peuvent modifier ce niveau de saturation à la baisse ou à la hausse (par ex. offre de soins initiale, information de la population, sensibilisation des professionnels de santé, gestion d'une épidémie d'arbovirose concomitante à une autre épidémie...) ?

2.4. En phase épidémique,

- quels indicateurs sanitaires ou liés à l'offre de soins surveillez-vous (passages aux urgences, hospitalisations...) ?

- quelle organisation mettez-vous en place en cas de saturation de l'offre de soins ?

2.5. Identifiez-vous des populations particulièrement vulnérables face aux arboviroses ? Quels facteurs sont, selon vous, susceptibles de modifier les impacts sanitaires d'une épidémie d'arbovirose ?

3. Commentaires libres

Avez-vous des commentaires à partager sur les impacts des arboviroses, dans la perspective d'une augmentation du nombre de cas d'arboviroses transmises par *Aedes albopictus* dans l'Hexagone ?

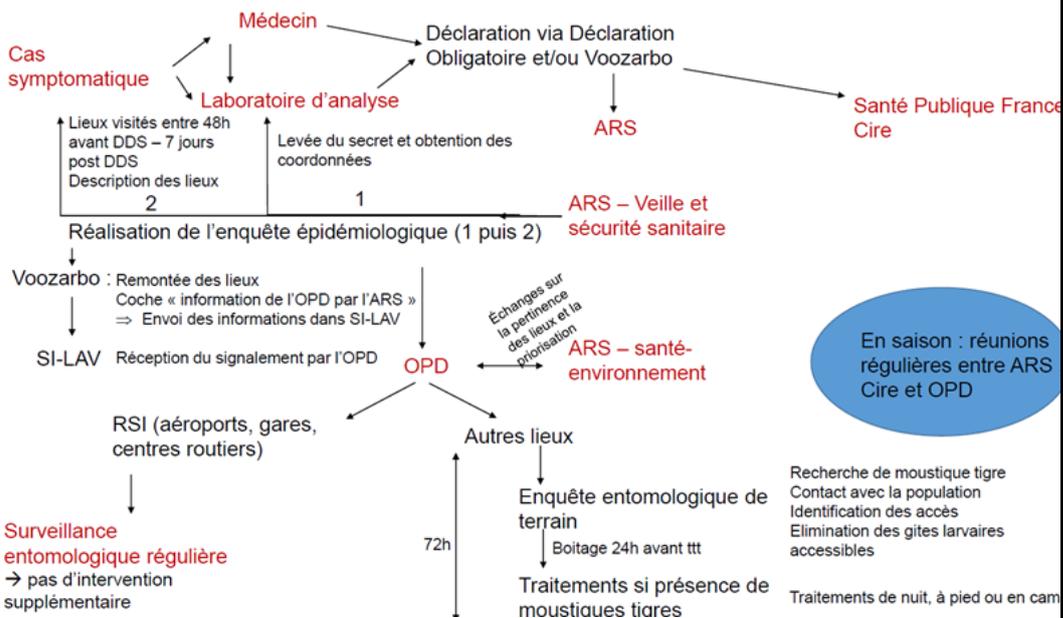
• Questionnaire adressé aux ARS dans l'Hexagone

Nos interrogations portent sur la gestion et les impacts des cas d'arboviroses transmises par *Aedes albopictus* (dengue, chikungunya, Zika) ainsi que les actions de LAV, du point de vue des ARS. N'hésitez pas à moduler vos réponses selon le virus si nécessaire.

Vous pouvez également nous transmettre tout document qui apporterait ou compléterait les réponses aux questions posées.

1. Contexte

Par rapport au schéma ci-dessous, pouvez-vous indiquer s'il correspond à votre activité et si vous interagissez avec d'autres acteurs non mentionnés pour l'activité qui relève de la gestion des cas et de la LAV ?



2. Questions générales relatives à la prévention et la lutte antivectorielle

2.1. De votre point de vue, y a-t-il des actions qui pourraient / devraient être mises en œuvre (et qui ne le sont pas) pour éviter ou limiter la transmission autochtone ? Si oui, lesquelles ? Certaines vous semblent-elles prioritaires ?

2.2. Quels sont les freins ou obstacles à la mise en œuvre des mesures de prévention et de lutte que vous citez ?

3. Questions relatives à l'activité d'investigation, de LAV et de prévention des cas d'arboviroses par les ARS (activité intra-ARS)

3.1. Vous heurtez-vous, dans votre organisation actuelle, à des difficultés dans la gestion (investigation et mise en œuvre des actions de prévention et de lutte) des cas importés ou des cas autochtones (par exemple, difficultés à joindre et interroger des personnes, réticences sur la communication autour des cas identifiés, difficultés à mettre en place les traitements, accès aux jardins des particuliers, etc.) ? Pouvez-vous décrire ces difficultés et quelles solutions vous pourriez envisager ?

