

Stratégies de contrôle optimales en cas d'épizootie de fièvre aphteuse en France en fonction de l'impact considéré, du niveau géographique et de la prise de risque des décideurs

Maud Marsot (maud.marsot@anses.fr) (1), Séverine Rautureau (2), Barbara Dufour (3), Benoit Durand (1)

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

(2) Direction générale de l'alimentation, Bureau de la santé animale, Paris, France

(3) EPIMAL, Ecole nationale vétérinaire d'Alfort, Unité sous contrat Anses, Maisons-Alfort, France

Résumé

Comparer des stratégies de contrôle de maladies infectieuses permet de déterminer les stratégies optimales en fonction de leurs impacts. Dans cette étude, l'objectif était d'identifier la stratégie de lutte optimale à mettre en œuvre en cas d'épizootie de fièvre aphteuse (FA) en France en fonction de l'impact considéré, du niveau géographique et de la prise de risque des décideurs (neutre face au risque/aversion du risque). La moyenne et l'écart-type des coûts publics, du nombre d'élevages abattus et des pertes à l'export d'épizooties de FA simulées ont été calculées pour comparer sept stratégies au niveau national et régional en fonction de la prise de risque du décideur. Selon le modèle, au niveau national, les décideurs choisissent toujours la vaccination. Avec une stratégie appliquée à l'échelle régionale pour les décideurs neutres, des différences entre régions suivant l'impact considéré sont observées. Par exemple, la vaccination permet de minimiser les coûts publics dans les régions à forte densité de cheptels, alors que la stratégie sanitaire est suffisante ailleurs pour les minimiser. De plus, la vaccination était plus souvent optimale pour les décideurs ayant une aversion au risque. La perception du risque et les disparités régionales devraient donc être prises en compte pour choisir la stratégie de lutte optimale contre la FA en France, en fonction de l'impact à minimiser.

Mots-clés

Fièvre aphteuse, prise de décision, stratégie de contrôle, perception du risque, simulations

Abstract

Optimal control strategies in case of foot-and-mouth disease epizootics in France according to the impact of the epizootics, the risk-taking and the geographic level of decision-making

Comparison of control strategies for infectious animal diseases enables optimal strategies to be determined based on their impacts. The objective of this study was to identify the best foot-and-mouth disease (FMD) control strategy at two geographical levels and for two risk-taking positions of the decision-maker (risk-neutral/risk-averse). The mean and the standard deviation of public costs, export losses and the number of herds slaughtered in simulated FMD epizootics were quantified in order to compare seven control strategies at the national and regional level and for the two risk-taking positions considered. At the national level, decision makers systematically chose a strategy based on vaccination. This consensus concealed marked differences between regions and types of impact for risk-neutral decision makers. For example, vaccination minimized public costs in the regions with the highest herd densities while in the other regions the stamping-out was sufficient. For example, strategies based on vaccination minimized more often the impacts for risk-averse decision makers than for risk neutral. Thus, risk perception should be taken into account to choose the best strategy against FMD in France. Lastly, the differences between regions suggest that control strategies could be effectively tailored to local breeding conditions.

Keywords

Foot-and-mouth disease, Decision making, Control strategy, Risk perception, Simulations

La fièvre aphteuse (FA) est une maladie virale très contagieuse affectant principalement les bovins, les ovins, les porcins et les caprins. La FA représente un risque sanitaire majeur dans les pays développés, du fait de ses conséquences sur le commerce et des pertes économiques qu'elle peut engendrer. En plus des mesures sanitaires fixées par la réglementation européenne (abattage et désinfection des élevages infectés, restriction des mouvements d'animaux...), le panel des stratégies de contrôle disponibles est relativement riche et peut combiner, en fonction des espèces, l'abattage préventif, la vaccination suppressive (abattage des animaux vaccinés en fin d'épizootie) et la vaccination préventive (les animaux vaccinés ne sont pas abattus mais soumis à des restrictions de mouvements).

