

# Analyse MIKE pour l'Asie – Résumé

## Sommaire

<b>1</b>	<b>Introduction .....</b>	<b>2</b>
1.1	Protocole de collecte des données .....	2
1.2	Définition de la <i>PIKE</i> .....	2
1.3	Raisons de l'abandon de l'approche <i>LSMeans</i> .....	3
1.4	Avantages du modèle linéaire mixte généralisé (GLMM) .....	3
1.5	La <i>PIKE</i> comme indice de la pression de braconnage.....	4
<b>2</b>	<b>Exploration des données de la <i>PIKE</i> .....</b>	<b>6</b>
2.1	Localisation des sites MIKE .....	6
2.2	Sites MIKE disposant de données sur la <i>PIKE</i> .....	6
2.3	<i>PIKE</i> observée .....	8
2.4	Sites MIKE disposant de données sur la population .....	12
2.5	Ensemble de données final utilisé.....	13
<b>3</b>	<b>Modèle linéaire mixte généralisé (GLMM).....</b>	<b>14</b>
3.1	Description du modèle.....	14
3.2	Ajustement du modèle .....	14
3.3	Choix entre la moyenne marginale pondérée et non pondérée de la <i>PIKE</i> .....	15
<b>4</b>	<b>Tendances de la <i>PIKE</i> à l'échelle du continent.....</b>	<b>16</b>
<b>5</b>	<b>Tendances de la <i>PIKE</i> à l'échelle sous-régionale .....</b>	<b>19</b>
<b>6</b>	<b>Évaluation du modèle.....</b>	<b>20</b>
6.1	<i>PIKE</i> observée/ <i>PIKE</i> prédite .....	20
6.2	Corrélation spatiale des effets site .....	24
6.3	Analyse de la sensibilité .....	26
<b>7</b>	<b>Conclusions.....</b>	<b>26</b>
<b>8</b>	<b>Références .....</b>	<b>27</b>

# 1 Introduction

Dans le présent document, nous résumons la manière dont sont définies les tendances annuelles de la Proportion d'éléphants abattus illégalement (*PIKE – Proportion of Illegally Killed Elephants*) des sites de suivi du Programme MIKE (*Monitoring Illegal Killing of Elephants – Suivi de l'abattage illégal des éléphants*). Elles sont d'abord définies à l'échelle du site, puis elles sont agrégées à l'échelle du continent ou de la sous-région.

## 1.1 Protocole de collecte des données

En bref, sur les sites MIKE désignés, les données MIKE sont collectées chaque année sur le terrain par des patrouilles de gardes et des patrouilles de lutte contre la fraude ainsi que par d'autres moyens. Lorsqu'une carcasse d'éléphant est trouvée, le personnel du site essaie d'établir la cause du décès et de relever certaines informations telles que le sexe et l'âge de l'animal, l'état de l'ivoire et le stade de décomposition de la carcasse. Ces informations sont consignées dans des formulaires normalisés spécifiques aux carcasses, dont le contenu est ensuite transmis au Programme MIKE. Comme l'on peut s'y attendre, les différents sites signalent des nombres de carcasses très différents, le nombre de carcasses trouvées étant fonction : de l'abondance de la population ; des taux de mortalité naturelle ; de la probabilité de détection des carcasses d'éléphants dans les différents habitats ; des différents taux de dégradation des carcasses ; du niveau d'abattage illégal ; et du niveau d'effort de recherche et de couverture du site. En raison des caractéristiques de ces données de suivi, il est peu probable que le nombre de carcasses trouvées soit proportionnel à la mortalité totale, et les tendances des nombres observés d'éléphants abattus illégalement peuvent ne pas refléter les tendances sous-jacentes de la pression de braconnage.

## 1.2 Définition de la *PIKE*

Par conséquent, la proportion observée d'éléphants abattus illégalement (*PIKE*) en tant qu'indice des niveaux de braconnage est utilisée dans l'analyse MIKE pour tenter de tenir compte des différences d'effort de patrouille entre les sites et au cours du temps :

$$PIKE_{sy} = \frac{\text{Nombre d'éléphants abattus illégalement}_{sy}}{\text{Nombre total de carcasses examinées}_{sy}}$$

où les indices *sy* font respectivement référence au site (*s*) et à l'année (*y*).

Calculer une *PIKE* à l'échelle du continent est difficile pour diverses raisons, et notamment les suivantes :

- Les probabilités de détection des carcasses d'éléphants varient en fonction des habitats.
- Les niveaux d'effort de recherche et de couverture du site varient d'un site à l'autre.
- Tous les sites ne transmettent pas de rapport chaque année.
- Le nombre de carcasses dans les deux catégories varie considérablement dans l'espace et dans le temps.

Ces dernières années, un modèle linéaire simple sur les valeurs de la *PIKE* a été calculé comme décrit dans le document <https://cites.org/sites/default/files/notif/F-Notif-2019-046.pdf>. Il s'agit de l'approche *LSMeans*.

La tendance de la *PIKE* est calculée à l'aide des moyennes marginales estimées dans un modèle linéaire, pondérées par le nombre total de carcasses observées. La tendance de la *PIKE* à l'échelle du continent est estimée à partir d'un modèle ayant la sous-région et l'année comme facteurs. **Il n'y a pas de modèle *LSMeans* sous-régional pour la *PIKE* en Asie.**

Comme indiqué dans le rapport sur MIKE à la 18<sup>e</sup> session de la Conférence des Parties à la CITES disponible sur <https://cites.org/sites/default/files/fra/cop/18/doc/F-CoP18-069-02.pdf>, le Secrétariat CITES, en collaboration avec les statisticiens du Groupe consultatif technique MIKE-ETIS et d'un statisticien indépendant, a lancé un processus de révision de la méthodologie d'analyse de MIKE afin de déterminer si elle pouvait être affinée ou si sa robustesse scientifique pouvait être améliorée, et afin de renforcer encore la base analytique du Programme MIKE. L'approche comprenait un examen de la

méthodologie utilisée et la prise en compte de nouveaux développements statistiques et, par conséquent, d'autres méthodes ou modèles pour l'analyse des tendances de la *PIKE*, tout en tenant compte des incohérences et déséquilibres inhérents aux données. Burn, Underwood et Blanc (2011) ont utilisé un modèle bayésien hiérarchique basé sur un modèle linéaire mixte généralisé (régression logistique à effets aléatoires) pour résoudre nombre de ces problèmes.

Il existe des problèmes de collecte des données tels que :

- des schémas de recherche non aléatoires et souvent dirigés vers des éléphants abattus illégalement ;
- un classement erroné des animaux dans la catégorie « mortalité inconnue » plutôt que dans « mortalité illégale » ou « mortalité naturelle » reposant sur la prépondérance des preuves ;
- des erreurs dans les données.

Ces problèmes ne sont pas pris en compte ici, mais le CCU MIKE CITES prépare des documents de travail qui les expliquent plus en détail.

Le présent document est un résumé du résultat de l'utilisation d'un modèle linéaire mixte généralisé (GLMM – *generalized linear mixed model*) pour estimer les tendances de la *PIKE*. Un document technique est disponible et présente des résultats détaillés, une évaluation du modèle et une analyse de sensibilité.

### 1.3 Raisons de l'abandon de l'approche *LSMeans*

L'approche *LSMeans* [*least-squares means* – méthode des moindres carrés] a été utilisée pour l'analyse des tendances de la *PIKE* dans les rapports aux deux précédentes sessions de la Conférence des Parties (CoP16, Bangkok, 2013 dans le document CoP16 Doc. 53.1, et CoP17, Johannesburg, 2016, dans le document CoP17 Doc. 57.5), ainsi qu'aux sessions du Comité permanent (SC62, Genève, juillet 2012, dans le document SC62 Doc. 46.1 (Rev. 1), SC65, Genève, juillet 2014, dans le document SC65 Doc. 42.1, SC66, Genève, janvier 2016, dans le document SC66 Doc. 47.1, SC69, Genève, novembre 2017, dans le document SC69 Doc. 51.1 et SC70, Sochi, octobre 2018, dans le document SC70 Doc. 49.1). Cependant, cette approche pose un certain nombre de problèmes.

- Les valeurs prédites de la *PIKE* peuvent être inférieures à 0 ou supérieures à 1.
- Chaque pays a un poids égal, quel que soit le nombre de sites *MIKE* ou l'abondance des éléphants sur chaque site à l'échelle sous-régionale. Par exemple, en Asie du Sud, l'Inde (10 sites *MIKE*) et le Bangladesh (1 site *MIKE*) ont un poids égal. Mais à l'échelle du continent, les pays sont ignorés et les données de tous les sites d'une sous-région sont regroupées.
- Il est difficile d'appliquer une pondération différente, p. ex. en fonction des populations d'éléphants au niveau du site *MIKE* ou du pays.
- L'approche *LSMeans* ne prend pas en compte le fait que les sites *MIKE* pour lesquels il manque des données peuvent ne pas être les mêmes en fonction des années. Par conséquent, les données agrégées reposent sur une combinaison différente de sites *MIKE* selon les années.
- Toutes les sources de variation ne sont pas incluses dans les estimations de l'incertitude. Par exemple, la variation binomiale (section 5.2 du document technique) au niveau site-année n'est pas incluse, c.-à-d. si la valeur réelle de la *PIKE* de tous les éléphants sur le site *MIKE* est de 0,20, alors la *PIKE* dans l'échantillon de carcasses examinées variera autour de 0,20.

Les conséquences de l'attribution d'un poids égal à l'échelle nationale ou à l'échelle du site *MIKE* sont analysées plus en détail en annexe 3 du document technique pour l'Afrique – les conséquences étant notables sur la *PIKE* sous-régionale pour l'Afrique de l'Est.

### 1.4 Avantages du modèle linéaire mixte généralisé (GLMM)

Lors de la récente réunion du Groupe consultatif technique MIKE-ETIS (septembre 2019, Nairobi), l'utilisation du modèle linéaire mixte généralisé (GLMM – *generalized linear mixed model*) a été recommandée pour la suite. Le présent document fournit une analyse des données de la *PIKE* à l'aide d'un GLMM, compare les résultats à ceux des analyses précédentes, et explore les conséquences de diverses hypothèses sur l'estimation de la *PIKE*.

Les avantages de l'approche GLMM sont les suivants :

- Le nouveau modèle tient pleinement compte de la structure binomiale au niveau site-année, c.-à-d. sur  $n$  carcasses observées,  $x$  relèvent de l'abattage illégal.
- Le nouveau modèle tient pleinement compte des différentes tailles d'échantillon, c.-à-d. une *PIKE* reposant sur l'observation de 1 éléphant tué illégalement sur 2 carcasses d'éléphants reçoit un poids différent d'une *PIKE* reposant sur l'observation de 20 éléphants tués illégalement sur 40 carcasses d'éléphants.
- L'extrapolation des données manquantes a lieu à l'échelle du site *MIKE* en fonction de la relation entre la *PIKE* sur ce site et la *PIKE* sur d'autres sites au cours du temps.
- Un poids égal est attribué à chaque site *MIKE* lors du calcul de la valeur de la *PIKE* pour le continent ou la sous-région. Par conséquent, les pays ayant plus de sites *MIKE* auront automatiquement plus de poids dans les estimations agrégées de la *PIKE*.
- Il est facile d'appliquer d'autres pondérations, p. ex. en fonction de l'abondance de la population d'éléphants sur chaque site *MIKE* lors du calcul d'une *PIKE* agrégée.
- De multiples sources de variation sont automatiquement incluses, p. ex. la variation binomiale au niveau site-année, les interactions site-année représentant les changements de la *PIKE* au cours du temps sur un site *MIKE*, et la variation entre les sites. Cette variation est automatiquement incluse dans l'incertitude des estimations de la *PIKE* agrégée.
- L'incertitude de l'estimation de la *PIKE* à l'échelle continentale ou sous-régionale peut être calculée en supposant que les sites *MIKE* actuels sont des sites de référence (fixes) ou un échantillon aléatoire de sites *MIKE* potentiels. La conception actuelle se situe quelque peu entre ces deux extrêmes, de sorte que l'incertitude rapportée sous ces deux façons de considérer l'ensemble actuel des sites *MIKE* représente les limites inférieure et supérieure de l'incertitude.
- Il est facile d'inclure des estimations de l'incertitude de l'abondance des éléphants lors de la pondération des sites *MIKE* par l'abondance. Actuellement, cela n'est pas encore fait en raison de questions liées à la détermination de l'incertitude de ces estimations d'abondance (voir la section 8.7 du document technique pour l'Afrique).
- Le modèle actuel tient implicitement compte de l'autocorrélation spatiale de la *PIKE* pour des sites *MIKE* géographiquement proches. Les effets estimés au niveau du site sont similaires pour les sites géographiquement proches et ayant des niveaux semblables de gouvernance et de braconnage.
- Il sera possible d'étendre ce modèle pour prendre en compte explicitement l'autocorrélation spatiale et spatio-temporelle (Zuur, 2019).