3.2. Selon votre organisation actuelle, jusqu'à quel niveau d'activité (en nombre de cas importés, cas autochtones, nombre de foyers ou autre, par semaine) pouvez-vous assurer l'activité de suivi et de gestion des cas importés et autochtones ?

3.3. Quels sont les facteurs limitant votre capacité à gérer les cas (financiers, humains, champs de compétence, décisionnaires, autres) ?

3.4. Selon vous, quels seraient les impacts d'une saturation de vos moyens ? Est-il prévu le déblocage d'une enveloppe exceptionnelle ou une réorganisation d'urgence de vos moyens (par exemple, réallocation des moyens internes à l'ARS, recrutements ponctuels) ? Cette réorganisation aurait-elle un impact sur d'autres activités de l'ARS ? Quel serait l'impact opérationnel de cette réorganisation ?

3.5. Comment s'organisent les relais de gestion inter-ARS ou vers la Préfecture ?

3.6. Y a-t-il d'autres facteurs qui peuvent modifier votre capacité à assurer votre activité liée aux arboviroses (par exemple une sollicitation de vos ressources pour une autre demande) ?

4. Questions relatives à l'activité de lutte antivectorielle (par les opérateurs de démoustication)

4.1. Combien coûtent la surveillance entomologique et la LAV dans le cadre du marché public ?

4.2. Quels sont/ont été vos critères de choix d'opérateurs de LAV dans l'attribution du marché public et combien d'interventions sont prévues dans le marché (au total, par semaine) en situation « normale » ?

4.3. Si plusieurs opérateurs ont été retenus dans le marché public, comment mobilisez-vous les différents opérateurs ?

4.4. Avez-vous la possibilité de solliciter un opérateur de démoustication au-delà du cadre défini dans le marché (pour une activité supplémentaire et exceptionnelle par exemple) ? Si oui, dans quelles conditions (par exemple, avenant au marché public, priorisation des interventions, mobilisation de ressources supplémentaires, rapidité du processus) ?

4.5. Quels seraient d'après vous les impacts d'une saturation des moyens de LAV ?

4.6. Faites-vous face à des réactions de la population lors de la mise en œuvre des traitements ? Si oui, de quel type, sous quelle forme ?

5. Questions relatives à l'impact des arboviroses sur l'offre et l'organisation des soins, et les autres activités

5.1. Quel est selon vous le niveau de sensibilisation et de connaissance des professionnels de santé au risque d'arboviroses dans votre région (si possible, détaillez par type de professionnels : ville/établissements, infirmières/médecins...) ?

5.2. A partir de quel niveau de transmission (ou d'activité, par exemple à partir de combien de passages aux urgences) pensez-vous que les maladies transmises par les moustiques Aedes (dengue, Zika, chikungunya) auraient un impact significatif (de nature à modifier l'activité habituelle) :

- Sur l'offre de soins (soins curatifs ambulatoires et hospitaliers, diagnostic biologique) ? En particulier, à partir de combien de cas ou de quel niveau de transmission, pensez-vous que l'offre de soins serait saturée (selon le type de ressources et le contexte -territoire, offre de soins initiale) ?

- En termes économiques :

O sur les activités des entreprises (absentéisme des employés) ?

O sur les individus (incapacité à travailler et/ou aide des malades, garde d'enfants) ?

O sur d'autres acteurs : école par exemple (absence des enseignants/fermeture ponctuelle, autres) ?

- Autres ?

5.3. Quels indicateurs de LAV, sanitaires ou liés à l'offre de soins suivez-vous ? Pouvez-vous / pourriez-vous être amené à imposer des mesures, à limiter une activité ou l'accès à certains lieux au cours d'un épisode de transmission autochtone d'arboviroses transmises par *Aedes albopictus* ? Si oui, selon quels indicateurs et seuils d'alerte ?

6. Commentaires libres

Avez-vous des commentaires à partager sur les impacts des arboviroses, dans la perspective d'une augmentation du nombre de cas d'arboviroses transmises par *Aedes albopictus* dans l'Hexagone ?

• **Questionnaire adressé aux professionnels de santé hospitaliers dans les DROM**

Les questions visent à recueillir votre expérience de la gestion d'épidémies de dengue, chikungunya et/ou Zika afin d'estimer les impacts potentiels d'une augmentation de la transmission autochtone d'arboviroses par *Aedes albopictus* dans l'Hexagone.

Vous pouvez également nous transmettre tout document qui apporterait ou compléterait les réponses aux questions posées.

1. Quels secteurs de l'offre de soins sont touchés par une épidémie de dengue / zika / chikungunya (médecine générale, urgences, hospitalisation, laboratoires, infirmiers...) ? De quelle façon ?