Des modèles de simulation ont été utilisés pour analyser l'influence de l'environnement ou des pratiques d'élevage sur la propagation de la FA, et l'efficacité des mesures de contrôle. Par exemple, Green *et al.* (2006) ont analysé l'impact respectif des mouvements d'animaux et de la propagation locale sur la taille et l'extension géographique d'épizooties de FA. Tildesley *et al.* (2006) ont comparé des stratégies de vaccination dans différents contextes épidémiologiques et sous des contraintes logistiques. Comparer des stratégies de contrôle d'épizooties simulées de FA permet de déterminer la stratégie optimale à mettre en œuvre en fonction de leurs conséquences sur le plan épidémiologique et/ou économique. Cependant, les conséquences d'une épizootie de FA ne

sont pas limitées au secteur de l'agriculture ou des industries agro-alimentaires; d'autres secteurs économiques sont touchés, comme le tourisme. Plus généralement, une épizootie de FA peut avoir un impact social, lié par exemple aux réactions de l'opinion publique contre les mesures d'abattage en masse des animaux. Même si ce problème d'acceptabilité des mesures d'abattage est évident, il n'est pas pris en compte dans la littérature, sauf dans quelques études sur l'épizootie de 2001 au Royaume-Uni soulignant l'importance de l'opinion publique (Haydon *et al.*, 2004). D'une façon plus générale, le processus de décision pour le contrôle d'épizooties n'est pas seulement établi à partir de critères scientifiques; il est aussi stratégique et politique. Rationaliser le choix d'une stratégie de contrôle contre la FA implique donc de prendre en compte différents critères: l'impact économique direct (les dépenses publiques) et indirect (les pertes à l'export, les pertes pour le secteur du tourisme), et l'impact social.

L'objectif de cette étude était d'identifier la stratégie de lutte optimale à mettre en œuvre en cas d'épizootie de FA en France en fonction de l'impact considéré, du niveau géographique de décision et de la prise de risque des décideurs. Trois impacts ont été pris en compte: les dépenses publiques, le nombre d'élevages abattus pendant l'épizootie, et les pertes à l'export. Deux niveaux géographiques de mise en œuvre des stratégies de lutte contre la FA ont été comparés: une mise en œuvre unique au niveau national et des stratégies indépendantes mises

Tableau 1. Stratégies de contrôle contre la FA

Nom	Abattage préventif		Vaccination d'urgence		
	Espèce	Rayon	Espèce	Rayon	Abattage
Stratégie sanitaire	-	-	-	-	-
Vaccination préventive	-	-	Toutes	10 km	Non
Abattage préventif	Toutes	1 km	-	-	-
Vaccination suppressive	-	-	Toutes	1 km	Oui
Vaccination préventive sélective	-	-	Bovins, porcs reproducteurs	10 km	Non
Abattage préventif sélectif	Petits-ruminants, porcs non-reproducteurs	10 km	-	-	-
Vaccination et abattage préventifs sélectifs	Petits-ruminants, porcs non-reproducteurs	1 km	Bovins, porcs reproducteurs	10 km	Non

Note: Quelle que soit la stratégie, la stratégie sanitaire était mise en oeuvre : abattage et désinfection des foyers, suivi des contacts, restriction de mouvements dans les élevages contacts et dans un rayon de 10 km autour des foyers.

Tableau 2. Impact moyen des épizooties de FA simulées en fonction de la prise de risque des décideurs et du niveau géographique de prise de décision

Impact	Position face au risque	Niveau géographique*		Ratio Régional/National
		National	Régional ⁽⁵⁾	Moyenne (sd)
		Moyenne (sd ⁽¹⁾)	Moyenne (sd)	
Dépenses publiques	Aucune position	16,7 (33,7) ⁽²⁾	16,0 (33,5)	0,95 (1,00)
	Pas de prise de risque	16,7 (33,7) ⁽²⁾	16,3 (33,4)	0,97 (0,99)
Pertes à l'export	Aucune position	275,7 (502,9) ⁽³⁾	250,0 (457,2)	0,91 (0,91)
	Pas de prise de risque	308,3 (456,2) ⁽⁴⁾	277,4 (430,8)	0,90 (0,94)
Nombre d'élevages abattus	Aucune position	45,2 (107,0) ⁽²⁾	45,0 (106,8)	1,00 (1,00)
	Pas de prise de risque	45,2 (107,0) ⁽²⁾	45,3 (106,6)	1,00 (1,00)

* Niveau national : une seule décision est prise et appliquée à l'échelle du pays. Niveau régional : des décisions spécifiques sont prises et appliquées dans chaque région.

