

Identification de zones à risque d'introduction de quatre arboviroses zoonotiques dans l'Union européenne par le commerce des animaux vivants

Benoit Durand (1) (benoit.durand@anses.fr), Sylvie Lecollinet (1, 2), Cécile Beck (1, 2), Beatriz Martinez-López (3), Thomas Balenghien (4), Véronique Chevalier (5)

(1) Université Paris-Est, Anses, Laboratoire de santé animale, Unité d'épidémiologie, Maisons-Alfort, France

(2) Laboratoire de référence européen pour les maladies équine, Anses, Laboratoire de santé animale, Maisons-Alfort, France

(3) Université Complutense, École vétérinaire, Département de santé animale, Madrid, Espagne

(4) Cirad, UMR15 Cmaee, Montpellier, France; Inra, UMR1309 Cmaee, Montpellier, France

(5) Unité AGIRs, Cirad, Montpellier, France

Résumé

Le commerce des animaux vivants est l'un des principaux modes d'introduction de virus dans les zones indemnes à partir de leurs zones d'enzootie. Depuis quelques années, certains animaux sauvages sont considérés comme des animaux de compagnie, ce qui augmente la diversité des espèces d'animaux faisant l'objet d'un commerce international. Ceci pourrait permettre à des pathogènes présentant un large spectre d'hôtes, comme certains arbovirus, d'élargir leur aire de répartition. L'objectif de cette étude était d'analyser le risque posé par les importations d'animaux vivants pour l'introduction, dans l'Union européenne (UE), de quatre arbovirus affectant l'Homme et le cheval : les virus des encéphalites équine de l'est (EEEV) et de l'ouest (WEEV), de l'encéphalite vénézuélienne (VEEV) et de l'encéphalite japonaise (JEV). Des données d'importations, environnementales et des données de densité de population humaine et équine ont été combinées pour calculer des indicateurs spatialisés du risque d'introduction de ces virus et des conséquences potentielles de telles introductions. Les résultats montrent l'existence de zones à risque en Belgique, aux Pays-Bas et dans le nord de l'Italie, avec un niveau de risque plus élevé pour l'EEEV que pour les trois autres virus, risque principalement attribuable au commerce des animaux de compagnie importés par lots de petite taille d'origines variées. La diversité croissante des espèces et des origines de ces animaux pourrait avoir dans le futur un impact important sur le risque d'introduction d'arbovirus dans l'UE.

Mots-clés

Arbovirus, encéphalite équine de l'est, encéphalite équine de l'ouest, l'encéphalite vénézuélienne, encéphalite japonaise, équidés, risque d'introduction, Europe

Abstract

Identification of zones at risk for the introduction of four zoonotic arboviruses in the European Union via the trade in live animals

The trade in live animals is one of the main ways in which viruses are introduced into disease-free zones from their enzootic zones. In recent years, certain wild animals have begun to be considered as pets, thereby increasing the diversity of animal species involved in international trade. This could enable pathogens with a wide host spectrum, such as some arboviruses, to broaden their range. The aim of this study was to analyse the risk posed by imports of live animals for the introduction into the European Union (EU) of four arboviruses affecting humans and horses: Eastern and Western equine encephalitis virus (EEEV and WEEV respectively), Venezuelan equine encephalitis (VEEV) and Japanese encephalitis (JEV). Import, environmental and human/equine population density data were combined to calculate spatial indicators for the risk of introduction of these viruses and the potential ensuing consequences. The results show the existence of risk zones in Belgium, the Netherlands, and northern Italy, with a higher risk for EEEV than for the other three viruses. This risk can mainly be attributed to the trade in pets imported in small batches from various origins. The increasing diversity of these animals' species and origins could have a significant impact in the future on the risk of introduction of arboviruses into the EU.

Keywords

Arbovirus, Eastern equine encephalitis virus, Western equine encephalitis virus, Venezuelan equine encephalitis, Japanese encephalitis, Equidae, Risk of introduction, Europe

Les maladies infectieuses émergentes de l'Homme et de l'animal sont devenues au cours de ces dernières décennies, un problème majeur pour les autorités sanitaires. Les événements d'émergence de maladies infectieuses ont été répertoriés et caractérisés (Jones *et al.*, 2008; Taylor *et al.*, 2001; Weiss and McMichael, 2004; Woolhouse and Gowtage-Sequeria, 2005). Selon ces études, les agents pathogènes émergents sont plus fréquemment des virus à ARN, zoonotiques et/ou à transmission vectorielle, présentant un spectre d'hôtes large. Depuis le début du millénaire, le continent européen a dû faire face à de nombreux événements d'émergence ou de résurgence de maladies infectieuses causées par des arbovirus, comme le lignage 1 du virus West-Nile (WN) en 2000 (Murgue *et al.*, 2001), le virus Usutu en 2001 (Weissenböck *et al.*, 2002), le lignage 2 du virus WN en 2004 (Bakonyi *et al.*, 2006), le sérotype 8 du virus de la fièvre catarrhale ovine (FCO) en 2006 (Toussaint *et al.*, 2007) (ainsi que d'autres sérotypes au cours des années précédentes), le virus chikungunya en 2007 (Rezza *et al.*, 2007), celui de la dengue en 2010 (Gjenero-Margan *et al.*, 2011;

Gould *et al.*, 2010), et le virus Schmallenberg en 2011 (Hoffmann *et al.*, 2012). Certaines de ces introductions n'ont donné lieu qu'à des épidémies heureusement limitées (dengue, chikungunya) alors que d'autres ont initié de véritables vagues épizootiques (FCO sérotype 8, Schmallenberg). Certains de ces agents pathogènes sont par ailleurs devenus depuis endémiques dans certaines zones du continent européen (virus Usutu et WN). Une étude récente menée par l'ECDC (European Centre for Disease Control) considère l'introduction de maladies vectorielles comme l'une des huit menaces majeures en termes de maladies infectieuses pour l'Union européenne (UE) à l'horizon 2020 (Suk and Semenza, 2011).