## 1.5 La *PIKE* comme indice de la pression de braconnage

La valeur de la *PIKE* calculée par *LSMeans* et par *GLMM* devrait être considérée comme un indice de la pression de braconnage. Nous espérons que les tendances de l'indice reflètent les tendances des niveaux réels de braconnage. La conversion de la valeur de la *PIKE* en une mesure de la mortalité réelle par braconnage est compliquée pour les raisons suivantes :

- Les effets de l'évolution de la mortalité naturelle au cours du temps sont confondus avec les changements de la *PIKE*.
- Les sites *MIKE* ne sont pas sélectionnés au hasard et donc la moyenne marginale de la *PIKE* peut ne pas être représentative de la moyenne marginale réelle de la *PIKE*.
- Le braconnage sur les sites *MIKE* peut ne pas être représentatif du braconnage sur les zones situées en dehors des sites *MIKE*.
- La moyenne marginale non pondérée de la *PIKE* donne un poids égal à chaque site *MIKE*. Dans le rapport technique, nous avons étudié l'effet de la pondération des sites en fonction de l'abondance de la population d'éléphants associée aux sites, mais nous n'avons pas inclus les estimations de l'incertitude dans les estimations de l'abondance.
- Il existe des problèmes dans la collecte des données, tels que :
  - les décès liés à la gestion inclus dans le nombre de carcasses examinées (le dénominateur de la *PIKE*) jusqu'à présent ;
  - des schémas de recherche non aléatoires et souvent dirigés vers des éléphants abattus illégalement ;
  - un classement erroné des animaux dans la catégorie « mortalité inconnue » plutôt que dans « mortalité illégale » ou « mortalité naturelle » reposant sur la prépondérance des preuves ;
  - des erreurs dans les données.

Le CCU *MIKE* CITES prépare des documents de travail qui expliquent plus en détail les problèmes liés

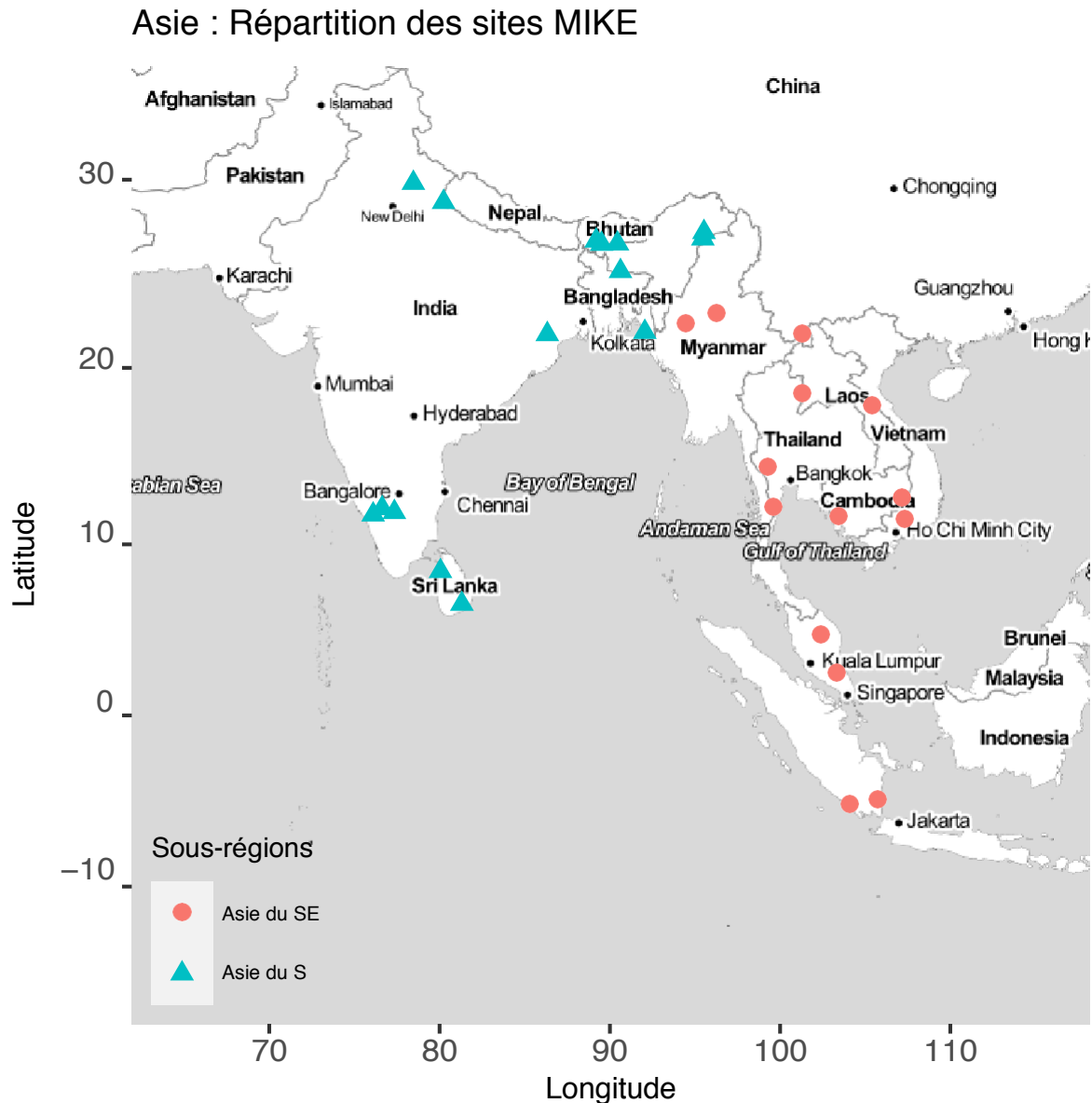
aux données.

Pour ces raisons, il convient de rester très prudent et de bien documenter les hypothèses lors de la conversion de la *PIKE* estimée en niveaux réels de mortalité due au braconnage.

## 2 Exploration des données de la *PIKE*

### 2.1 Localisation des sites MIKE

Il existe 29 sites MIKE en Asie répartis sur deux sous-régions. Seules les données de 27 sites MIKE de ces sous-régions sont utilisées dans l'analyse parce que certains sites n'ont jamais soumis de données ou ne disposent pas actuellement de données sur l'abondance de la population.



### 2.2 Sites MIKE disposant de données sur la *PIKE*

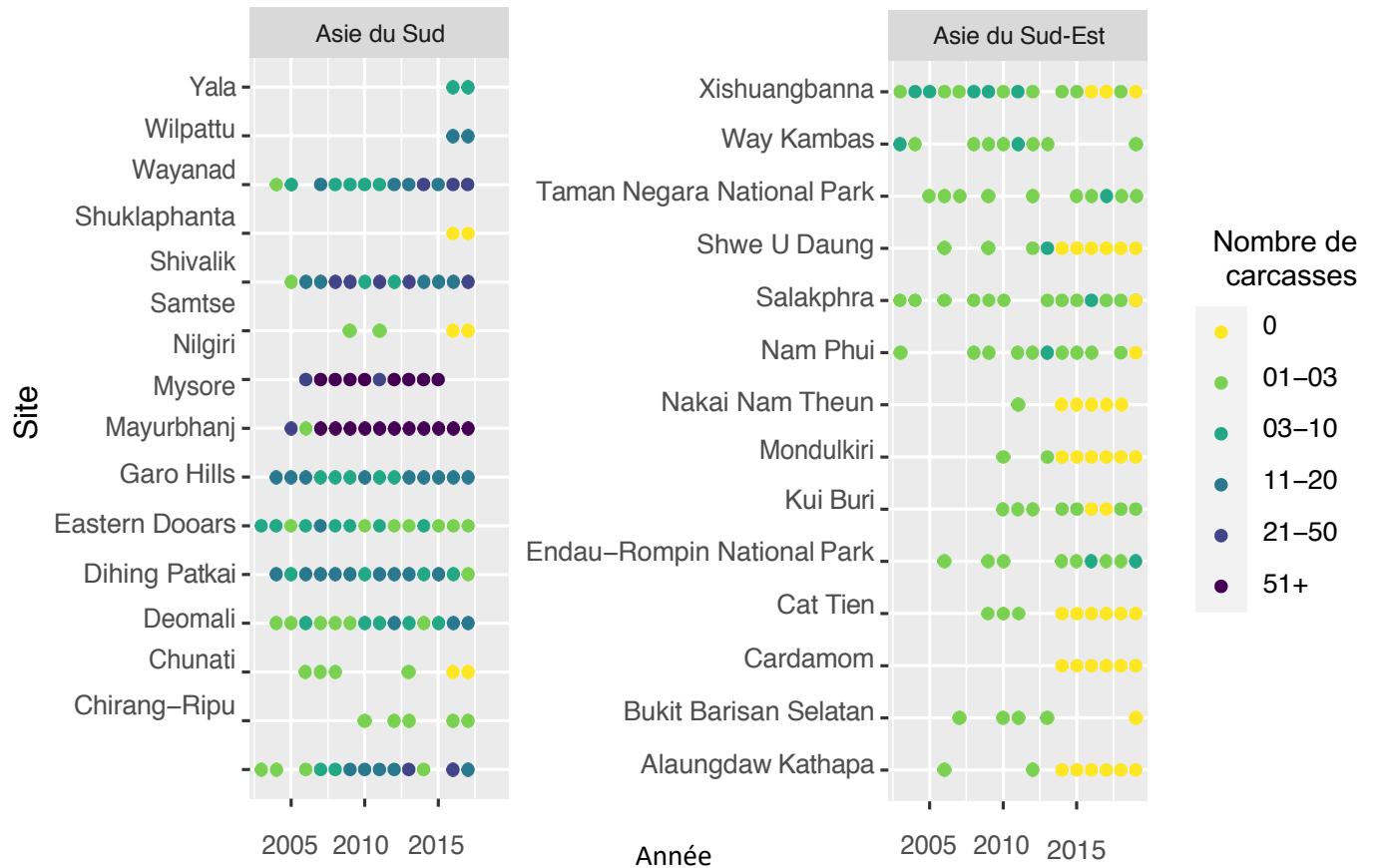
En plus de ce qui précède, il convient de noter que certains sites ont signalé qu'aucune carcasse n'avait été détectée certaines années.

L'analyse actuelle traite de la même manière un site qui n'a pas signalé de carcasse au cours d'une année (aucun effort de patrouille) et un site qui signale qu'aucune carcasse n'a été examinée au cours de l'année (effort de patrouille, mais aucune carcasse trouvée). En effet, les informations sur l'effort de patrouille ne sont actuellement pas utilisées dans l'analyse, et seuls le nombre de carcasses examinées et le nombre

d'éléphants tués illégalement dans l'échantillon de carcasses sont utilisés. Dans ce dernier cas, 0 carcasse illégale sur 0 carcasse examinée donne pour ce site-année une *PIKE* de 0/0, qui est donc indéterminée et ne peut être utilisée dans aucune analyse mathématique de la *PIKE*.

Le graphique suivant montre que certains sites ont transmis des données pour au moins une carcasse en une seule année, mais que d'autres sites ont transmis des données pour au moins une carcasse presque chaque année.