(1) Ecart-type

(2) Stratégie optimale : vaccination préventive.

(3) Stratégie optimale : vaccination suppressive.

(4) Stratégie optimale : vaccination préventive sélective.

(5) Quand la décision est prise au niveau régional, la stratégie optimale varie selon la région.

en place dans chaque région. Nous avons considéré deux positions par rapport à la prise du risque des décideurs: soit le décideur ne prenait pas position face au risque encouru par rapport à la gravité de l'épizootie et se basait sur la stratégie optimale en moyenne, soit le décideur préférait éviter les épizooties sévères et favorisait la stratégie minimisant la variabilité des impacts.

Simulations d'épizooties de fièvre aphteuse en France

Nous avons utilisé un modèle de simulation d'épizooties de FA développé par Rautureau *et al.* (2012). Cet outil permet de simuler des épizooties réalistes de FA en France, en se fondant sur des données actuelles sur les élevages français et sur les mouvements de bovins et de porcs (les mouvements de petits ruminants étant considérés comme négligeables). L'unité épidémiologique était l'élevage, constitué d'au maximum trois lots d'espèces différentes: bovins, petits ruminants et porcins. Au sein d'une ferme, les animaux d'une espèce donnée pouvaient être exposés à trois forces d'infection: la force d'infection intra-lot, la force d'infection entre espèces et la force d'infection liée à l'environnement. Trois modes de transmission entre élevages ont été pris en compte: les mouvements d'animaux vivants, la transmission directe par contact entre élevages sur les pâtures, et la transmission indirecte par des véhicules contaminés ou du matériel.

Le contrôle de la maladie était toujours basé sur la stratégie sanitaire: abattage et désinfection des foyers déclarés, enquêtes épidémiologiques et restriction de mouvements dans les élevages contacts et dans les élevages d'une zone de 10 km autour des foyers. Six stratégies supplémentaires ont été définies (Tableau 1), qui combinent l'abattage préventif et la vaccination d'urgence. L'abattage préventif

correspond à l'abattage de tous les élevages identifiés « à risque » par les enquêtes épidémiologiques conduites dans les foyers et dans une zone de 1 km autour des foyers. La vaccination était soit suppressive (les animaux vaccinés étaient abattus après l'épizootie) ou préventive (les animaux vaccinés n'étaient pas abattus à la fin de l'épizootie mais étaient soumis à des restrictions de mouvements). Dans trois des six stratégies supplémentaires, les mesures étaient spécifiques aux espèces (Tableau 1), et variaient en fonction de la valeur économique des animaux (forte pour les bovins et porcs reproducteurs et faible pour les petits ruminants et porcs non-reproducteurs). Les enquêtes sérologiques post-épizootiques (nécessaires pour recouvrir le statut indemne de FA) ont été simulées en fonction de la réglementation européenne (Directive 2003/85/EC du Conseil). Les ressources matérielles et humaines dédiées aux mesures de contrôle étaient considérées comme limitées (exemple: trois élevages maximum abattus par jour).

Evaluation de l'impact épizootique

Les dépenses publiques correspondent aux coûts liés à l'abattage et à la désinfection, aux compensations aux éleveurs, aux coûts liés aux vaccins et aux opérations de vaccination, et aux analyses de laboratoire. Le second impact était le nombre d'élevages abattus pendant l'épizootie. Le dernier impact, les pertes à l'export, était calculé pendant la période de restriction des échanges commerciaux avant le recouvrement du statut indemne de FA (i.e. le manque à gagner induit par les restrictions des échanges). Cet indicateur correspondait au produit des exportations moyennes journalières de viande et de produits laitiers, par la durée de restriction des échanges (intervalle de temps entre la date de découverte du premier foyer et la finalisation des enquêtes sérologiques pour les pays de l'UE ou le dernier abattage pour les pays tiers).