Les virus des encéphalites équine de l'est (EEEV) et de l'ouest (WEEV), de l'encéphalite vénézuélienne (VEEV) et de l'encéphalite japonaise (JEV) sont quatre arbovirus à ARN responsables d'encéphalites létales chez l'Homme et le cheval. Ces maladies sont considérées comme émergentes (Taylor *et al.*, 2001) et figurent dans la liste de dix maladies récemment jugées prioritaires par un panel d'experts européens

Tableau 1. Groupes d'espèces d'hôtes, origines géographiques et vecteurs européens potentiels pris en compte pour analyser le risque d'introduction dans l'UE des virus de l'encéphalite équine de l'est (EEEV), de l'ouest (WEEV), de l'encéphalite vénézuélienne (VEEV) et de l'encéphalite japonaise (JEV)

Virus	Groupe d'espèces hôtes	Origine géographique	Espèces européennes de vecteurs
EEEV	Rongeurs, volailles et autres oiseaux, reptiles	Amérique du Nord, Amériques Centrale, Caraïbes, Amérique du Sud	<i>Culex pipiens</i> , <i>Aedes vexans</i> ⁽¹⁾ , <i>Aedes albopictus</i> ⁽²⁾
WEEV	Volailles et autres oiseaux	Amérique du Nord, Amériques Centrale, Caraïbes, Amérique du Sud	<i>Aedes vexans</i> , <i>Aedes caspius</i> ⁽³⁾ , <i>Aedes dorsalis</i> ⁽⁴⁾
VEEV	Rongeurs, primates, chevaux	Amériques Centrale, Caraïbes, Amérique du Sud	<i>Aedes albopictus</i>
JEV	Volailles et autres oiseaux, porcs	Asie du sud-est, Asie orientale, Inde, Pakistan	<i>Culex pipiens</i> , <i>Aedes albopictus</i>

(1) Dénomination taxonomique actuelle: *Aedimorphus vexans*
 (2) Dénomination taxonomique actuelle: *Stegomyia albopicta*
 (3) Dénomination taxonomique actuelle: *Ochlerotatus caspius*
 (4) Dénomination taxonomique actuelle: *Ochlerotatus dorsalis*

(Humblet *et al.*, 2012). L'avis de l'Anses (Anses, 2012) sur les risques d'introduction et de diffusion d'agents pathogènes exotiques en France métropolitaine place ces maladies dans les groupes 2 (encéphalite japonaise, encéphalite vénézuélienne) et 3 (encéphalites équines de l'est et de l'ouest), le groupe de maladies pour lesquelles le risque d'introduction et de diffusion a été jugé le plus élevé étant le groupe 1 (fièvre aphteuse, Influenza aviaire H5N1 etc.).

Le commerce des animaux de rente a un poids économique important, qui a doublé sur un intervalle de dix années puisque le volume total des exportations a été estimé par la FAO à 16,5 milliards \$US en 2009 (source: FAOSTAT, <http://faostat.fao.org>, consulté le 29/08/2012), alors qu'il n'était que de 8,7 milliards \$US en 1999. Les importations dans l'UE représentent à peu près la moitié de cette somme (8,9 milliard \$US en 2009). Le commerce d'animaux sauvages constitue également un marché important au niveau mondial avec une valeur totale estimée en 2007 à 407 millions €, l'UE étant le premier importateur mondial de reptiles et d'oiseaux de cage (Engler and Parry-Jones, 2007).

Des procédures de contrôle des risques sanitaires sont mises en œuvre en routine pour sécuriser les échanges d'animaux vivants, tant avant leur départ du pays d'origine (vaccination, comme c'est le cas pour VEEV, établissement de certificats sanitaires) qu'à leur arrivée sur le territoire européen (contrôles aux points d'entrée, quarantaine dans des locaux désinsectisés, comme c'est le cas pour les oiseaux de cage par exemple). Cette étude, publiée en 2013 (Durand *et al.*, 2013), s'est intéressée au risque résiduel (une fois mises en œuvre les procédures de contrôle des risques sanitaires) induit par les importations légales d'animaux vivants dans l'UE (27 pays), pour l'introduction de quatre arboviroses zoonotiques. Les objectifs étaient: (1) de développer des indicateurs spatialisés du risque d'introduction de virus et des conséquences potentielles en termes de cas cliniques, (2) de cartographier ces indicateurs au niveau du territoire de l'UE dans le cas de EEEV, WEEV, VEEV et de JEV, et (3) d'analyser les poids respectifs des animaux de rente et des animaux de compagnie dans ce risque d'introduction.

Matériel et méthodes

Données

Commerce des animaux vivants. Un extrait de la base de données TRACES (TRAde Control and Expert System) a été obtenu auprès de la Commission européenne (DG SANCO), incluant les entrées de vertébrés dans l'UE au cours de la période 2005-2009. Ce jeu de données a été filtré pour sélectionner les importations provenant de zones à risque (les zones où la circulation du virus a été décrite, ou est considérée comme plausible) pour les quatre virus d'intérêt, et concernant une espèce animale hôte de l'un de ces virus (considérés ici comme les vertébrés susceptibles de présenter une virémie suffisamment élevée et prolongée pour permettre l'infection d'un insecte vecteur) (Tableau 1). Les points d'origine et de destination ont été discrétisés en utilisant une grille hexagonale de 10 km de rayon.

Occupation des sols. La base CORINE Land Cover (Anonymous, 2007), qui décrit l'occupation des sols en Europe grâce à une nomenclature de 44 classes, a été utilisée. Ces données ont été agrégées selon une grille hexagonale de 10 km de rayon pour calculer, dans chaque cellule de cette grille, la proportion de surface couverte par chacune des 44 classes d'occupation des sols.