2. A partir de quel seuil une épidémie a un impact significatif sur la prise en charge (des personnes souffrant d'arbovirose et des personnes recourant aux soins pour d'autres motifs) ? Quels sont les facteurs limitant la prise en charge (par ex. disponibilité du personnel, nombre de lits, disponibilité du matériel...) ?

3. Quels sont les facteurs qui peuvent modifier ce seuil (par ex. information de la population, sensibilisation des professionnels de santé...) ?

4. Observez-vous une hausse du nombre d'arrêts de travail dans le personnel hospitalier lors d'une épidémie d'arbovirose ? Si oui, cette hausse perturbe-t-elle l'activité de votre établissement ?

5. Quels sont les évènements qui peuvent modifier de façon significative l'impact d'une arbovirose sur le système de soins et les soignants (par ex. concomitance d'une autre épidémie) ? Comment ?

6. Identifiez-vous des populations particulièrement vulnérables (d'un point de vue clinique) ?

7. Quels sont les évènements qui peuvent modifier de façon significative l'impact d'une arbovirose sur l'état de santé des populations (par ex. concomitance d'une autre épidémie) ? Comment ?

8. Avez-vous connaissance de transmission d'une arbovirose à du personnel hospitalier ou à des patients hospitalisés ou venus en consultation ? Existe-t-il des recommandations pour éviter une transmission à l'hôpital ? Quelles mesures de prévention de la transmission intra-hospitalière sont mises en œuvre ?

9. Quelles sont selon vous les populations les plus susceptibles de subir davantage les conséquences des arboviroses et pour quelles raisons (par exemple, du fait de difficultés d'accès aux soins, de

manque d'information, de l'absence de soutien de proches, d'un reste à charge financier ou autre motif que vous pouvez préciser...) ?

10. Identifiez-vous des inégalités sociales liées aux effets à long terme du chikungunya (reste à charge / soins, aménagement du logement, aide pour les activités quotidiennes, capacité à travailler, revenu individuel...) ?

11. Y a-t-il des difficultés particulières à gérer une épidémie d'arbovirose concomitante à une autre épidémie ? Si oui lesquelles ?

12. Avez-vous d'autres commentaires à partager sur la prise en charge des patients lors d'une épidémie, dans la perspective d'une augmentation du nombre de cas d'arboviroses transmises par *Aedes albopictus* dans l'Hexagone ?

• Questionnaire adressé aux Directions de CHU

Les questions visent à recueillir votre expérience dans la perspective de la gestion d'épidémies de dengue, chikungunya et/ou Zika afin d'estimer les impacts potentiels d'une augmentation de la transmission autochtone d'arboviroses par *Aedes albopictus* dans l'Hexagone.

Vous pouvez également nous transmettre tout document qui apporterait ou compléterait les réponses aux questions posées.

1. En cas d'épidémie d'arbovirose pouvant survenir pendant la période estivale et le début de l'automne (dengue, Zika, chikungunya), avez-vous anticipé une organisation spécifique des soins ? Quelles seraient pour vous les spécificités d'une telle épidémie en termes d'organisation de l'offre de soins, par rapport aux autres épidémies connues (grippe, bronchiolite...) ? Par exemple, profils des patients, épidémie d'une maladie inhabituelle en période estivale, personnel disponible, connaissance de la maladie par les professionnels, moyens diagnostiques, services concernés...

2. Avez-vous été sensibilisés au risque de transmission vectorielle des arboviroses qui surviendrait au sein de l'hôpital (transmission par piqûre de moustique des patients ou du personnel), en période épidémique ou non ? Si oui, comment ?

3. Mettez-vous en œuvre des mesures de prévention ? Si oui, lesquelles ? Existe-t-il un budget fléché pour financer ces mesures de prévention ? Le cas échéant, quels sont les obstacles à leur mise en œuvre ?

• Questionnaire adressé à l'établissement français du sang

Les questions visent à recueillir votre expérience de la gestion d'épidémies de dengue, chikungunya et/ou Zika afin d'estimer les impacts potentiels d'une augmentation de la transmission autochtone d'arboviroses par *Aedes albopictus* dans l'Hexagone.

Vous pouvez également nous transmettre tout document qui apporterait ou compléterait les réponses aux questions posées.

1. Concernant les arboviroses transmises par *Aedes albopictus* en France hexagonale, quels tests de dépistage d'arboviroses pouvez-vous réaliser :

1.1. En cas d'épidémie ?

1.2. En cas de double épidémie d'arboviroses ?

2. Le dépistage serait-il individuel ou par pool ? (le cas échéant, détailler par arbovirose)

3. Quels seraient le coût des tests réalisés en cas d'épidémie (coût du test et coût logistique éventuel) ?

4. Quel serait l'impact d'une épidémie d'arbovirose sur la disponibilité des produits sanguins (suspension des collectes, retrait de dons) ? Pendant quelle durée ?