Identification des stratégies de contrôle optimales en fonction de la prise de risque des décideurs

Pour chaque impact, le choix d'une stratégie de contrôle a été évalué en fonction de la prise de risque du décideur. Nous avons considéré que les décideurs pouvaient ne pas prendre position face au risque encouru par rapport à la gravité de l'épizootie et choisiraient ainsi la stratégie de contrôle minimisant l'impact moyen. Inversement, les décideurs préférant éviter les épizooties sévères choisiraient la stratégie de contrôle minimisant l'écart-type de l'impact.

Les simulations ont été stratifiées par région. Cinquante élevages, dans lesquels le virus a été introduit, ont été choisis au hasard dans chacune des 21 régions de France. Au total, 7 350 simulations d'épizooties de FA ont été effectuées à l'aide de notre modèle (50 élevages dans lesquels le virus a été introduits, 21 régions, 7 stratégies de contrôle). Nous avons ensuite quantifié, pour chaque région, la moyenne et l'écart-type des impacts (dépenses publiques, nombre total d'élevages abattus, pertes à l'export) de chaque simulation. Pour obtenir un impact à l'échelle nationale, nous avons fait l'hypothèse que le risque d'introduction de la FA dans chaque région était proportionnel au nombre d'élevages dans la région. Ces nombres ont été utilisés pour pondérer les moyennes et écarts-types des impacts régionaux. Les stratégies de contrôle optimales ont été identifiées pour chaque impact et pour les deux types de prise de risque des décideurs.

Stratégies optimales au niveau national

Au niveau national, quelle que soit la perception du risque, le décideur souhaitant minimiser les dépenses publiques ou le nombre d'élevages abattus choisissait la stratégie de vaccination préventive (Tableau 2). Les décideurs voulant minimiser les pertes à l'export choisissaient aussi une stratégie basée sur la vaccination : la vaccination suppressive pour les décideurs neutres face au risque et la vaccination préventive sélective pour les décideurs ne voulant pas prendre de risque (Tableau 2). Les pertes à l'export correspondantes étaient, en moyenne, 33 millions d'euros supérieures, soit environ 11 %, pour un décideur ne voulant pas prendre de risque que pour les décideurs ne se positionnant pas face au risque. Cependant, dans 21 % des épizooties simulées (en moyenne au niveau national), les pertes à l'export étaient plus élevées pour les décideurs étant neutres face au risque que pour ceux ne voulant pas prendre de risque.

Stratégies optimales au niveau régional

Choisir des stratégies de contrôle indépendantes dans chaque région par rapport à une mise en œuvre unique au niveau national permet une diminution d'environ 5 % des dépenses publiques, et une réduction très faible de l'écart-type des dépenses publiques (Tableau 2). Aucune diminution significative de la moyenne et de l'écart-type n'a été observée pour le nombre d'élevages abattus. Inversement, une diminution de 10 % a été observée pour les pertes à l'export, à la fois pour la moyenne et pour l'écart-type.

Pour les décideurs ne se positionnant pas face au risque (Figure 1), la stratégie permettant de minimiser les dépenses publiques était toujours fondée sur la vaccination préventive dans les régions de l'ouest, potentiellement en lien avec les densités d'élevages plus élevées dans ces régions. La stratégie sanitaire était suffisante dans les autres régions (sauf la région Centre, où des mesures sélectives étaient optimales). Pour minimiser le nombre d'élevages abattus dans les régions, la stratégie optimale était toujours fondée sur la vaccination d'urgence (Figure 1), sauf dans trois régions pour lesquelles la stratégie sanitaire était meilleure (Ile-de-France, Lorraine, Franche-Comté). Pour minimiser les pertes à l'export, la stratégie optimale était fondée sur l'abattage préventif dans seize des vingt-et-une régions françaises,

avec la vaccination préventive sélective (bovins, porcs reproducteurs) optimale en Basse-Normandie et la vaccination suppressive en Ile-de-France et en Aquitaine (Figure 1). Pour minimiser les dépenses publiques et le nombre d'élevages abattus en régions, la stratégie optimale était différente entre les décideurs neutres face au risque et les décideurs ne voulant pas prendre de risque dans six régions, indiquées par des étoiles dans la Figure 2. Dans ces régions, la vaccination d'urgence était meilleure, qu'elle soit sélective ou non. Finalement, pour minimiser les pertes à l'export, les stratégies fondées sur la vaccination d'urgence étaient plus souvent optimale (cinq régions) pour les décideurs ne voulant pas prendre de risque par rapport aux décideurs neutres face au risque, et les stratégies basées sur l'abattage préventif étaient moins souvent optimales (12 régions sur 21 – Figure 2).