### Asie : Suivi de chaque site au cours du temps

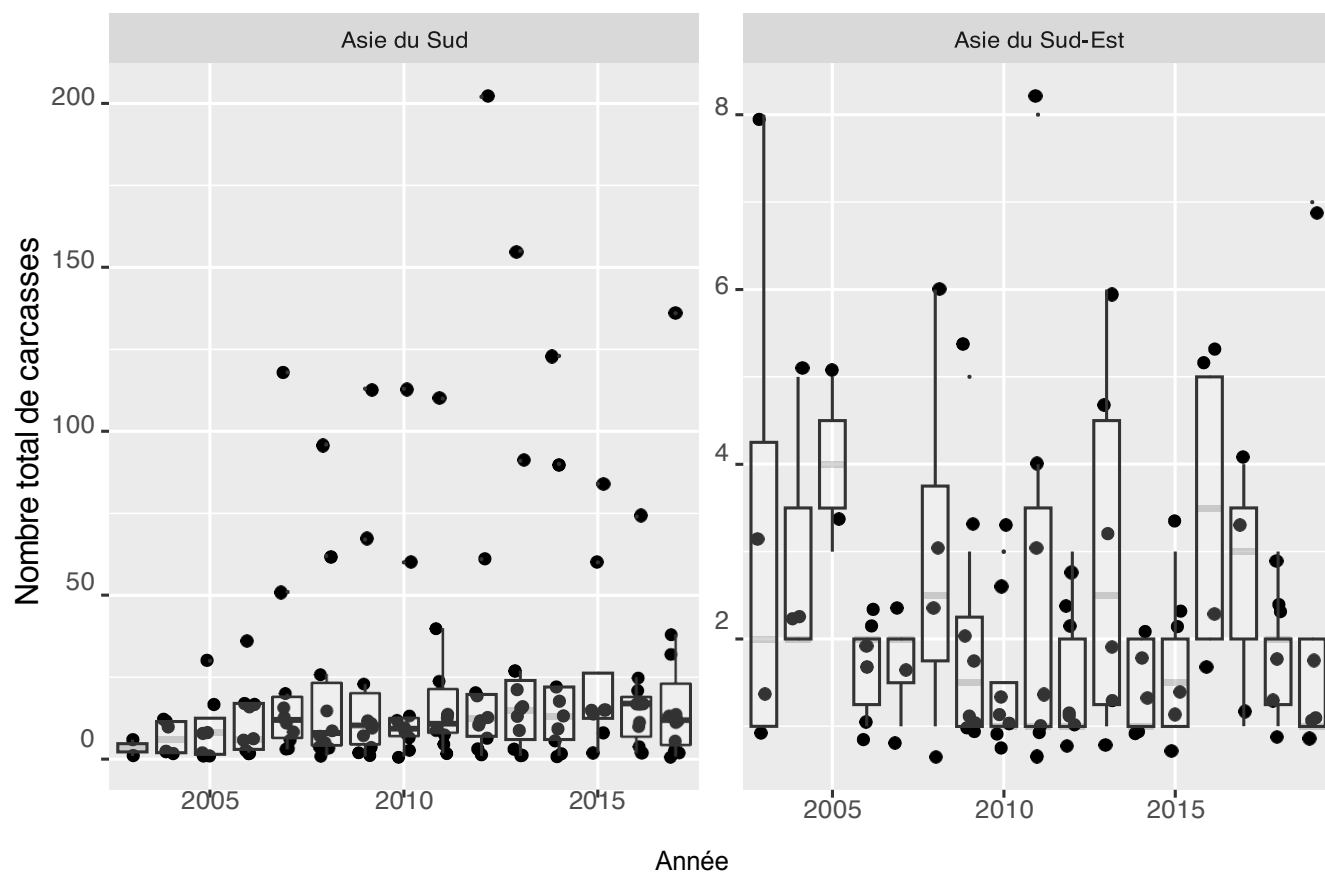


**Il convient de noter qu'aucune donnée n'a été signalée pour l'Asie du Sud après 2017** et que les *LSMeans* ne sont donc disponibles que jusqu'en 2017. L'approche GLMM extrapolera des valeurs pour les années manquantes tout comme les autres années manquantes sont extrapolées.

Au total, il y a 221 sites-années uniques en Asie depuis 2003 pour lesquels des données ont été transmises (et le nombre de carcasses déclarées > 0).

Le nombre de carcasses déclarées pour chaque site-année depuis 2003 varie énormément, allant de 1 à 202 carcasses.

## Asie : Carcasses observées



Il convient de noter que seul un très petit nombre de carcasses sont signalées pour les sites MIKE d'Asie du Sud-Est.

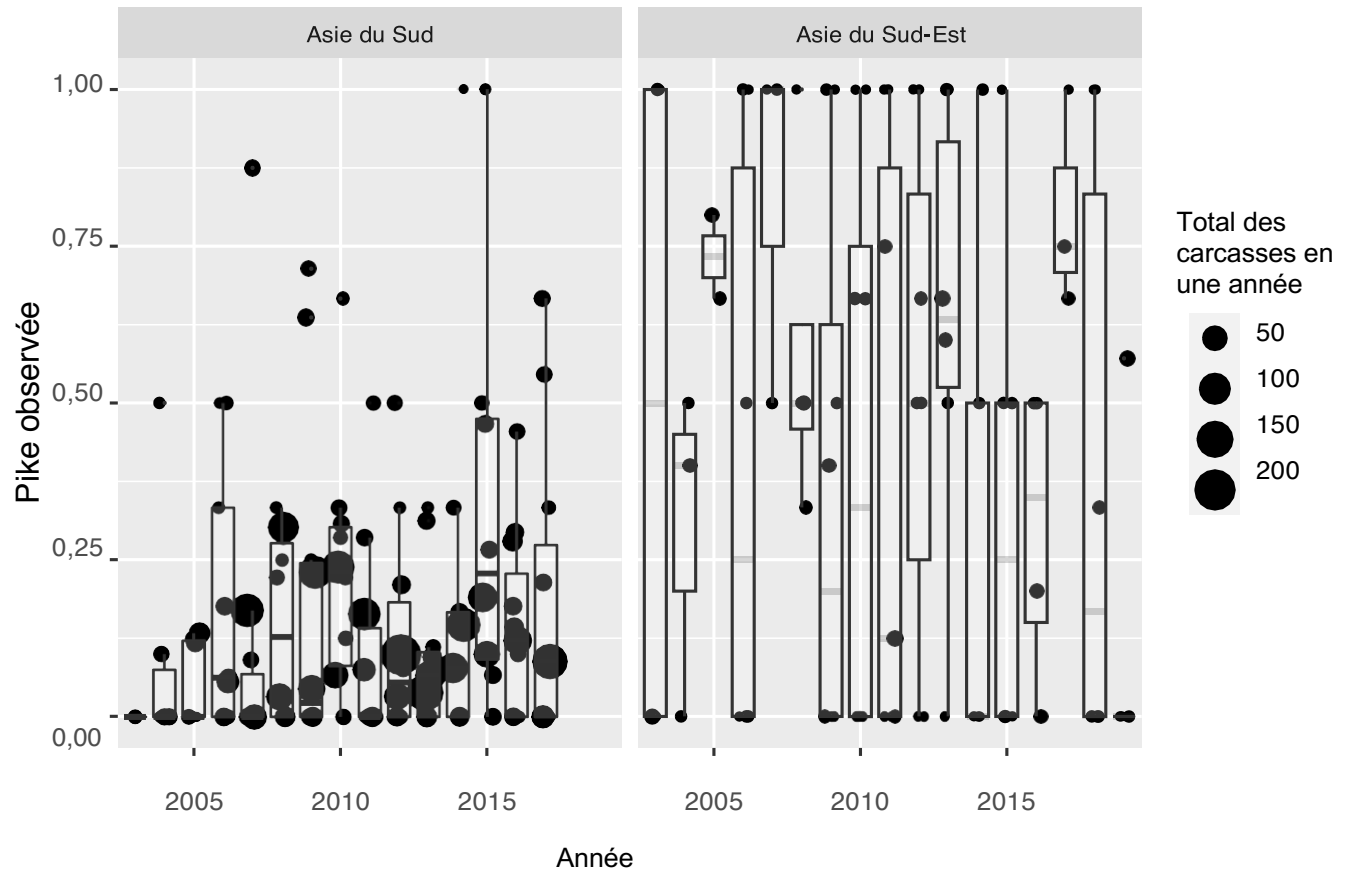
### 2.3 *PIKE* observée

La représentation des valeurs observées de la *PIKE* pour chaque site-année montre une large gamme de valeurs, mais bon nombre des valeurs proches de 0 ou 1 proviennent de sites où seul un petit nombre de carcasses a été examiné en une année :

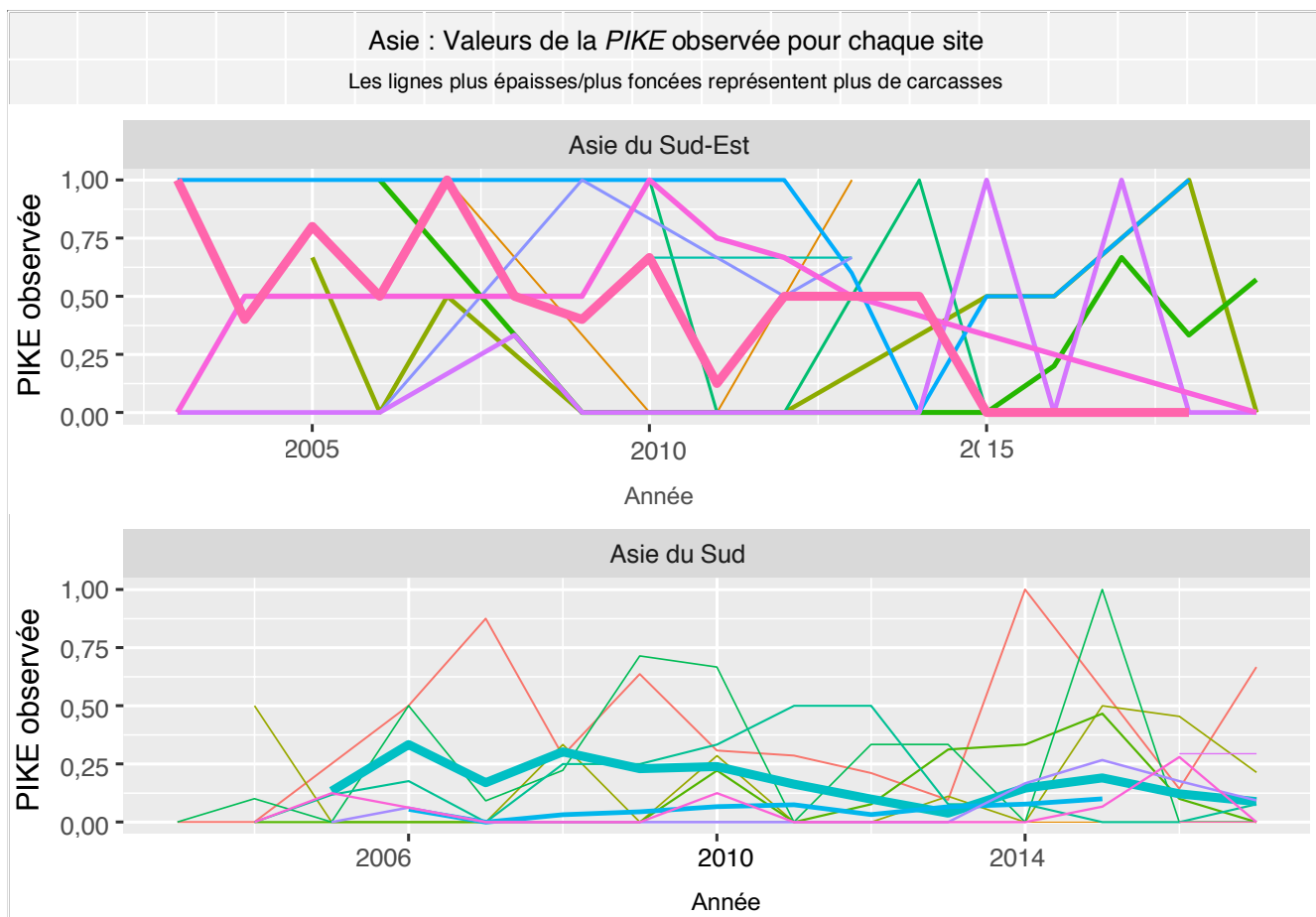


## Asie : Valeurs observées de la *PIKE*

Les points sont décalés les uns par rapport aux autres pour éviter la superposition.