Densité de population. La base de données *Population density grid of EU-27+* (v5) (Gallego, 2010) a été utilisée pour calculer la densité moyenne de population dans chaque cellule d'une grille hexagonale de 10 km de rayon. Concernant les chevaux, la même opération a été effectuée, en se basant sur les données EUROSTAT (*Livestock: number of farms and heads by size of farm and NUTS 2 region*, http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=ef_ls_ovaareg&lang=en, consulté le 27/08/2012) corrigées (Durand *et al.*, 2013) grâce à des estimations de la taille totale de la population équine par pays de l'UE (Liljenstolpe, 2009).

Indicateur du risque d'introduction de virus

Le risque d'introduction d'un virus par le commerce des animaux vivants dépend du nombre d'animaux importés et de leur origine géographique. Les zones considérées comme à risque correspondent ici aux aires de répartition des quatre virus d'intérêt (Tableau 1). Ces zones sont étendues et les virus étudiés n'y circulent certainement pas partout toute l'année, mais de façon saisonnière, dans des zones restreintes (mais non répertoriées). Sans une connaissance précise de ces zones, une estimation précise du risque d'introduction est délicate. Cependant, on peut supposer que ce risque augmente avec la diversité des origines géographiques des lots: plus cette diversité augmente, plus grand est le risque qu'un lot au moins provienne d'une zone où le virus circule effectivement. En se fondant sur ces hypothèses et en utilisant à nouveau une grille hexagonale de 10 km de rayon, un indicateur empirique du risque d'introduction a été défini (Durand *et al.*, 2013) pour chaque cellule de la grille dans l'UE. Cet indicateur combine le nombre total d'animaux importés dans la cellule avec un indice de diversité des origines géographiques (Simpson, 1949).

Conséquences potentielles d'une introduction de virus

Les conséquences potentielles de l'introduction d'un des virus d'intérêt ont été analysées en considérant: (i) le risque d'infection de vecteurs locaux, et (ii) le risque d'occurrence de cas cliniques chez l'Homme ou le cheval. Pour chacun des virus d'intérêt, la liste des espèces de vecteurs potentiels présents en Europe a été fixée en se fondant sur un rapport de l'Efsa (Pages *et al.*, 2009) (Tableau 1). Pour chaque classe d'occupation des sols définie par CORINE Land Cover et pour chaque espèce de vecteur d'intérêt, on a défini, sur la base d'avis d'experts entomologistes, un score à trois niveaux quantifiant le fait que la classe d'occupation des sols représente ou pas un habitat satisfaisant pour le vecteur (des contraintes supplémentaires étant appliquées pour *Ae. vexans* et pour *Ae. albopictus*) (Durand *et al.*, 2013). Pour chaque cellule hexagonale de l'UE et pour chacune des espèces étudiées, on a alors pu calculer un indicateur de la présence d'une population de vecteur dans la

Tableau 2. Volume total des importations d'animaux vivants (individus, entre parenthèses : lots) déclarés dans la base de données TRACES entre 2005 et 2009 pour les chevaux, les porcs, les volailles, les autres oiseaux, les primates, les reptiles et les rongeurs

Espèce	Origine des animaux							Total
	Europe	Afrique	Asie		Amériques		Australie, Nouvelle-Zélande	
			Sud-Est	Autres parties	Nord	Sud		
Chevaux	75 043 (7 172)	2 118 (460)	43 035 (481)	4 698 (1 329)	15 496 (6 976)	15 703 ⁽³⁾ (2 025)	1 494 (681)	157 587 (19 124)
Porcs	2 052 (31)	4 (2)	0 ⁽⁴⁾ (0)	0 (0)	2 332 (87)	0 (0)	0 (0)	4 388 (120)
Volailles	607 348 (101)	0 (0)	0 ⁽⁴⁾ (0)	214 054 (31)	15,5 M ⁽⁵⁾ (2) (518)	61 945 ⁽¹⁾⁽²⁾ (7)	0 (0)	16,3 M ⁽⁵⁾ (657)
Primates	934 (62)	17 460 (225)	23 682 (209)	613 (26)	518 (22)	667 ⁽³⁾ (21)	2 (2)	43 876 (567)
Autres oiseaux	384 025 (424)	622 995 (444)	16 309 ⁽⁴⁾ (79)	14 020 (109)	391 348 ⁽¹⁾⁽²⁾ (169)	49 209 ⁽¹⁾⁽²⁾ (160)	2 062 (12)	1 479 968 (1 397)
Reptiles	74 935 (234)	1 570 393 (1 897)	820 150 (623)	84 702 (127)	5 881 321 ⁽¹⁾ (2 580)	427 529 ⁽¹⁾ (605)	42 (1)	8 859 072 (6 067)
Rongeurs	132 795 (822)	17 743 (100)	239 506 (642)	6 915 (109)	215 780 ⁽¹⁾ (5 879)	448 ⁽¹⁾⁽³⁾ (11)	608 (63)	613 795 (7 626)
Total	1 277 132 (8 826)	2 230 713 (3 128)	1 142 682 (2 034)	325 002 (1 731)	22 M (16 231)	549 871 (2 829)	4 208 (759)	27,5 M (35 558)

- (1) Lots pris en compte pour le risque d'introduction de l'encéphalite équine de l'est
 (2) Lots pris en compte pour le risque d'introduction de l'encéphalite équine de l'ouest
 (3) Lots pris en compte pour le risque d'introduction de l'encéphalite équine vénézuélienne
 (4) Lots pris en compte pour le risque d'introduction de l'encéphalite japonaise
 (5) Millions