Limites de l'étude

Dans cet article, nous nous sommes limités à l'analyse des impacts indépendamment les uns des autres, alors qu'un décideur pourrait vouloir les prendre en compte en même temps. La prise en compte simultanée des différents impacts a été réalisée dans l'étude de Marsot *et al.* (2014). Plus de détails concernant la variabilité des estimations des impacts et les limites du modèle utilisé sont donnés dans le même article. De plus, les pertes à l'export ont été calculées par une méthode assez simple, ne prenant pas en compte les pertes de production et des autres secteurs économiques ou encore l'acceptabilité des produits d'animaux vaccinés par les marchés. Un modèle économique plus développé pourrait être ajouté pour quantifier plus précisément les pertes à l'export (Backer *et al.*, 2009).

Conclusion

Le choix de la stratégie de contrôle à mettre en œuvre en cas d'épizootie de FA a été analysé en fonction de l'impact considéré (dépenses publiques, nombre d'élevages abattus et pertes à l'export) et de la prise de risque des décideurs (neutralité face au risque ou aversion au risque). Sept stratégies de contrôles réalistes ont été implémentées et comparées pour deux niveaux géographiques : le niveau national, pour lequel la décision était unique à l'échelle du pays, et le niveau régional, pour lequel des stratégies indépendantes étaient prises en fonction des régions concernées.

Le facteur principal influençant le type de stratégie optimale était le type d'impact, avec des effets contraires en fonction du niveau géographique considéré : alors qu'au niveau national, les stratégies optimales étaient fondées sur la vaccination quel que soit l'impact, ce consensus était remplacé par une forte hétérogénéité au niveau régional. En plus de l'effet de l'impact et du niveau géographique, la prise de risque des décideurs entraînait de faibles variations sur la décision optimale. La vaccination était plus souvent utilisée par les décideurs ne voulant pas prendre de risque et l'abattage préventif moins souvent. Cependant, le type de stratégie optimale (vaccination ou abattage préventif) était souvent le même pour les décideurs neutres face au risque et les décideurs ne voulant pas prendre de risque, quel que soit le niveau géographique et l'impact considéré.

Ainsi, en fonction de l'impact à minimiser, les différences régionales devraient être prises en compte pour choisir la stratégie de lutte adaptée contre la FA en France.

Remerciements

Les auteurs remercient les scientifiques et vétérinaires suivants pour leur aide et opinion d'expert : Pascal Hendrikx, Labib Bakkali Kassimi, Yves Leforban, François Moutou, Xavier Rosières, Bernard Toma, Gina Zanella et Stephan Zientara.

Références bibliographiques

Backer, J.A., Bergevoet, R., Hagenaars, T.J., Bondt, N., Nodelijk, G., 2009. Vaccination against Foot-and-Mouth Disease : differentiating strategies and their epidemiological and economic consequences. Rapport 2009-042. Wageningen. UR.