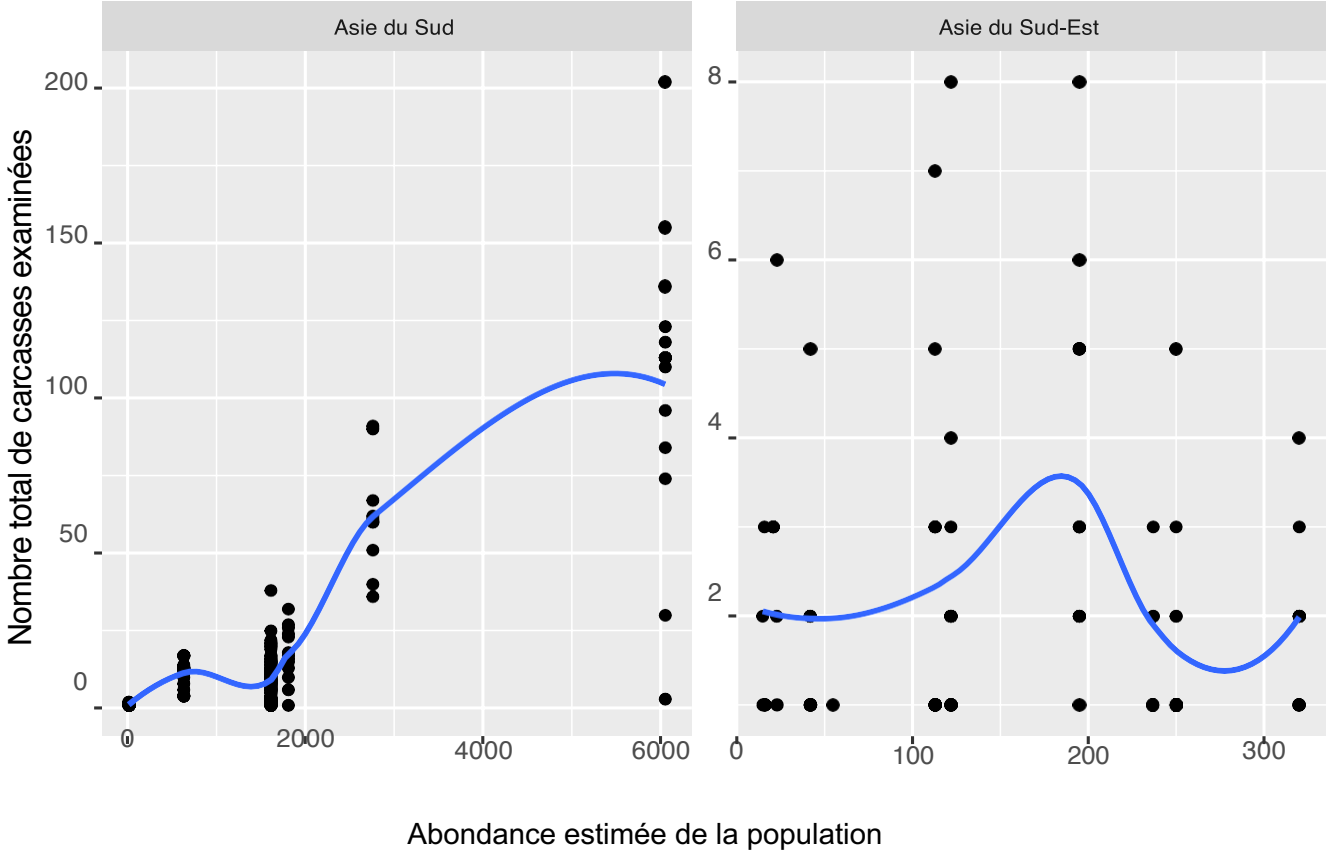
La tendance des valeurs observées de la *PIKE* pour chaque site est :



Il convient de noter qu'avec un petit nombre de carcasses déclarées (p. ex. 0 ou 1), il est assez courant que la valeur de la *PIKE* soit 0 ou 1, car soit aucune soit toutes les carcasses sont celles d'animaux tués illégalement. Par conséquent, les tendances sont difficiles à interpréter pour de nombreux sites sur lesquels seulement quelques carcasses ont été signalées.

Sur les sites d'Afrique, l'effort de patrouille varie considérablement d'un site à l'autre, de sorte que le nombre de carcasses examinées n'a qu'une faible relation avec l'estimation de l'abondance de la population autour des sites MIKE. **Cependant, nous ne disposons pas actuellement d'estimation de l'abondance des éléphants pour tous les sites d'Asie, et nous ne pouvons donc pas explorer pleinement cette relation.**

Asie : Relation entre le nombre de carcasses déclarées et l'abondance estimée de la population



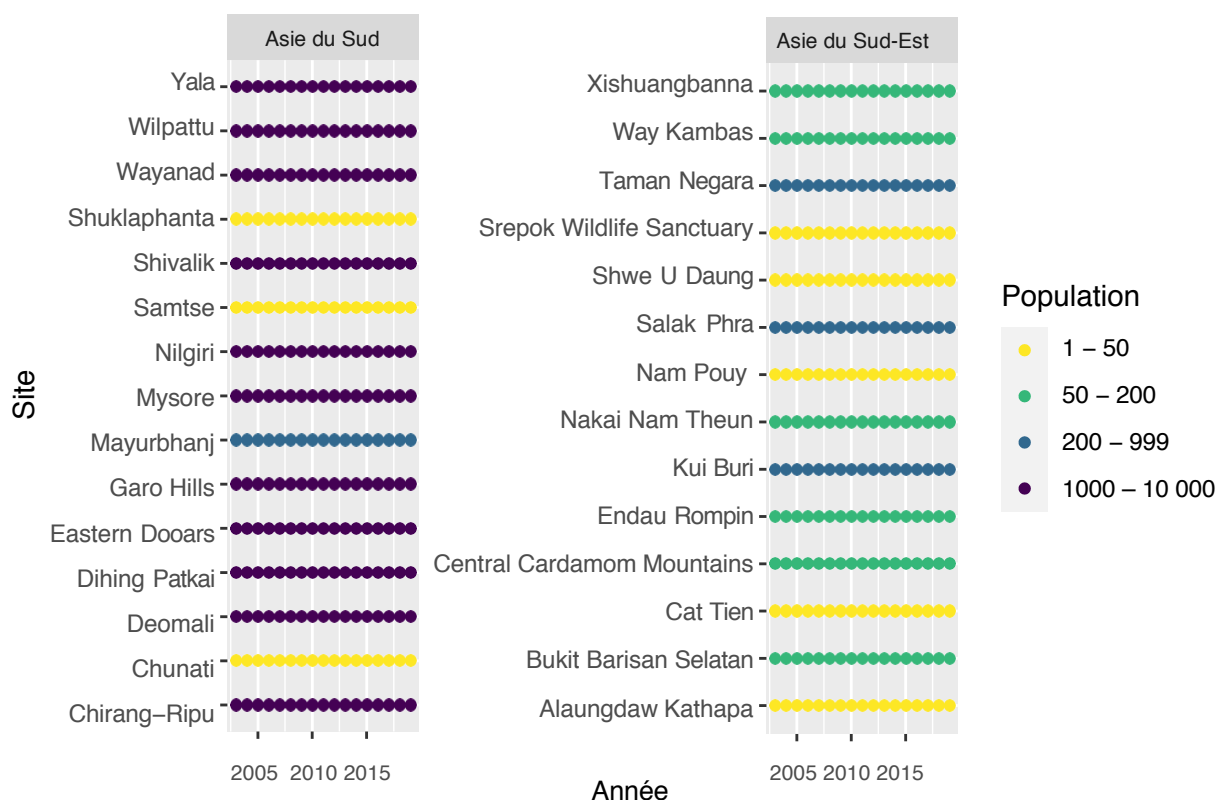
Il semble y avoir une relation faible en Asie du Sud, et aucune relation en Asie du Sud-Est. La *PIKE* ne dépendant pas de l'effort, il est estimé qu'elle est un meilleur indicateur de la pression du braconnage que le nombre observé de carcasses d'éléphants abattus illégalement.

## 2.4 Sites MIKE disposant de données sur la population

Actuellement, les données sur l'abondance des éléphants ne sont pas disponibles pour tous les sites MIKE d'Asie. Lorsqu'elles le sont, il s'agit d'une seule valeur par site qui est alors utilisée pour toutes les années de l'étude.

Le graphique ci-dessous indique quand une estimation de l'abondance de la population est disponible pour les différents sites MIKE.

Asie : Estimations des populations disponibles pour les sites MIKE



## 2.5 Ensemble de données final utilisé

L'ensemble de données final correspond aux valeurs de la *PIKE* observée en l'absence de données sur la population (car tous les sites ne disposent pas de données sur leur population). Seuls sont pris en compte les sites pour lesquels au moins une carcasse a été signalée au cours de la période considérée.

Le tableau ci-dessous mentionne les sites MIKE qui n'ont pas été pris en compte dans l'analyse du fait de l'absence d'une des sources de données :

Tableau 1 : Résumé des sites MIKE pour lesquels aucune donnée sur la *PIKE* n'est disponible

Identifiant du site MIKE	Estimation de la population disponible	<i>PIKE</i> signalée	Centre MIKE disponible
CDM	oui	non	oui
SUK	oui	non	oui

L'ensemble de données final comprend 27 sites MIKE de 2003 à 2019 dans les sous-régions, comme indiqué ci-dessous :

Tableau 2 : Résumé des sites MIKE pris en compte dans l'analyse

Nom de la sous-région	Nombre de sites	Nb d'années-sites	Moyenne du nb de carcasses signalées par an	Identifiants des sites
Asie du Sud	14	134	23,0	CHR, CHU, DEO, DHG, EDO, GRO, MBJ, MYS, NIL, SCH, SVK, WPT, WYD, YAL
Asie du Sud-Est	13	87	2,2	ALW, BBS, CTN, GMS, KLU, KUI, MKR, NAK, NPH, SHW, SKP, WAY, XBN

## 3 Modèle linéaire mixte généralisé (GLMM)

### 3.1 Description du modèle

Le modèle linéaire mixte généralisé (GLMM – *Generalized Linear Mixed Model*) est une généralisation du modèle de régression simple actuellement utilisé (le modèle de la méthode des moindres carrés *LSMeans*). Le GLMM commence par modéliser les multiples sources de variation présentes dans les données.

- Variation binomiale du nombre d'éléphants abattus illégalement dans le nombre de carcasses détectées. Par exemple, la véritable *PIKE* sous-jacente sur un site MIKE peut être de 30 %. Cependant, les gardes ne détecteront pas toutes les carcasses sur ce site. Si l'on suppose que 10 carcasses sont détectées. La théorie statistique dit que si la *PIKE* sous-jacente est de 30 %, alors le nombre d'éléphants abattus illégalement est susceptible de varier de 1 à 6 dans un échantillon de 10 sélectionnés au hasard.
- Évolution de la *PIKE* à l'échelle du continent d'une année sur l'autre due à des facteurs variant d'une année à l'autre. Ces facteurs sont appelés les **effets année**.
- Certains sites MIKE ont tendance à avoir une *PIKE* supérieure à la moyenne année après année. Ces **effets site** peuvent être dus à des facteurs constants pour un site d'une année à l'autre.
- Au sein d'un site MIKE, la *PIKE* variera d'une année à l'autre en raison de facteurs variant localement d'une année à l'autre. Ces facteurs sont appelés les **effets site-année**.

Le modèle estimera les effets année, site et site-année, puis les utilisera pour définir une valeur de la *PIKE* pour les années où un site MIKE n'a pas signalé de carcasses. Cette extrapolation repose sur les tendances de l'année sur d'autres sites, sur la relation de la *PIKE* entre les sites (certains sites ayant tendance à avoir toujours des valeurs de la *PIKE* plus élevées) et sur une gamme d'effets site-année basée sur ce qui est observé sur les sites disposant de données. Cette étape d'extrapolation donne ensuite une valeur la *PIKE* pour chaque site et pour chaque année. Un intervalle de valeurs est généré pour chaque valeur extrapolée afin de tenir compte de l'incertitude de chacun des effets pris séparément.

Une fois que la valeur de la *PIKE* est définie pour chaque site chaque année (*PIKE* observée pour certains sites-années et *PIKE* extrapolée pour les sites-années ayant des données manquantes), la moyenne marginale non pondérée de la *PIKE* est calculée comme la moyenne simple de la *PIKE* pour une année sur l'ensemble des sites.

### 3.2 Ajustement du modèle

Il existe de nombreuses façons d'ajuster un modèle aux données. Les modèles de régression simples utilisent les moindres carrés où la somme des écarts verticaux au carré entre la droite ajustée et les données observées est réduite au minimum. L'approche des moindres carrés est un cas particulier d'une approche plus générale appelée maximum de vraisemblance. Cependant, les méthodes du maximum de vraisemblance sont souvent peu performantes (p. ex. échec de la convergence) pour des modèles à niveaux multiples (comme dans notre modèle) et il est difficile de créer des résumés personnalisés (comme des moyennes marginales) en utilisant des méthodes de vraisemblance.

Pour cette raison, nous avons appliqué notre modèle dans un contexte bayésien en utilisant une méthode appelée échantillonnage de Monte-Carlo par chaîne de Markov (MCMC – *Markov Chain Monte-Carlo*) qui permet de résoudre sans trop d'efforts un grand nombre des difficultés techniques rencontrées dans l'ajustement des vraisemblances. Les détails sont disponibles dans le document technique.