Tableau 3. Indicateurs du risque d'introduction et d'occurrence de cas cliniques chez l'Homme et le Cheval et fraction attribuable aux importations dans l'UE entre 2005 et 2009 de différents groupes d'espèces, pour les virus des encéphalites équine de l'est (EEEV), de l'ouest (WEEV), vénézuélienne (VEEV) et pour le virus de l'encéphalite japonaise (JEV)

	Espèce	EEEV			WEEV			VEEV			JEV		
		Intro-duction ⁽¹⁾	Homme ⁽²⁾	Cheval ⁽³⁾	Intro-duction ⁽¹⁾	Homme ⁽²⁾	Cheval ⁽³⁾	Intro-duction ⁽¹⁾	Homme ⁽²⁾	Cheval ⁽³⁾	Intro-duction ⁽¹⁾	Homme ⁽²⁾	Cheval ⁽³⁾
Risque global ⁽⁴⁾		1,00	1,00	1,00	0,37	0,01	0,02	0,17	0,03	0,02	0,02	0,01	0,03
Risque attribuable ⁽⁵⁾	Chevaux							95 %	99 %	98 %			
	Porcs										0 %	0 %	0 %
	Volailles	24 %	4 %	15 %	71 %	43 %	62 %						
	Primates							3 %	<1%	<1%			
	Autres oiseaux	6 %	3 %	6 %	26 %	53 %	35 %				100 %	100 %	100 %
	Reptiles	35 %	36 %	39 %									
	Rongeurs	22 %	27 %	20 %				2 %	2 %	1 %			
	Animaux de rente ⁽⁶⁾	24 %	4 %	15 %	71 %	43 %	62 %	98 %	99 %	99 %	0 %	0 %	0 %
	Animaux de compagnie ⁽⁷⁾	72 %	91 %	81 %	26 %	53 %	35 %	2 %	2 %	1 %	100 %	100 %	100 %

- (1) Indicateur du risque d'introduction du virus
 (2) Indicateur du risque d'occurrence de cas cliniques chez l'Homme
 (3) Indicateur du risque d'occurrence de cas cliniques chez le Cheval
 (4) Référence: EEEV
 (5) Du fait du mode de calcul (différence relative de l'indicateur de risque avec ou sans les importations de lots du groupe d'espèces concerné), et comme pour deux espèces données les zones de destination des lots peuvent se recouvrir, la somme des colonnes (pour les 8 groupes d'espèces) peut être différente de 100 %.
 (6) Chevaux, porcs, volailles et primates
 (7) Oiseaux autres que les volailles, reptiles et rongeurs

cellule. Le risque d'infection de vecteurs locaux suite à une introduction de virus a été obtenu en multipliant, pour chaque cellule, l'indicateur du risque d'introduction par l'indicateur de la présence d'une population de vecteurs compétents. Le risque d'occurrence de cas cliniques chez l'Homme ou le cheval a finalement été obtenu en multipliant, pour chaque cellule, le risque d'infection de vecteurs suite à une introduction de virus par la densité locale des populations humaines et de chevaux.

Analyse numérique

Des cartes choroplètes ont été tracées, en définissant les classes de risque grâce aux percentiles des distributions des valeurs des indicateurs dans chaque cellule hexagonale. Ces cartes ont été lissées pour en faciliter la lecture. La fraction de risque attribuable à chaque groupe d'espèce importée a été calculée en supprimant les lots correspondants du jeu de données et en calculant un risque réduit grâce à ce jeu restreint de données. La fraction de risque attribuable à un groupe d'espèces était alors la différence entre le risque total (calculé en utilisant le jeu de données complet) et le risque réduit, divisée par le risque total.

Résultats

Importations d'animaux vivants

Un total de 150 154 lots de vertébrés est entré dans l'UE entre 2005 et 2009, correspondant à 2,85 milliards d'animaux. La plupart étaient des poissons: 2,78 milliards d'animaux en 86 496 lots, contre 65,7 millions d'autres vertébrés en 63 606 lots. Parmi ces derniers, 12 054 lots contenant 22,5 millions d'animaux ont été considérés à risque pour l'introduction de l'EEEV, du WEEV, du VEEV ou du JEV (i.e. concernant des animaux des espèces hôtes, en provenance de zones où ces virus circulent) (Tableau 2). Ces lots provenaient de 628 cellules hexagonales distinctes localisées en Amérique et en Asie, et ont été livrés dans 1 070 cellules hexagonales différentes dans l'UE. Pour WEEV, EEEV et JEV plus de 90 % des lots provenaient de pays ayant déclaré des cas à l'OIE entre 2005 et 2009. Pour VEEV, aucun des chevaux importés ne provenait de pays ayant déclaré des cas à l'OIE entre 2005 et 2009. Néanmoins la proportion d'animaux provenant de pays à risque pour le VEEV était de 30 % pour les rongeurs et de 81 % pour les primates.

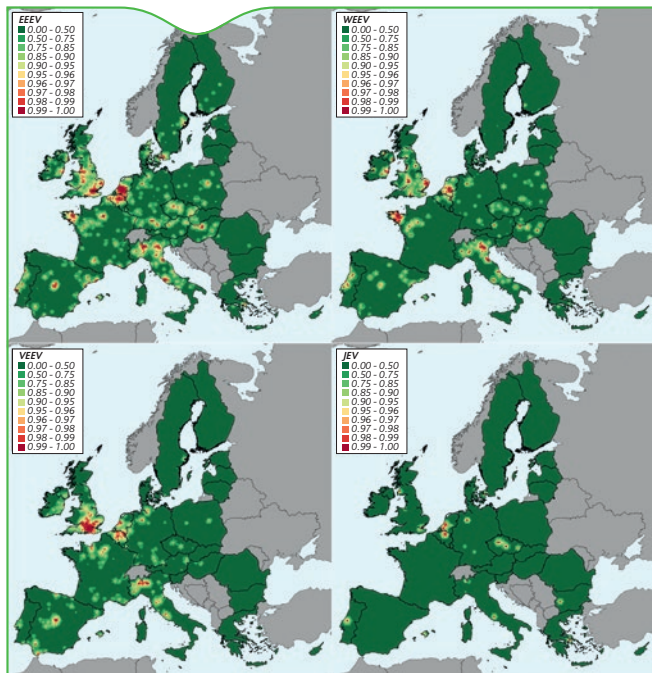


Figure 1. Variations géographiques du risque d'introduction dans l'UE, par les importations d'animaux vivants, des virus des encéphalites équine de l'est (EEEV), de l'ouest (WEEV), vénézuélienne (VEEV) et du virus de l'encéphalite japonaise (JEV) (Durand *et al.*, 2013). Les niveaux de couleur correspondent aux percentiles de chaque distribution.