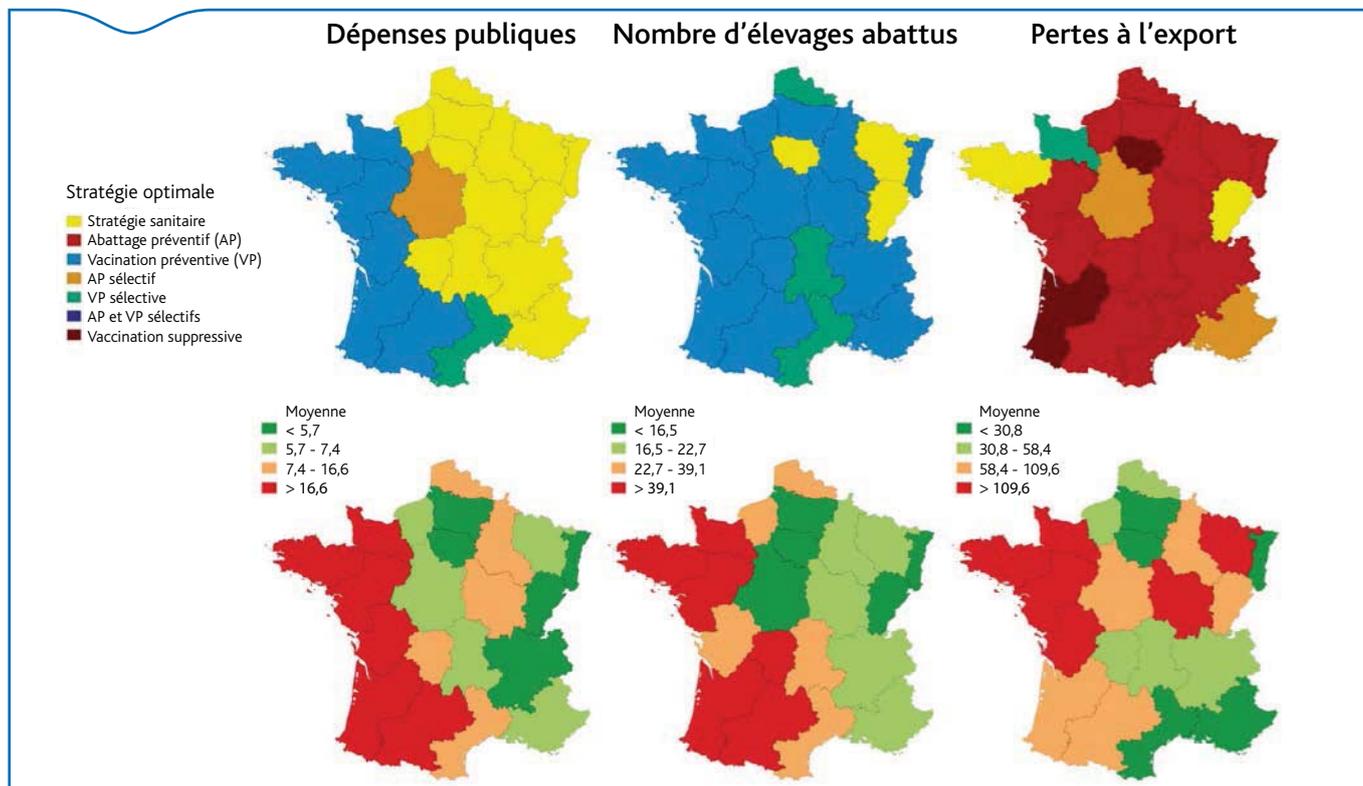


Figure 1. Stratégie optimale régionale pour les décideurs ne se positionnant pas face au risque, et impacts moyens correspondants
Note : les dépenses publiques et les pertes à l'export sont exprimées en millions d'euros. Les limites de classes ont été fixées en utilisant les quantiles des distributions d'impacts.