Un modèle bayésien combine les informations issues d'estimations a priori de la valeur de certains paramètres et les informations sur ces paramètres provenant des données (via une fonction de vraisemblance). S'il y a une grande quantité de données, les informations sur les paramètres écrasent généralement les valeurs a priori, mais dans le cas de données rares, les valeurs a priori peuvent être plus importantes. Le produit final d'une analyse bayésienne est la distribution a posteriori des estimations de ce paramètre. Dans le cadre de cette analyse de la *PIKE*, nous avons utilisé des valeurs a priori vagues avec peu d'informations sur les paramètres, de sorte que le résultat final est presque entièrement déterminé par les données du Programme MIKE.

Le concept d'estimation a posteriori, bien que techniquement difficile à calculer, relève d'une compréhension intuitive qui est appliquée par de nombreuses personnes. Par exemple, supposons que vous attendiez qu'un ami

viennent vous chercher. Votre ami est en retard. A priori (estimation a priori), vous pourrez accorder un poids différent à deux hypothèses sur les raisons du retard de votre ami : la circulation est dense et donc votre ami est retardé dans un embouteillage ; ou alors votre ami vous a oublié. Toutefois, si votre ami est généralement fiable, vous pouvez placer un poids plus élevé sur l'hypothèse relative à la circulation. Alors que vous l'attendez, vous entendez quelqu'un parler d'un accident sur la route qui a provoqué un gros embouteillage. À la lumière de ces nouvelles informations (données), vous mettez à jour votre estimation a priori des deux hypothèses, et vous accordez maintenant encore plus de poids à l'hypothèse de l'embouteillage qu'à celle de l'oubli. Les estimations mises à jour sont vos estimations a posteriori pour les hypothèses qui sont une combinaison d'estimations a priori pour chacune des deux hypothèses (distribution a priori) et d'informations (données ou vraisemblance). Vous pourriez raisonnablement déclarer : « Je suis sûr à 75 % que mon ami est bloqué dans un embouteillage ». Il convient de noter que votre ami est ou n'est pas bloqué dans l'embouteillage – il n'y a aucune probabilité associée à l'état réel. Au fur et à mesure que de nouvelles données seront reçues sur la taille de l'embouteillage, vos estimations a posteriori pour les deux hypothèses évolueront.

De même, vous pouvez avoir une estimation a priori de l'âge d'une personne que vous n'avez jamais rencontrée. Dans ce cas, l'estimation a priori n'est pas constituée de deux hypothèses distinctes, mais d'un continuum, c'est-à-dire que vous pouvez imaginer une distribution « normale » de votre estimation a priori avec un pic, disons à 50 ans, et un intervalle allant de 40 à 60 ans. Au fur et à mesure que vous obtiendrez plus d'informations (données) telles que le fait que la personne ait été témoin de la chute du mur de Berlin en tant que jeune adulte, vous mettez à jour votre estimation a priori en déplaçant le pic de la distribution de l'âge a priori et/ou en réduisant l'intervalle des âges possibles. Vous avez maintenant une estimation a posteriori résumée par une distribution a posteriori. Vous pourriez raisonnablement déclarer : « A posteriori, je suis sûr à 40 % que cette personne a plus de 55 ans ». Il convient de noter que l'âge réel de la personne n'a PAS de distribution – la distribution correspond à votre connaissance de l'âge reposant sur une combinaison d'informations a priori et de données réelles. Si vous trouvez l'année de naissance de la personne, la distribution a posteriori devient extrêmement concentrée, car vous connaissez maintenant l'âge de la personne à un an près.

De manière analogue, une analyse bayésienne résume l'estimation a priori d'un paramètre en utilisant la distribution a posteriori. Cette distribution peut être discrète (p. ex. deux hypothèses concurrentes) ou continue (p. ex. une plage de valeurs résumée par une distribution présentant un pic et un étalement).

Nous résumons la distribution a posteriori dans ce rapport de plusieurs manières :

- La moyenne de la distribution a posteriori : la distribution attendue (d'un point de vue mathématique) des estimations représentant notre estimation ponctuelle de la valeur du paramètre.
- L'écart-type de la distribution a posteriori représente une mesure de l'incertitude quant à notre estimation sur la valeur du paramètre.
- Un intervalle de confiance (généralement un intervalle de confiance à 95 %) représentant l'incertitude dans l'estimation. Un intervalle de confiance à 95 % contiendrait 95 % de notre estimation.
- Une estimation avec certitude que le paramètre est au-dessus ou en dessous d'une certaine valeur trouvée comme la partie de la distribution a posteriori qui est au-dessus ou en dessous de la valeur spécifiée. Comme nous le voyons ci-dessous, nous nous intéressons à notre estimation a posteriori selon laquelle la pente de la *PIKE* marginale était inférieure à zéro au cours des cinq dernières années, ce qui représente notre estimation a posteriori selon laquelle la *PIKE* marginale a diminué au cours des cinq dernières années.

Il existe une correspondance approximative entre les résultats d'un modèle des moindres carrés ou modèle de vraisemblance et un modèle bayésien. L'estimation du maximum de vraisemblance correspond approximativement à la moyenne de la distribution a posteriori ; l'écart-type pour un paramètre d'un ajustement de vraisemblance correspond approximativement à l'écart-type de la distribution a posteriori ; l'intervalle de confiance d'un ajustement de vraisemblance correspond approximativement à l'intervalle de confiance d'un modèle bayésien. Cependant, la correspondance n'est pas « exacte » et il existe des différences fondamentales dans les définitions techniques de chaque mesure qui les rendent non comparables. En particulier, l'estimation avec certitude qu'un paramètre est au-dessus/en dessous d'une valeur spécifique n'a aucune correspondance dans le contexte de la vraisemblance.

### **3.3 Choix entre la moyenne marginale pondérée et non pondérée de la *PIKE***

Cette section est plus pertinente pour l'analyse de l'Afrique car les données sur les populations ne sont pas

**disponibles pour tous les sites MIKE en Asie. Elle a toutefois été retenue pour maintenir la cohérence entre les documents de synthèse pour l'Asie et l'Afrique en attendant d'obtenir les données sur les populations.**

La *PIKE* simple combinée (c.-à-d. le total des éléphants abattus illégalement/le total des carcasses observées) pourrait être une estimation appropriée de la moyenne marginale de la *PIKE* si le nombre de carcasses signalées était proportionnel à l'abondance de la population (si vous êtes intéressé par une *PIKE* pondérée) ou égal d'un site à l'autre (si vous êtes intéressé par une *PIKE* non pondérée) et si tous les sites faisaient l'objet d'un rapport chaque année. Le nombre de carcasses signalées n'est pas égal d'un site à l'autre, n'a qu'un faible rapport avec l'abondance de la population, et il manque beaucoup de données, de sorte que la *PIKE* simple combinée est difficile à interpréter et présente rarement un intérêt.

Le choix entre la moyenne marginale pondérée et non pondérée de la *PIKE* est plus complexe.

La moyenne marginale non pondérée de la *PIKE* doit être considérée comme un indice de la pression de braconnage qui donne à chaque site le même poids indépendamment de l'abondance de la population sous-jacente. Nous espérons que les tendances de l'indice renseignent largement sur les changements de la pression de braconnage à l'échelle du continent.

La moyenne marginale pondérée de la *PIKE* peut refléter les tendances réelles du braconnage au niveau de la population selon plusieurs hypothèses (p. ex., la valeur observée de la *PIKE* sur un site MIKE reflète le braconnage dans une population plus large que celle du site ; l'estimation de l'abondance de la population pour un site MIKE reflète l'abondance réelle de la population ; toutes les populations sont suivies, c.-à-d. que chaque population correspond à un site MIKE). Par conséquent, la moyenne marginale pondérée de la *PIKE* semble attrayante, mais de nombreuses hypothèses sont nécessaires avant qu'elle ne reflète la pression du braconnage au niveau de la population.

**L'utilisation de données sur la population pour calculer une *PIKE* pondérée en fonction de la population est actuellement expérimentale et en cours d'évaluation, et la mise en œuvre réelle pourra changer à l'avenir.**

Compte tenu de la très faible relation entre le nombre de carcasses et l'abondance de la population, la simple *PIKE* combinée aura tendance à suivre la moyenne marginale pondérée des valeurs de la *PIKE* de manière plus proche que la moyenne marginale non pondérée des valeurs de la *PIKE*.

## **4 Tendances de la *PIKE* à l'échelle du continent**

Le modèle GLMM a été codé en utilisant *BUGS* (Lunn *et al.*, 2012), une manière courante de spécifier des modèles bayésiens, et exécuté en utilisant *JAGS* (Plummer, 2003) dans *R* (R Core Team, 2020).

Les estimations de la *PIKE* selon *LSMeans* et la moyenne marginale non pondérée sont analysées ci-après.



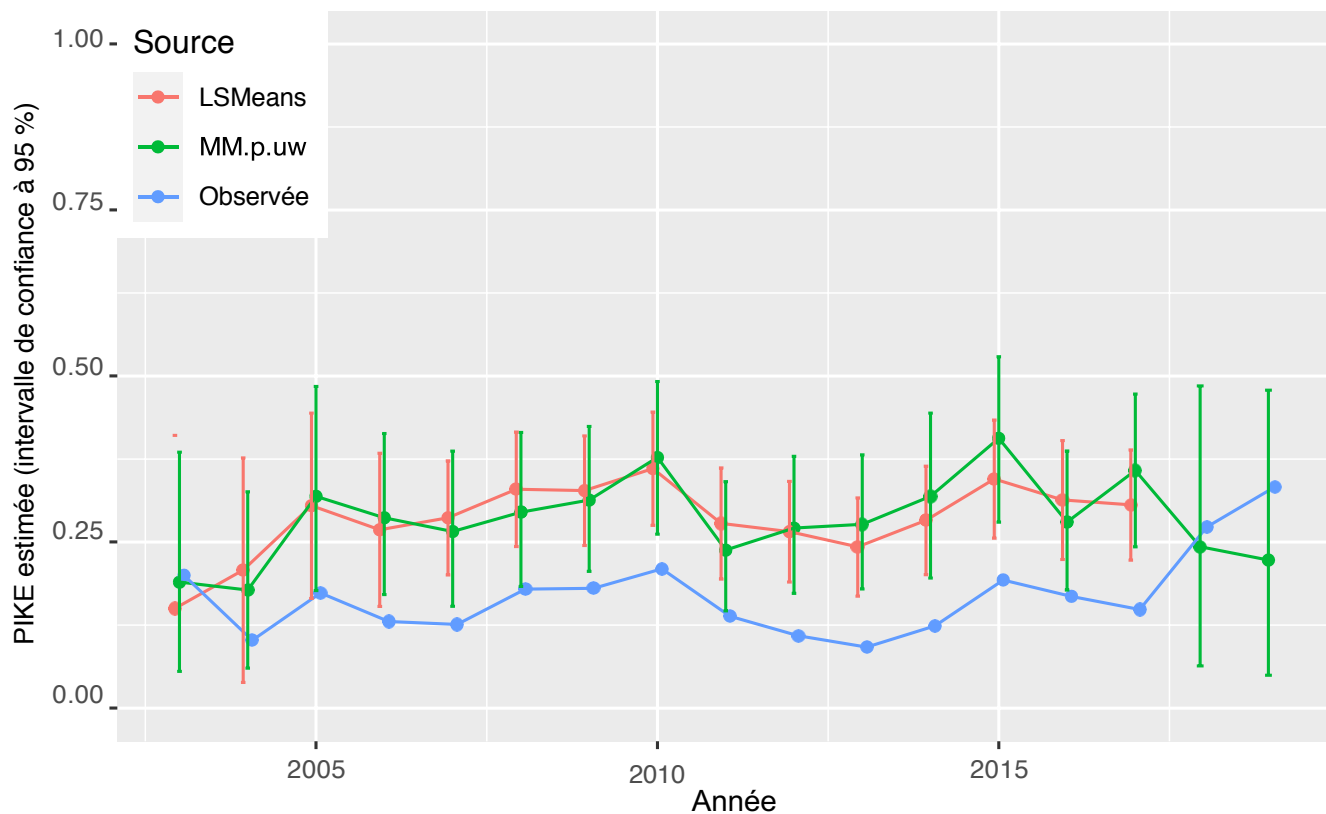
Tableau 3 : Moyenne marginale estimée de la *PIKE* dans le modèle GLMM et *LSMeans*

Année	Non pondérée		<i>LSMeans</i>	
	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
2003	0,19	0,09	0,15	0,13
2004	0,18	0,07	0,21	0,09
2005	0,32	0,08	0,30	0,07
2006	0,29	0,06	0,27	0,06
2007	0,27	0,06	0,29	0,04
2008	0,29	0,06	0,33	0,04
2009	0,31	0,06	0,33	0,04
2010	0,38	0,06	0,36	0,04
2011	0,24	0,05	0,28	0,04
2012	0,27	0,05	0,27	0,04
2013	0,28	0,05	0,24	0,04
2014	0,32	0,06	0,28	0,04
2015	0,41	0,06	0,34	0,05
2016	0,28	0,05	0,31	0,05
2017	0,36	0,06	0,31	0,04

Le graphique suivant compare la *PIKE* calculée à l'aide de l'approche *LSMeans* (l'approche actuelle) et la moyenne marginale non pondérée (*MM.p.uw*) calculée à l'aide du modèle bayésien.