Indicateur du risque d'introduction de virus

Globalement, le risque d'introduction était plus élevé pour EEEV. Il était trois fois plus faible pour WEEV, cinq fois plus faible pour VEEV et 50 fois plus faible pour JEV (Tableau 3). Pour EEEV, environ 70 % du risque d'introduction était attribuable aux animaux de compagnie exotiques (rongeurs, oiseaux autres que les volailles, reptiles) (Tableau 3). La situation inverse était observée pour WEEV et VEEV avec respectivement 71 % et 98 % du risque attribuable à des animaux de rente (volailles pour WEEV, chevaux pour VEEV). Aucune volaille et aucun porc n'ayant été importé d'Asie du sud-est entre 2005 et 2009, 100 % du risque d'introduction de JEV était attribuable aux animaux de compagnie exotiques. Des variations géographiques marquées du niveau de risque ont été observées (Figure 1), avec un risque plus marqué autour des capitales et des grandes agglomérations. Les zones présentant le risque le plus élevé (99^e percentile) étaient localisées aux Pays-Bas (EEEV, WEEV, JEV), en Belgique (EEEV, VEEV, JEV), dans le sud de l'Angleterre (EEEV, VEEV), le nord de l'Italie (EEEV, WEEV, VEEV) et l'ouest de la France (EEEV, WEEV).

Conséquences potentielles d'une introduction de virus

Les conséquences potentielles d'une introduction de virus sont apparues nettement plus faibles pour WEEV, VEEV et JEV que pour EEEV, avec des rôles contrastés des différents groupes d'espèces. Pour EEEV, la fraction de risque attribuable aux animaux de compagnie exotiques était prédominante (91 % et 81 % pour l'occurrence potentielle de cas cliniques chez l'Homme et le cheval, respectivement) (Tableau 3). Au contraire, pour VEEV, l'essentiel du risque était attribuable aux espèces de rente (99 %). La situation de WEEV était intermédiaire, la fraction de risque attribuable aux animaux de compagnie exotiques étant de 53 % pour l'occurrence de cas cliniques humains, et de 35 % pour l'occurrence de cas cliniques chez le cheval. Les zones à risque le plus élevé d'occurrence de cas cliniques chez l'Homme (Figure 2) coïncidaient avec les grandes agglomérations, le Bénélux et le nord de l'Italie présentant un risque plus élevé qu'ailleurs pour chacun des quatre virus d'intérêt. Pour ce qui est de l'occurrence de cas cliniques chez le cheval (Figure 3), la Belgique et les Pays-Bas étaient clairement les zones à risque le plus élevé, pour chacun des quatre virus étudiés.

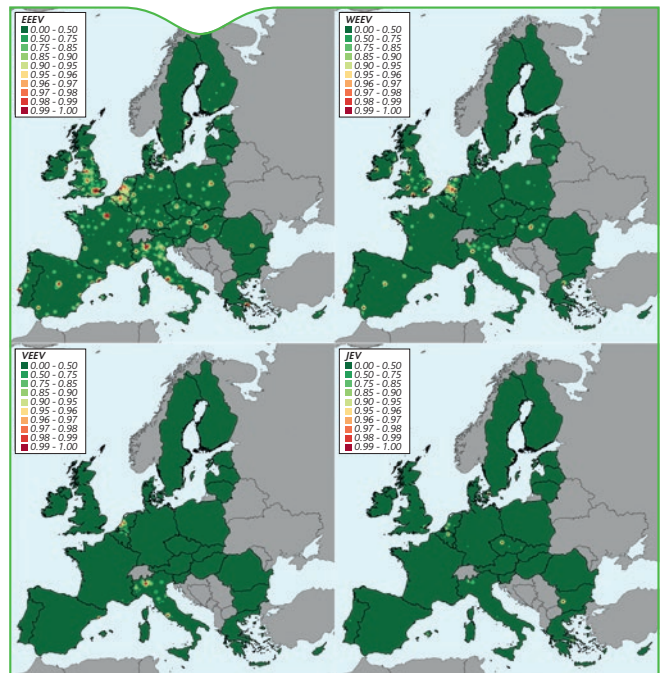


Figure 2. Variations géographiques du risque d'occurrence de cas cliniques chez l'homme à la suite de l'introduction dans l'UE, par les importations d'animaux vivants, des virus des encéphalites équine de l'est (EEEV), de l'ouest (WEEV), vénézuélienne (VEEV) et du virus de l'encéphalite japonaise (JEV) (Durand *et al.*, 2013). Les niveaux de couleur correspondent aux percentiles de chaque distribution.