- **Questionnaire adressé aux chambres de commerce et d'industrie (CCI) dans les DROM**

Les questions visent à recueillir votre expérience de la gestion d'épidémies de dengue, chikungunya et/ou Zika afin d'estimer les impacts potentiels d'une augmentation de la transmission autochtone d'arboviroses par *Aedes albopictus* dans l'Hexagone.

Vous pouvez également nous transmettre tout document qui apporterait ou compléterait les réponses aux questions posées.

1. Le risque d'arboviroses (maladies transmises par les moustiques comme la dengue, le chikungunya ou le Zika) est-il un sujet de réflexion pour vous et les acteurs que vous accompagnez ?

2. D'après vous, quels secteurs d'activité ont été ou seront affectés par une épidémie d'arbovirose ? Pouvez-vous détailler pour chaque arbovirose (dengue, Zika, chikungunya) et chaque période ? De quelle façon les secteurs ont-ils été ou seraient affectés ?

N'hésitez pas à nous communiquer toute donnée qui viendrait documenter votre expérience, en particulier des études d'impact sur l'activité économique réalisées lors d'épidémies précédentes (par exemple, évolution du chiffre d'affaires, faillites d'entreprises, emploi...).

3. Avez-vous observé ou anticipez-vous la mise en place de mesures en lien avec le risque d'arboviroses, à votre initiative ou celle des entreprises ?

4. Avez-vous observé ou anticipez-vous que le risque d'arbovirose puisse être une opportunité économique pour certaines entreprises (innovation, recherche et développement, commercialisation de tests diagnostiques ou de répulsifs, lutte antivectorielle, vaccins...) ?

- **Questionnaire adressé aux chambres de commerce et d'industrie (CCI) dans l'Hexagone**

Les questions visent à recueillir votre expérience dans la perspective de la gestion d'épidémies de dengue, chikungunya et/ou Zika afin d'estimer les impacts potentiels d'une augmentation de la transmission autochtone d'arboviroses par *Aedes albopictus* dans l'Hexagone.

Vous pouvez également nous transmettre tout document qui apporterait ou compléterait les réponses aux questions posées.

1. Le risque d'arboviroses (maladies transmises par les moustiques comme la dengue, le chikungunya ou le Zika) est-il un sujet de réflexion pour vous et les acteurs que vous accompagnez ?

2. D'après vous, quels secteurs d'activité seraient affectés par une épidémie d'arbovirose ? De quelle façon ?

3. Anticipez-vous la mise en place de mesures en lien avec le risque d'arboviroses, à votre initiative ou celle des entreprises ?

4. Pensez-vous que le risque d'arbovirose peut être une opportunité économique pour certaines entreprises (innovation, recherche et développement, commercialisation de tests diagnostiques ou de répulsifs, lutte antivectorielle, vaccins...) ?

Annexe 7 : Liste des répondants aux questionnaires

Type d'acteurs	Réponses reçues
Opérateurs de démoustication (OpD)	Altopictus ARD Brigades vertes du Haut-Rhin CD17 Collectivité territoriale de Corse EID Méditerranée EIRAD SDDEA
ARS DROM	Guadeloupe Guyane Réunion
ARS Hexagone	Auvergne Rhône-alpes (ARA) Bourgogne Franche Comté (BFC) Bretagne (BRE) Centre Val de Loire (CVL) Corse (COR) Grand-Est (GES) Hauts de France (HDF) Île-de-France (IDF) Normandie (NOR) Nouvelle Aquitaine (NAQ) Occitanie (OCC) Pays de la Loire (PDL) Provence-Alpes-Côte d'Azur (PACA)
Professionnels de santé hospitaliers	Professeur André CABIE (CHU Martinique) Dr Marie-Pierre MOITON (CHU Réunion) Dr Marie-Christine JAFFAR-BANDJEE (CHU Réunion) Professeur Raymond CESAIRE (CHU Guadeloupe)
Établissement français du sang (EFS)	EFS
CCI Hexagone	CCI France
CCI DROM	CCI Guyane
Direction CHU Hexagone	APHM (Marseille) Bordeaux HCL (Lyon) Rennes Strasbourg Toulouse



anses

CONNAÎTRE, ÉVALUER, PROTÉGER

AGENCE NATIONALE DE SÉCURITÉ SANITAIRE
de l'alimentation, de l'environnement et du travail

14 rue Pierre et Marie Curie 94701 Maisons-Alfort Cedex
www.anses.fr — [@Anses_fr](https://twitter.com/Anses_fr)