### Asie : *PIKE* estimée au cours du temps

Comparaison des estimations de la *PIKE* : observée, *LSMeans* et moyenne marginale non pondérée

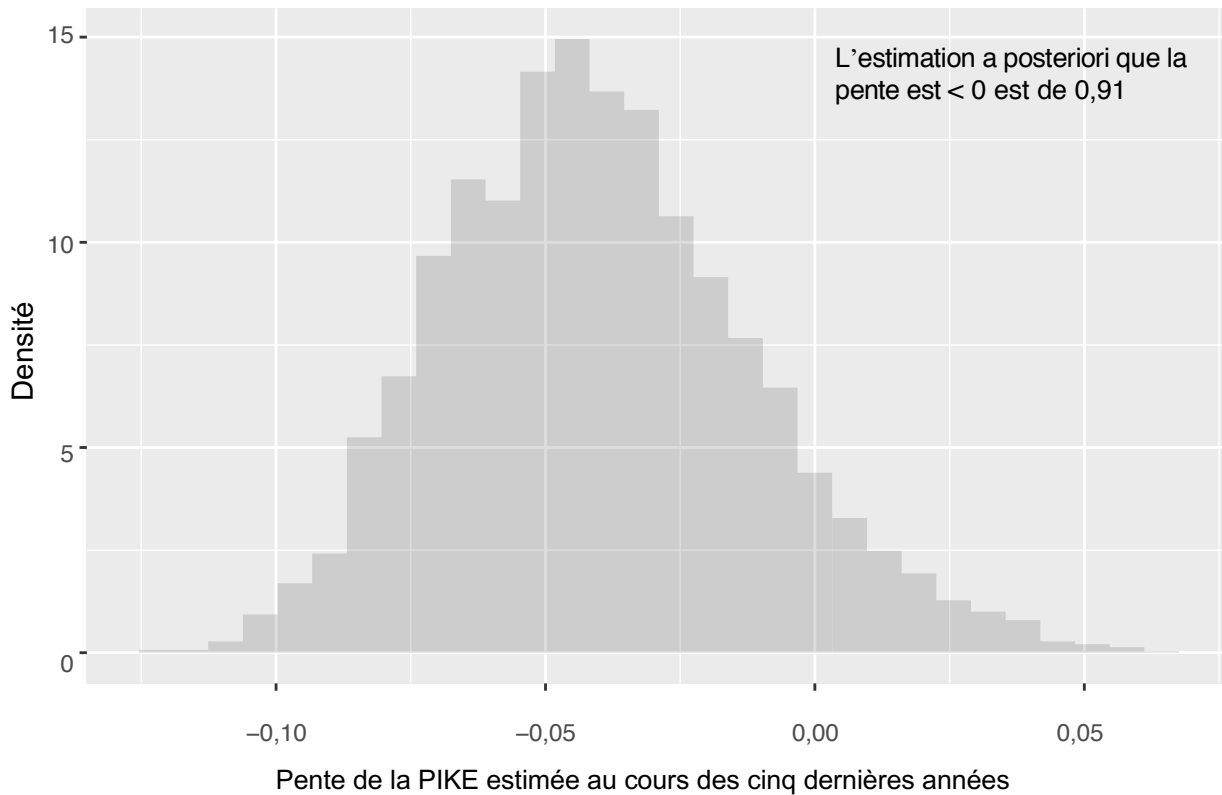


La nouvelle moyenne marginale non pondérée proposée ( $MM.p.uw$ ) suit assez bien les valeurs de  $LSMeans$  précédemment calculées, sauf pour 2018 et 2019 pour lesquelles aucune donnée n'a été reçue d'une sous-région. Les lignes de tendance ajustées sont systématiquement plus élevées que les valeurs observées de la  $PIKE$  car ces dernières donnent plus de poids aux sites où un plus grand nombre de carcasses a été signalé alors que la moyenne marginale pondérée  $MM.p.uw$  donne un poids égal à chaque site quel que soit le nombre de carcasses (ou l'abondance de la population sous-jacente).

Une fois l'échantillon disponible a posteriori, il est relativement facile de calculer l'estimation a posteriori selon laquelle la tendance est négative au cours des cinq dernières années. Pour ce faire, on estime la pente au cours des cinq dernières années pour chaque échantillon a posteriori, et l'estimation a posteriori selon laquelle la tendance est négative est alors la proportion de pentes ajustées inférieures à zéro.

### Distribution a posteriori de la pente de la PIKE annuelle ajustée au cours des cinq dernières années

D'après la moyenne marginale non pondérée transformée à l'échelle [0,1] –  $MM.p.uw$



L'estimation a posteriori selon laquelle la pente de la *PIKE* est négative au cours des cinq dernières années est de 0,91, c.-à-d. que nous avons une estimation a posteriori forte selon laquelle la tendance de la *PIKE* au cours des cinq dernières années est négative (en baisse).

## 5 Tendances de la *PIKE* à l'échelle sous-régionale

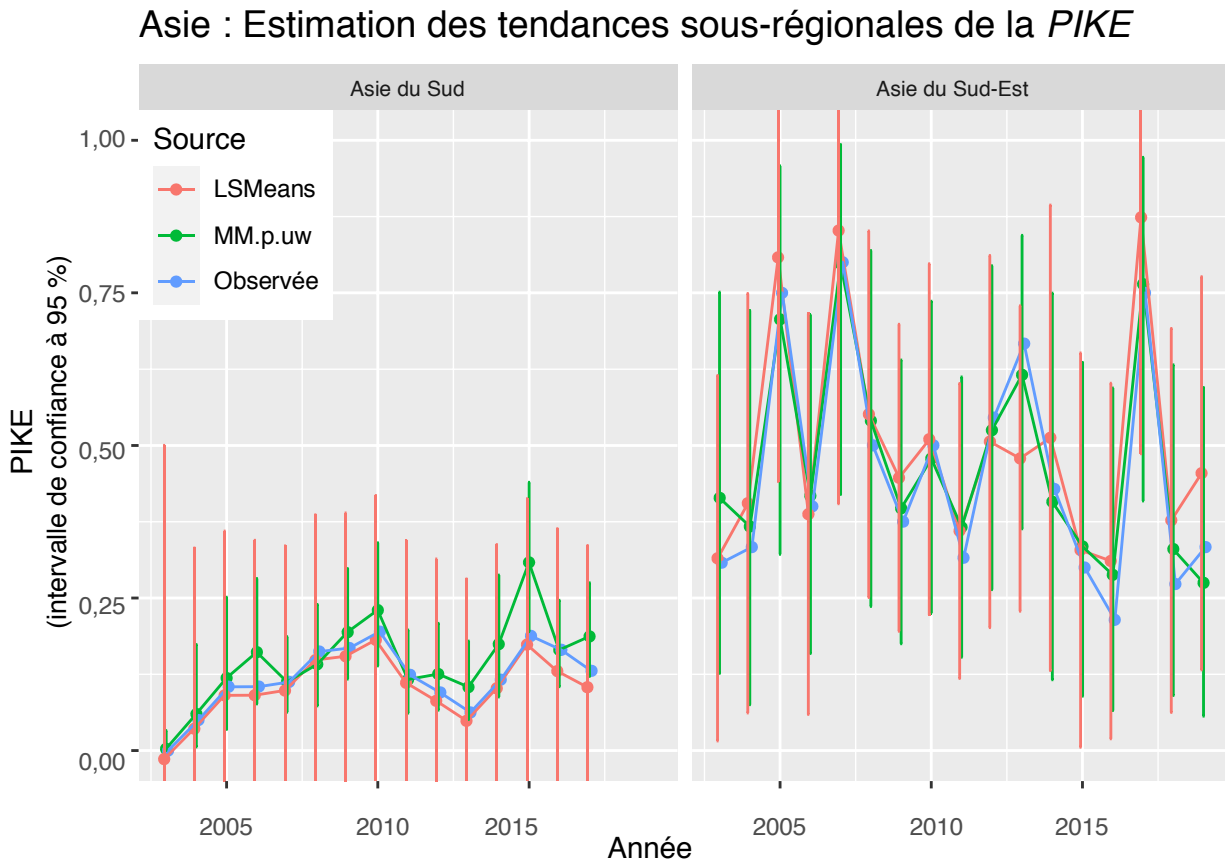
**L'approche *LSMeans* actuelle ne rend pas compte des estimations au niveau sous-régional, mais nous l'avons modifiée pour calculer des estimations sous-régionales d'après un modèle similaire utilisé en Afrique qui comprend un effet pays et un effet d'année. Par conséquent, ces résultats ne sont que préliminaires.**

Les analyses GLMM présentées ci-dessus ont été répétées au niveau sous-régional. Seules les données de chaque sous-région ont été utilisées dans chaque analyse, c'est-à-dire que des analyses complètement séparées ont été effectuées pour chaque sous-région.

Un modèle plus complexe où les deux sous-régions seraient modélisées dans le cadre d'un modèle plus large pourrait être tenté. Ce modèle plus large serait utile lorsqu'une sous-région dispose de peu de données, mais présente dans les tendances de la *PIKE* une relation cohérente avec d'autres sous-régions. Ceci est similaire au cas où les données rares pour un site MIKE particulier sont améliorées s'il existe une relation cohérente entre les *PIKE* de plusieurs sites MIKE. Dans ces cas, la cohérence de la relation permet aux informations provenant d'autres sous-régions d'améliorer les estimations de tendance dans la sous-région ayant peu de données.

Ce modèle plus complexe est examiné dans le document technique pour l'Asie, mais comme il ne semble pas y avoir beaucoup de similitudes dans les tendances entre les sous-régions, nous ne nous attendons pas à ce que ce modèle plus complexe apporte une grande amélioration par rapport aux modèles portant sur chaque sous-région.

Les graphiques suivants comparent la *PIKE* moyenne calculée selon la méthode *LSMeans* et la *PIKE* moyenne marginale non pondérée (MM.p.uw).



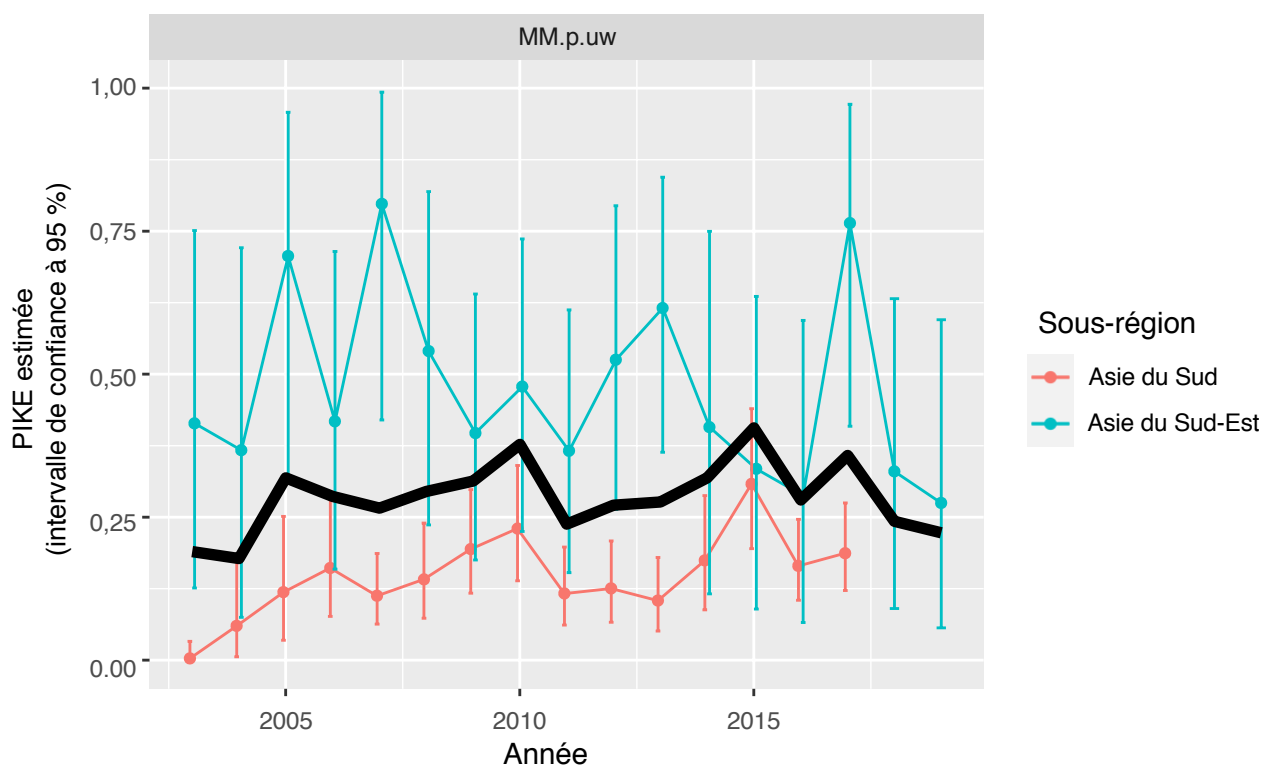
Les estimations de chaque sous-région ont des intervalles de confiance plus larges, car la quantité de données est plus faible dans chaque sous-région par rapport aux résultats à l'échelle du continent. Cela est particulièrement vrai pour la sous-région de l'Asie du Sud-Est, où le nombre moyen de carcasses contrôlées est très faible.