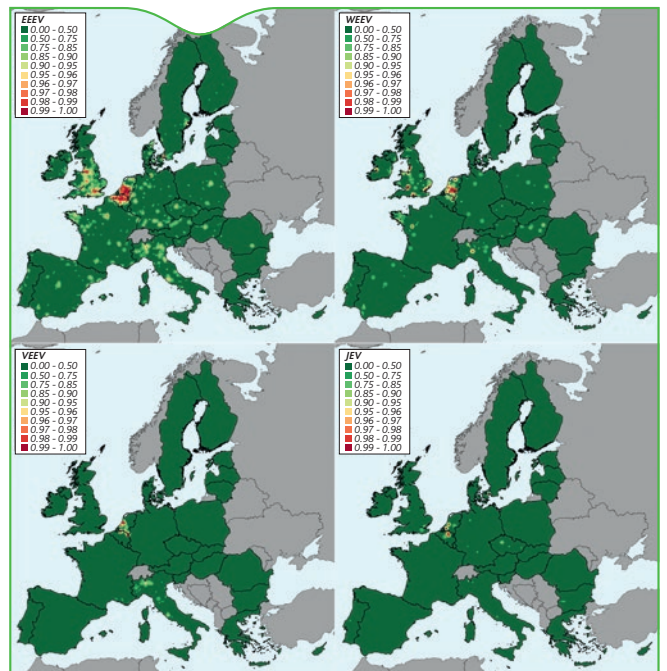


Figure 3. Variations géographiques du risque d'occurrence de cas cliniques chez le cheval à la suite de l'introduction dans l'UE, par les importations d'animaux vivants, des virus des encéphalites équine de l'est (EEEV), de l'ouest (WEEV), vénézuélienne (VEEV) et du virus de l'encéphalite japonaise (JEV) (Durand *et al.*, 2013). Les niveaux de couleur correspondent aux percentiles de chaque distribution.

Discussion

Les variations géographiques des indicateurs de risque analysés montrent clairement l'existence de zones à risque pour l'introduction par le commerce des animaux vivants, de quatre arbovirus zoonotiques: EEEV, WEEV, VEEV et JEV. L'existence de ces zones à risque suggère que le niveau de vigilance et les stratégies de surveillance devraient être adaptés dans les zones concernées. Une partie de la Belgique, des Pays-Bas et du nord de l'Italie se sont avérées être parmi les zones à risque

le plus élevé dans l'UE pour chacun des quatre virus étudiés. Ces zones sont fortement urbanisées et sont la destination d'un volume important de lots d'animaux de compagnie exotiques. La Belgique et les Pays-Bas sont par ailleurs au sein de l'UE des zones majeures pour l'élevage de volailles, et reçoivent également un nombre élevé de lots de volailles importées. Le nord de l'Italie est la seule zone de l'UE hébergeant des habitats satisfaisants pour chacune des cinq espèces de vecteurs considérées, alors que la Belgique et les Pays-Bas se sont avérés être des régions favorables pour *Culex pipiens* et, à un moindre degré, pour les espèces d'*Aedes* considérées (voir les cartes dans (Durand *et al.*, 2013)). Finalement, ces zones sont parmi les plus densément peuplées de l'UE, particulièrement la Belgique et les Pays-Bas qui hébergent également une importante population de chevaux (voir (Durand *et al.*, 2013) pour plus de précisions). La combinaison de ces facteurs explique le risque d'introduction de virus plus élevé dans ces zones de l'UE, ainsi que des conséquences épidémiques potentielles plus sévères de telles introductions. On peut noter que ces zones à risque sont cohérentes avec les lieux d'émergence de plusieurs arbovirus récemment apparus dans l'UE: le virus de la FCO à sérotype 8 en Belgique et aux Pays-Bas (Saegerman *et al.*, 2010), le virus Schmallenberg en Allemagne et aux Pays-Bas (Hoffmann *et al.*, 2012), les virus Usutu et West-Nile dans le nord de l'Italie (Barzon *et al.*, 2012; Calzolari *et al.*, 2012; Weissenböck *et al.*, 2013), où des observations récentes suggèrent une circulation possible de JEV (Zeller, 2012).

Parmi les quatre virus étudiés, le risque d'introduction le plus élevé et les conséquences les plus sévères concernaient EEEV. Cette prédominance s'explique en premier lieu par les espèces d'hôtes considérées comme à risque pour l'introduction du virus, qui incluaient des animaux de rente (volailles, importées par lots de taille importante d'un nombre limité de zones géographiques) et des animaux exotiques de compagnie (rongeurs, oiseaux de cage et reptiles, importés par lots de taille plus modeste, mais provenant d'origines géographiques beaucoup plus variées); ce second groupe d'espèces étant responsable de l'essentiel du risque d'introduction. Le risque plus élevé obtenu pour EEEV s'explique également par les espèces de vecteurs considérées, qui incluaient *Cx. pipiens*, l'espèce de moustique la plus largement répandue en Europe, dominante notamment en milieu urbain. Le risque d'introduction de WEEV par des oiseaux importés était également important et largement réparti, mais les espèces de moustiques vecteurs potentielles (du genre *Aedes*), dont la répartition géographique est plus limitée que celle de *Cx. pipiens*, limitaient les conséquences potentielles d'une introduction. Pour VEEV, le risque d'introduction, essentiellement attribué aux chevaux, était également répandu mais là encore les conséquences potentielles étaient limitées par la répartition relativement restreinte du vecteur considéré (*Ae. albopictus*). De plus, aucun des chevaux importés ne provenait de pays ayant déclaré des cas entre 2005 et 2009; le risque d'introduction de VEEV a donc probablement été surestimé. Finalement pour JEV, le facteur limitant n'était pas le vecteur considéré (*Cx. pipiens*) mais le faible volume d'importations d'oiseaux à partir de l'Asie du sud-est (aucun porc n'étant importé dans l'UE depuis cette partie du monde), fortement réduit après la crise influenza de 2005.