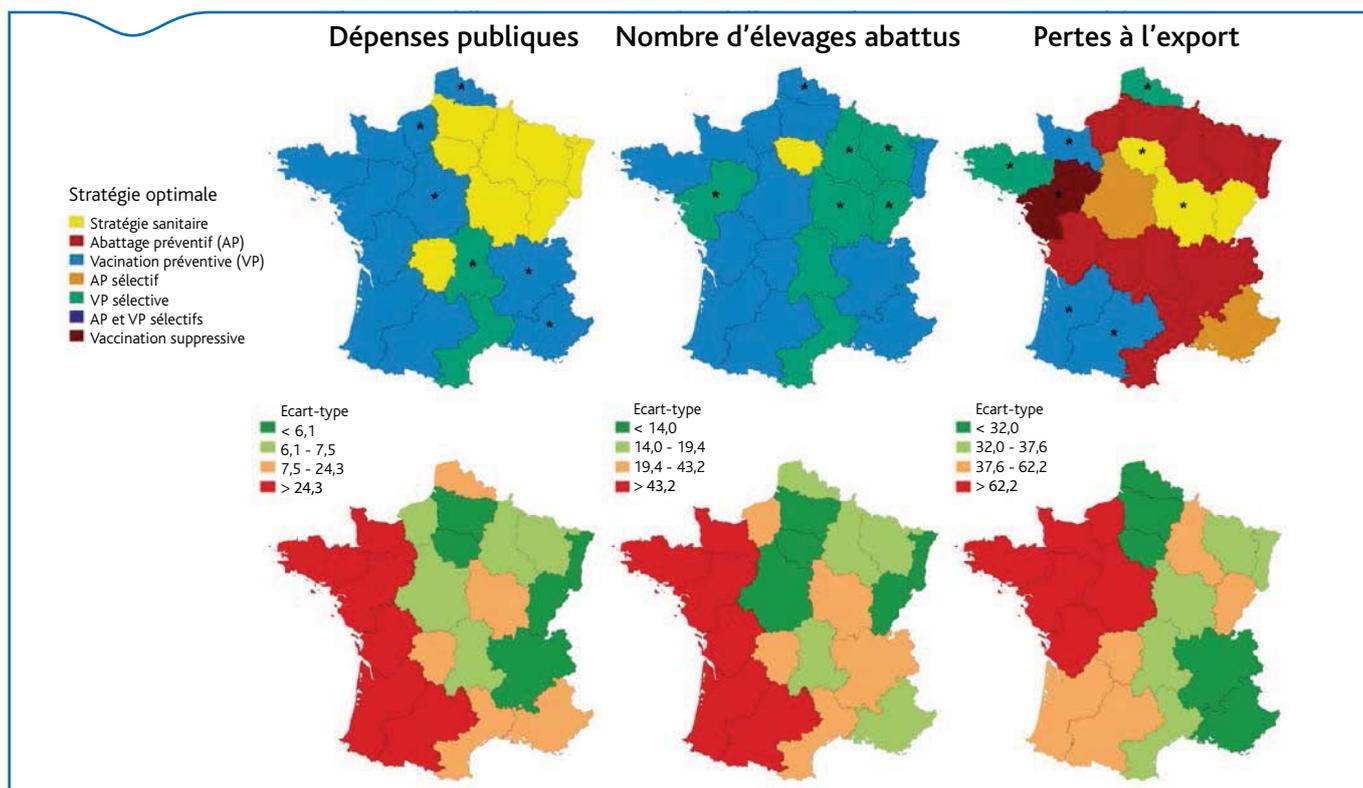


Figure 2. Stratégie optimale régionale pour les décideurs qui ne veulent pas prendre de risque, et écart-type des impacts correspondants
Note : les dépenses publiques et les pertes à l'export sont exprimées en millions d'euros. Les limites de classes ont été fixées en utilisant les quantiles des distributions d'impacts. Les régions pour lesquelles la stratégie optimale est différente entre les décideurs ne se positionnant pas face au risque et les décideurs ne voulant pas prendre de risque sont indiquées par des étoiles.

Green, D.M., Kiss, I.Z., Kao, R.R., 2006. Modelling the initial spread of foot-and-mouth disease through animal movements. Proc. R. Soc. Lond. B Biol. Sci. 273, 2729–2735.

Haydon, D.T., Kao, R.R., Kitching, R.P., 2004. The UK foot-and-mouth disease outbreak - the aftermath. Nat. Rev. Microbiol. 2, 675–681. doi:10.1038/nrmicro960

Marsot, M., Rautureau, S., Dufour, B., Durand, B., 2014. Impact of

Stakeholders Influence, Geographic Level and Risk Perception on Strategic Decisions in Simulated Foot and Mouth Disease Epizootics in France. PLoS ONE 9, e86323. doi:10.1371/journal.pone.0086323

Tildesley, M.J., Savill, N.J., Shaw, D.J., Deardon, R., Brooks, S.P., Woolhouse, M.E.J., Grenfell, B.T., Keeling, M.J., 2006. Optimal reactive vaccination strategies for a foot-and-mouth outbreak in the UK. Nature 440, 83–86. doi:10.1038/nature04324