Les lignes de tendance respectives se suivent d'une manière générale.

Il est intéressant de comparer les tendances régionales aux tendances à l'échelle du continent :

## Asie : *PIKE* sous-régionale estimée au cours du temps

Tendance à l'échelle du continent figurée en noir



Nous constatons que la *PIKE* en Asie du Sud est systématiquement inférieure à la *PIKE* à l'échelle du continent, tandis que la *PIKE* en Asie du Sud-Est est systématiquement supérieure.

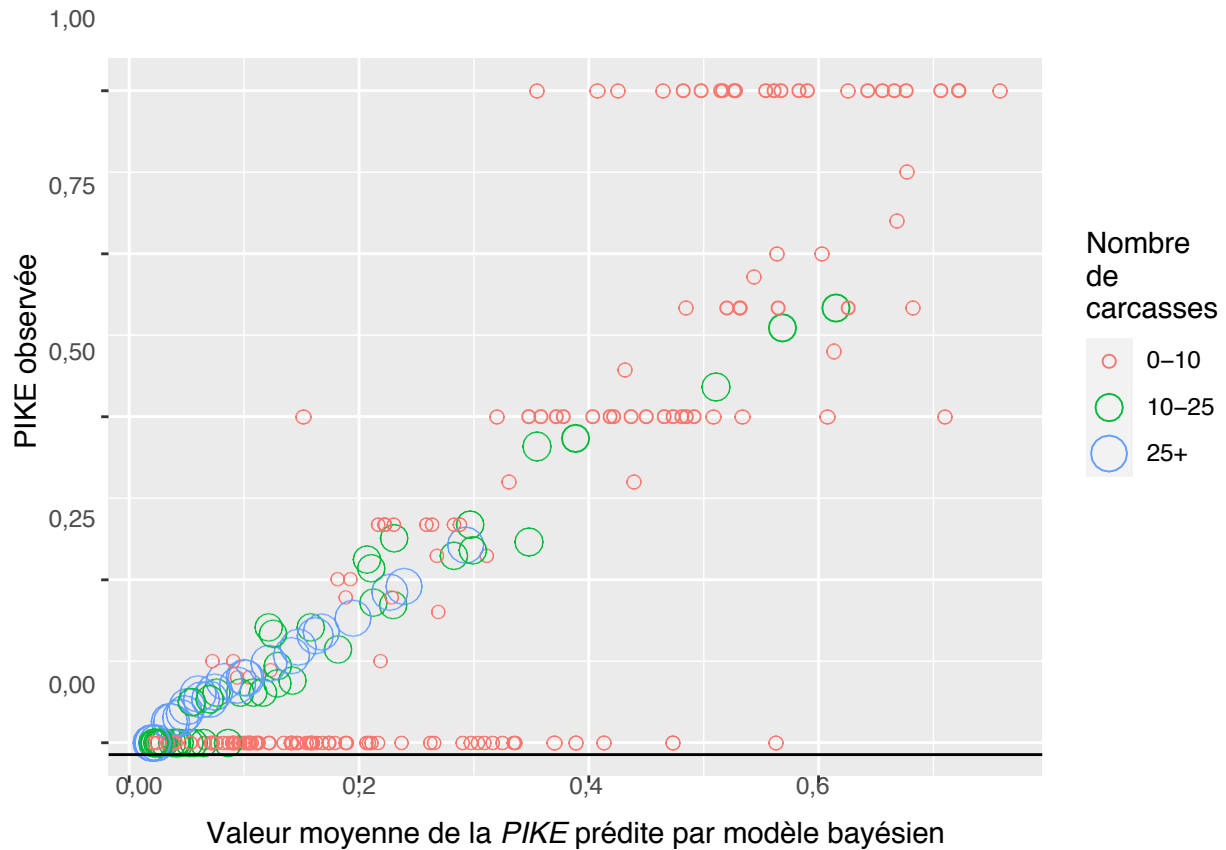
## 6 Évaluation du modèle

Chaque fois qu'une nouvelle méthode est utilisée, il est important de déterminer si le modèle correspond bien aux données. Nous avons effectué des évaluations détaillées du modèle (voir le document technique) et n'avons trouvé aucune preuve de problèmes, à l'exception d'une autocorrélation spatiale résiduelle dans les effets site estimés.

### 6.1 *PIKE* observée/*PIKE* prédite

La représentation de la *PIKE* observée pour chaque année-site par rapport à la *PIKE* prédite est la suivante :

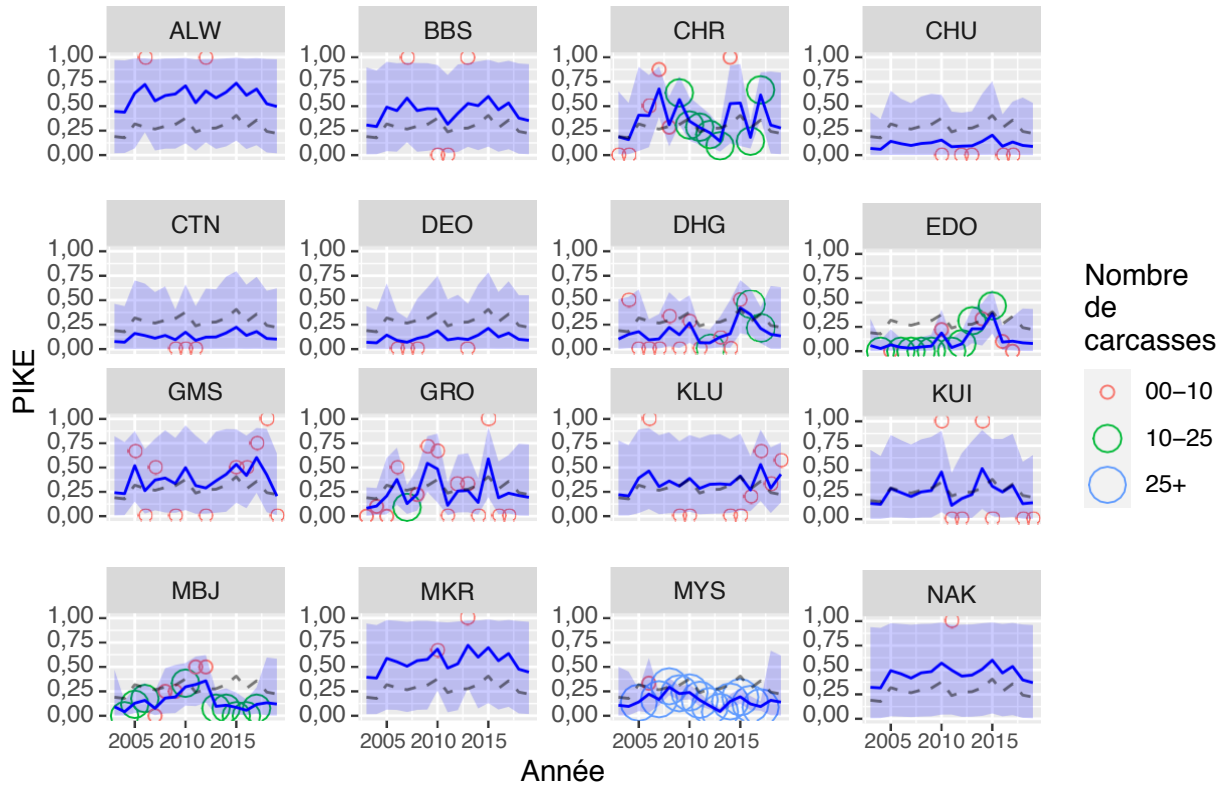
## Asie : *PIKE* observée/*PIKE* prédite



L'ajustement est généralement très bon. Pour les sites-années présentant un nombre de carcasses très faible (< 10) et une *PIKE* observée de 0 ou 1, la *PIKE* estimée se rapproche de la moyenne annuelle pour cette année. Pour les sites-années présentant un grand nombre de carcasses (> 25), la *PIKE* estimée correspond étroitement à la *PIKE* observée. Pour les sites-années présentant un nombre intermédiaire de carcasses, les estimations se resserrent légèrement pour se rapprocher de la moyenne de l'année en question.

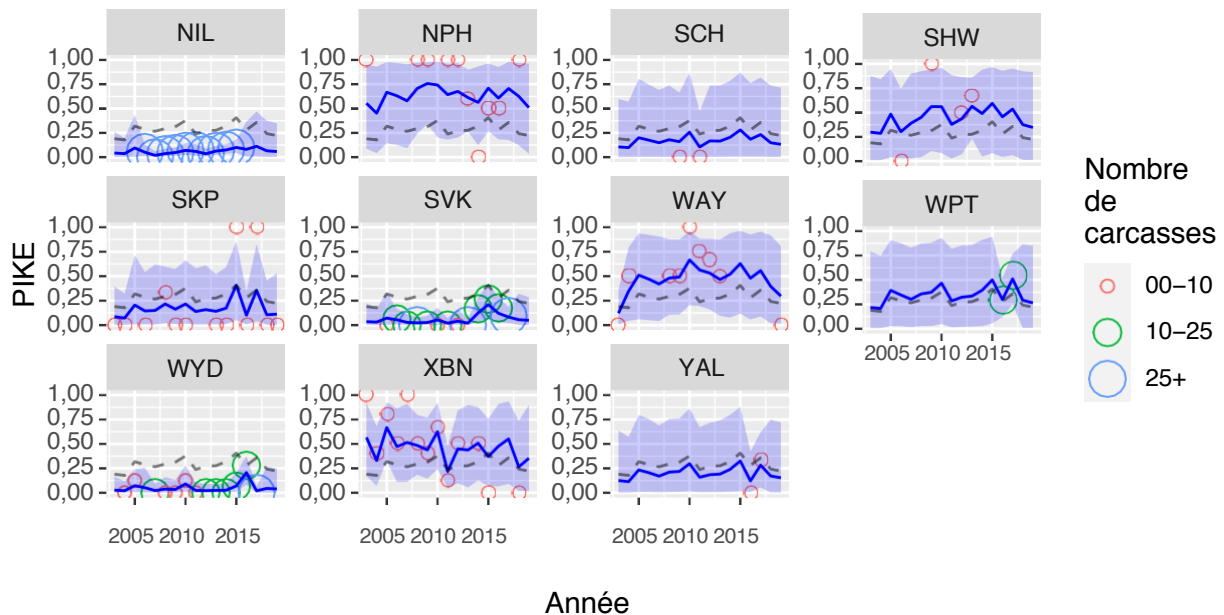
Cela peut également être constaté dans les graphiques des valeurs observées et ajustées de la *PIKE* pour les différents sites MIKE :

Asie : *PIKE* observée et prédite pour chaque site MIKE



La ligne pointillée représente la moyenne marginale non pondérée de la *PIKE* à l'échelle du continent. La ligne bleue et l'ombrage représentent la *PIKE* prédite à l'échelle du site avec un intervalle de confiance à 95 %.

Asie : *PIKE* observée et prédite pour chaque site MIKE



La ligne pointillée représente la moyenne marginale non pondérée de la *PIKE* à l'échelle du continent.

continent. La ligne bleue et l'ombrage représentent la *PIKE* prédite à l'échelle du site avec un intervalle de confiance à 95 %.