Les données sur le commerce international des animaux vivants sont rares et ce travail est la première description des importations d'animaux vivants dans l'UE. Un nombre étonnamment élevé d'importations d'animaux exotiques a été observé: les rongeurs étaient le second groupe d'espèces importé en termes de nombres de lots (après les chevaux) et les reptiles étaient le second groupe d'espèces importé en termes de nombre d'animaux (derrière les volailles). La principale différence entre animaux de rente et animaux exotiques est bien sûr la diversité spécifique: quatre espèces ou groupes d'espèces (bovins, porcs, volailles et chevaux) dominent le commerce des animaux de rente alors que celui des animaux exotiques concerne des centaines d'espèces, cette diversité spécifique étant favorisée par les achats sur Internet et reste malheureusement mal documentée. Le personnel chargé de contrôler aux frontières les lots importés devrait être mieux formé pour l'identification des espèces d'oiseaux de cage, de rongeurs et de reptiles (Rosen and Smith, 2010). De plus, si la réglementation du

commerce international des animaux de rente a été conçue en partie pour protéger le caractère indemne des pays importateurs vis-à-vis de certaines maladies, ce n'est pas le cas pour la réglementation du commerce international des animaux sauvages, conçue pour protéger les espèces menacées (Fèvre *et al.*, 2006). À leur arrivée dans l'UE, l'état de santé et les conditions d'hébergement de ces animaux devraient être systématiquement contrôlés.

Les arbovirus ont souvent un spectre d'hôtes large, une caractéristique qui pourrait être soumise à une pression de sélection positive (Woolhouse *et al.*, 2001), spécialement dans un contexte de perte globale de biodiversité. Cette diversité d'hôtes n'est que partiellement connue et des études de terrain permettent régulièrement d'identifier de nouvelles espèces d'hôtes d'arbovirus (par exemple pour EEEV, lire Arrigo *et al.* (2010), Graham *et al.* (2012) ou White *et al.* (2011)). Dans le futur, l'augmentation de la diversité spécifique des animaux importés pourrait donc avoir un impact important sur l'introduction d'arbovirus dans l'UE.

Remerciements

Nous remercions la commission européenne, DG santé et consommateurs (Alf Fuessel, Kaido Kroon, Frank Juschus) pour nous avoir mis à disposition un extrait de la base de données TRACES. Cette étude a été financée par le réseau d'excellence EPIZONE, projet 016236/FP6-2004-Food-3-A, « Implementation of a surveillance network on exotic equine encephalitis viruses in Europe ».

Références bibliographiques

- Anonymous, 2007. CLC 2006 Technical Guidelines., EEA Technical report, n° 17. European Environment Agency, Copenhagen.
- Anses, 2012. Risques d'introduction et de diffusion d'agents pathogènes exotiques en France métropolitaine et sur des propositions de mesures pour réduire ces risques. Rapport d'expertise collective, 223 p.
- Arrigo, N.C., Adams, A.P., Watts, D.M., Newman, P.C., Weaver, S.C., 2010. Cotton rats and house sparrows as hosts for North and South American strains of eastern equine encephalitis virus. *Emerg Infect Dis* 16, 1373–1380. doi:10.3201/eid1609.100459
- Bakonyi, T., Ivanics, E., Erdélyi, K., Ursu, K., Ferenczi, E., Weissenböck, H., Nowotny, N., 2006. Lineage 1 and 2 strains of encephalitic West Nile virus, central Europe. *Emerg. Infect. Dis.* 12, 618–623. doi:10.3201/eid1204.051379
- Barzon, L., Pacenti, M., Franchin, E., Lavezzo, E., Martello, T., Squarzon, L., Toppo, S., Fiorin, F., Marchiori, G., Russo, F., Cattai, M., Cusinato, R., Palu, G., 2012. New endemic West Nile virus lineage 1a in northern Italy, July 2012. *Euro Surveill. Bull. Eur. Sur Mal. Transm. Eur. Commun. Dis. Bull.* 17.
- Calzolari, M., Gaibani, P., Bellini, R., Defilippo, F., Pierro, A., Albieri, A., Maioli, G., Luppi, A., Rossini, G., Balzani, A., Tamba, M., Galletti, G., Gelati, A., Carrieri, M., Pogliayen, G., Cavrini, F., Natalini, S., Dottori, M., Sambri, V., Angelini, P., Bonilauri, P., 2012. Mosquito, bird and human surveillance of West Nile and Usutu viruses in Emilia-Romagna Region (Italy) in 2010. *PloS One* 7, e38058. doi:10.1371/journal.pone.0038058
- Durand, B., Lecollinet, S., Beck, C., Martínez-López, B., Balenghien, T., Chevalier, V., 2013. Identification of Hotspots in the European Union for the Introduction of Four Zoonotic Arboviruses by Live Animal Trade. *PLoS One* 8, e70000. doi:10.1371/journal.pone.0070000
- Engler, M., Parry-Jones, R., 2007. Opportunity or threat, the role of the European Union in the global wildlife trade. *TRAFFIC Eur. Bruss. Belg.* 52 p.
- Fèvre, E.M., Bronsvoort, B.M. de C., Hamilton, K.A., Cleaveland, S., 2006. Animal movements and the spread of infectious diseases. *Trends Microbiol* 14, 125–131. doi:10.1016/j.tim.2006.01.004
- Gallego, F.J., 2010. A population density grid of the European Union. *Popul. Environ.* 31, 460–473.
- Gjenero-Margan, I., Aleraj, B., Krajcar, D., Lesnikar, V., Klobučar, A., Pem-Novosel, I., Kurečić-Filipović, S., Komparak, S., Martić, R., Duričić, S., Beticaradić, L., Okmadžić, J., Vilibić-Čavlek, T., Babić-Erceg, A., Turković, B., Avsić-Županc, T., Radić, I., Ljubić, M., Sarac, K., Benić, N., Mlinarić-Galinović, G., 2011. Autochthonous dengue fever in Croatia, August-September 2010. *Euro Surveill* 16, 1-4.
- Gould, E.A., Gallian, P., Lamballerie, X.D., Charrel, R.N., 2010. First cases of autochthonous dengue fever and chikungunya fever in France: from bad dream to reality! *Clin Microbiol Infect* 16, 1702–1704. doi:10.1111/j.1469-0691.2010.03386.x

- Graham, S.P., Hassan, H.K., Chapman, T., White, G., Guyer, C., Unnasch, T.R., 2012. Serosurveillance of eastern equine encephalitis virus in amphibians and reptiles from Alabama, USA. *Am J Trop Med Hyg* 86, 540–544. doi:10.4269/ajtmh.2012.11-0283
- Hoffmann, B., Scheuch, M., Höper, D., Jungblut, R., Holsteg, M., Schirrmeyer, H., Eschbaumer, M., Goller, K.V., Wernike, K., Fischer, M., Breithaupt, A., Mettenleiter, T.C., Beer, M., 2012. Novel orthobunyavirus in Cattle, Europe, 2011. *Emerg Infect Dis* 18, 469–472. doi:10.3201/eid1803.111905
- Humblet, M.-F., Vandeputte, S., Albert, A., Gosset, C., Kirschvink, N., Haubruge, E., Fecher-Bourgeois, F., Pastoret, P.-P., Saegerman, C., 2012. Multidisciplinary and evidence-based method for prioritizing diseases of food-producing animals and zoonoses. *Emerg Infect Dis* 18. doi:10.3201/eid1804.111151
- Jones, K.E., Patel, N.G., Levy, M.A., Storeygard, A., Balk, D., Gittleman, J.L., Daszak, P., 2008. Global trends in emerging infectious diseases. *Nature* 451, 990–993. doi:10.1038/nature06536
- Liljenstolpe, C., 2009. Horses in Europe. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.
- Murgue, B., Murri, S., Zientara, S., Durand, B., Durand, J.P., Zeller, H., 2001. West Nile outbreak in horses in southern France, 2000: the return after 35 years. *Emerg Infect Dis* 7, 692–696. doi:10.3201/eid0704.010417
- Pages, N., Huber, K., Cipriani, M., Chevalier, V., Conraths, F.J., Goffredo, M., Balenghien, T., 2009. Scientific report submitted to EFSA: scientific review on mosquitoes and mosquito-borne diseases. European Food Safety Authority, Parma.
- Rezza, G., Nicoletti, L., Angelini, R., Romi, R., Finarelli, A.C., Panning, M., Cordioli, P., Fortuna, C., Boros, S., Magurano, F., Silvi, G., Angelini, P., Dottori, M., Ciufolini, M.G., Majori, G.C., Cassone, A., group, C.H.I.K.V. study, 2007. Infection with chikungunya virus in Italy: an outbreak in a temperate region. *Lancet* 370, 1840–1846.
- Rosen, G.E., Smith, K.F., 2010. Summarizing the evidence on the international trade in illegal wildlife. *Ecohealth* 7, 24–32. doi:10.1007/s10393-010-0317-y
- Saegerman, C., Mellor, P., Uytendaele, A., Hanon, J.-B., Kirschvink, N., Haubruge, E., Delcroix, P., Houtain, J.-Y., Pourquier, P., Vandebussche, F., Verheyden, B., De Clercq, K., Czaplicki, G., 2010. The most likely time and place of introduction of BTV8 into Belgian ruminants. *PloS One* 5, e9405. doi:10.1371/journal.pone.0009405
- Simpson, E.H., 1949. Measurement of Diversity. *Nature* 163, 688.
- Suk, J.E., Semenza, J.C., 2011. Future infectious disease threats to Europe. *Am J Public Health* 101, 2068–2079. doi:10.2105/AJPH.2011.300181
- Taylor, L.H., Latham, S.M., Woolhouse, M.E., 2001. Risk factors for human disease emergence. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 356, 983–989. doi:10.1098/rstb.2001.0888
- Toussaint, J.-F., Sailleau, C., Mast, J., Houdart, P., Czaplicki, G., Demeestere, L., Vandebussche, F., Dessel, W. van, Goris, N., Bréard, E., Bounaadja, L., Etienne, T., Zientara, S., Clercq, K.D., 2007. Bluetongue in Belgium, 2006. *Emerg Infect Dis* 13, 614–616. doi:10.3201/eid1304.061136
- Weissenböck, H., Bakonyi, T., Rossi, G., Mani, P., Nowotny, N., 2013. Usutu Virus, Italy, 1996. *Emerg. Infect. Dis.* 19, 274–277. doi:10.3201/eid1902.121191
- Weissenböck, H., Kolodziejek, J., Url, A., Lussy, H., Rebel-Bauder, B., Nowotny, N., 2002. Emergence of Usutu virus, an African mosquito-borne flavivirus of the Japanese encephalitis virus group, central Europe. *Emerg. Infect. Dis.* 8, 652–656. doi:10.3201/eid0807.020094
- Weiss, R.A., McMichael, A.J., 2004. Social and environmental risk factors in the emergence of infectious diseases. *Nat Med* 10, S70–S76. doi:10.1038/nm1150
- White, G., Ottendorfer, C., Graham, S., Unnasch, T.R., 2011. Competency of reptiles and amphibians for eastern equine encephalitis virus. *Am J Trop Med Hyg* 85, 421–425. doi:10.4269/ajtmh.2011.11-0006
- Woolhouse, M.E.J., Gowtage-Sequeria, S., 2005. Host range and emerging and reemerging pathogens. *Emerg Infect Dis* 11, 1842–1847. doi:10.3201/eid1112.050997
- Woolhouse, M.E., Taylor, L.H., Haydon, D.T., 2001. Population biology of multihost pathogens. *Science* 292, 1109–1112.
- Zeller, H., 2012. Is Japanese encephalitis emerging in Europe? *Euro Surveill. Bull. Eur. Sur. Mal. Transm. Eur. Commun. Dis. Bull.* 17.