Il existe plusieurs configurations intéressantes qui illustrent les caractéristiques du modèle.

- Site *NIL*. Ce site présente presque chaque année un grand nombre de carcasses (grands cercles bleus). L'estimation annuelle de la *PIKE* à l'échelle du site suit de près les données observées (comme attendu).
- Site *CHR*. Certaines années, ce site signale un grand nombre de carcasses et l'estimation annuelle de la *PIKE* au niveau du site pour ces années correspond à la *PIKE* observée. Certaines années, la *PIKE* observée reposant sur un grand nombre de carcasses est supérieure à la moyenne marginale à l'échelle du continent (p. ex. en 2007) et certaines années, elle est inférieure à la moyenne marginale à l'échelle du continent (p. ex. en 2012). En moyenne, ce site suit la tendance à l'échelle du continent. Ainsi, les années où ce site ne signale que quelques carcasses (petits cercles rouges) et où la *PIKE* observée est le plus souvent égale à 0 ou 1, la *PIKE* estimée est proche de la tendance à l'échelle du continent. Par exemple, avec un petit nombre de carcasses examinées, une valeur de 2 éléphants abattus illégalement sur 2 carcasses examinées (*PIKE* observée de 1) correspondent à une *PIKE* estimée plus proche de la *PIKE* marginale à l'échelle du continent. Il convient de noter que les années où un petit nombre de carcasses est signalé, l'intervalle de confiance de l'estimation de la *PIKE* au niveau du site est très large.
- Site *CHU*. Ce site a principalement des échantillons de petite taille, mais la *PIKE* observée est constamment proche de 0. La *PIKE* estimée au niveau du site est alors également proche de 0 les années où il n'y a pas de rapport. Toutefois, il convient de noter les larges intervalles de confiance.

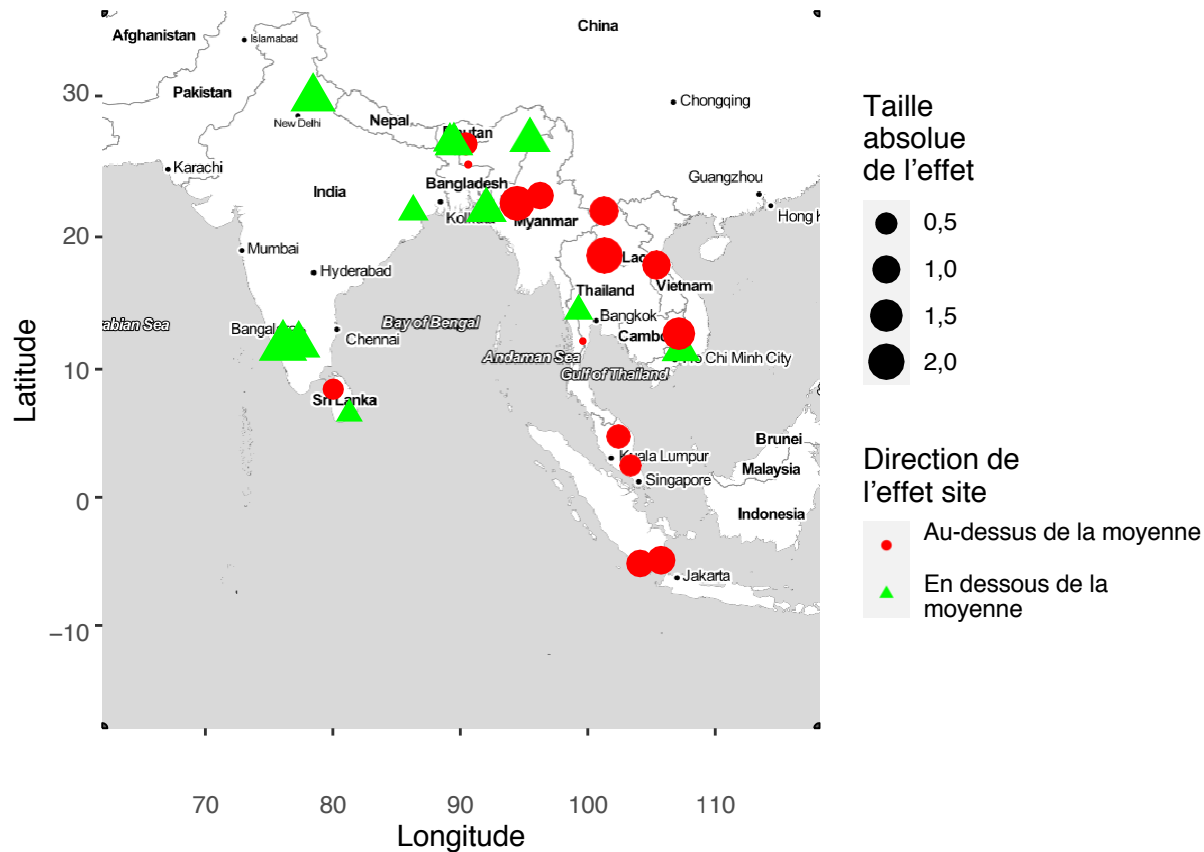
En résumé, lors des années où de nombreuses carcasses sont signalées, la *PIKE* site-année estimée correspondra étroitement à la *PIKE* site-année observée. Les années où peu de carcasses sont déclarées, la *PIKE* site-année estimée se rapproche de la tendance continentale après avoir pris en compte la relation observée entre la *PIKE* des sites et la tendance à l'échelle du continent.

## 6.2 Corrélation spatiale des effets site

Les effets site (aléatoires) ont été modélisés comme des effets aléatoires indépendants sans tenir compte explicitement de la structure spatiale des données. Cependant, nous constatons que les sites géographiquement proches ont des effets site similaires.



## Asie : Effets site estimés



Les sites qui ont une *PIKE* constamment supérieure à la moyenne continentale sont affichés comme étant *au-dessus de la moyenne* ; les sites qui ont une *PIKE* constamment inférieure à la moyenne continentale sont affichés comme étant *en dessous de la moyenne*.

On remarque que les sites géographiquement proches ont tendance à avoir des effets similaires (taille des points) et allant dans la même direction (au-dessus ou en dessous de la moyenne, couleur des points). Cela suggère qu'il existe une corrélation spatiale entre les effets site qui n'a pas été directement prise en compte dans l'analyse.

L'analyse actuelle est toujours valable mais inefficace, car elle n'utilise pas la corrélation spatiale pour améliorer la conclusion. Si l'autocorrélation spatiale est explicitement modélisée, les informations sont alors partagées entre des sites géographiquement proches, c.-à-d. que si la *PIKE* augmente sur un site, l'autocorrélation spatiale indiquerait qu'elle tend à augmenter également sur un site voisin. Bien entendu, si les sites se trouvent dans des pays différents avec des niveaux différents de lutte contre la fraude ou d'autres covariables ayant un impact sur la *PIKE*, une autocorrélation spatiale explicite pourrait introduire une relation fautive entre la *PIKE* sur les deux sites, à moins que ces autres facteurs (lutte contre la fraude, etc.) ne soient également modélisés. Les modèles d'autocorrélation spatiale explicite deviennent rapidement plus complexes pour tenir compte de ces caractéristiques.

Comme l'analyse actuelle traite tous les sites comme indépendants (plutôt que corrélés dans l'espace), l'incertitude de la *PIKE* annuelle globale est légèrement inférieure à celle d'un modèle comportant une autocorrélation spatiale explicite, car le nombre effectif de sites utilisés dans le calcul de la *PIKE* annuelle globale est plus faible lorsque l'autocorrélation est explicitement modélisée. Cela implique que l'incertitude d'une tendance (p. ex. la tendance des cinq dernières années) dans le modèle actuel peut être légèrement sous-estimée, et que l'estimation a posteriori en faveur d'une tendance sera plus élevée dans le modèle actuel que dans le modèle comportant une autocorrélation spatiale explicite. Nous pensons que ces effets sont mineurs compte tenu des données spatiales de nombreux sites, du grand nombre de sites-années manquants et de la répartition potentielle de l'autocorrélation spatiale au-delà des frontières des pays.

Une éventuelle amélioration de l'analyse actuelle pourrait consister à ajouter un autre niveau d'effets aléatoires (effets pays) de sorte que les points d'un même pays qui ont des effets site connexes subissent ensuite un effet pays commun. Ce modèle est actuellement à l'étude.

### 6.3 Analyse de la sensibilité

Dans le document technique, nous avons également examiné la sensibilité du nouveau modèle à l'ajout de nouveaux sites MIKE, à la suppression de sites MIKE (pouvant être due à la disparition locale de l'espèce), à l'augmentation de l'effort de suivi sur certains sites MIKE et à l'impact des estimations a priori dans le cadre du modèle bayésien.

L'ajout d'un nouveau site MIKE peut avoir des effets sur les valeurs estimées antérieures de la *PIKE*. Il est probable que le site MIKE comptait des éléphants et d'éventuels abattages illégaux avant d'être inclus dans le Programme. Le modèle actuel extrapolera la *PIKE* pour ce site dans les années précédant l'ajout du site en fonction de la tendance annuelle de la *PIKE* des autres sites et de la relation entre la *PIKE* du nouveau site et celle des autres sites. Par exemple, si le nouveau site MIKE a une valeur de la *PIKE* supérieure de 10 points de pourcentage à la moyenne de la *PIKE*, alors la *PIKE* extrapolée pour ce site pour toutes les années passées sera également supérieure de 10 points de pourcentage à la moyenne annuelle.

L'extrapolation sera très grossière au cours des premières années suivant l'ajout d'un site MIKE, jusqu'à ce que suffisamment de données annuelles de la *PIKE* aient été collectées pour estimer raisonnablement bien la relation entre la *PIKE* de ce site et la moyenne générale (ainsi plusieurs années seront nécessaires pour bien estimer l'effet site aléatoire).

Heureusement, la moyenne marginale (non pondérée) de la *PIKE* est actuellement calculée en utilisant plus de 50 sites MIKE et l'ajout d'un nouveau site MIKE ne devrait donc avoir qu'un impact minime sur les valeurs moyennes annuelles de la *PIKE*, à moins que le nouveau site ne présente une *PIKE* extrême.

Dans la plupart des cas, l'effet de l'abandon de sites particuliers est faible, sauf lorsque la *PIKE* est calculée par pondération en fonction de l'abondance de la population. Dans ce cas, les valeurs annuelles moyennes de la *PIKE* peuvent changer considérablement lorsqu'un site ayant une grande population sous-jacente est abandonné. Cette influence peut faire monter ou descendre la moyenne annuelle de la *PIKE* selon que le site considéré a une *PIKE* spécifique au site qui est plus forte ou plus faible que la moyenne annuelle globale de la *PIKE*.

L'augmentation de l'effort de suivi sur les sites MIKE réduira la largeur des intervalles de confiance, mais les sites-années manquants constituent le facteur limitant déterminant l'incertitude de la moyenne marginale de la *PIKE* parce que l'extrapolation doit être calculée pour des sites ayant des valeurs manquantes, et l'augmentation de la taille de l'échantillon sur d'autres sites MIKE a peu d'impact sur l'incertitude dans l'extrapolation.

Les données sont suffisamment riches (plus de 20 ans de suivi sur plus de 50 sites) pour que la distribution des estimations a priori ait un impact minimal sur les résultats.

Nous concluons donc que le modèle GLMM proposé est robuste.

## 7 Conclusions

La méthode GLMM constitue une amélioration par rapport à la méthode actuelle (méthode *LSMeans*) compte tenu de la structure binomiale des données, de l'interrelation entre les valeurs de la *PIKE* des différents sites, et des variations locales de la *PIKE* à l'échelle du site au cours du temps. Les résultats du modèle proposé sont similaires aux résultats actuels et les conclusions sur les tendances de la *PIKE* sont les mêmes dans les deux modèles. Le modèle GLMM peut également être facilement étendu pour trouver des moyennes marginales pondérées de la *PIKE* (p. ex. pondérées par l'abondance de la population lorsqu'elle sera disponible) et des estimations a posteriori sur les caractéristiques des données (p. ex. la tendance des cinq dernières années) qu'il n'est pas pratique d'obtenir à partir de l'approche *LSMeans*. Le modèle GLMM est également fiable par rapport aux changements dans les données (c.-à-d. qu'il n'est pas sensible aux changements dans les données).

## 8 Références

Burn, R.W., Underwood, F.M., Blanc J. (2011). Global Trends and Factors Associated with the Illegal Killing of Elephants: A Hierarchical Bayesian Analysis of Carcass Encounter Data. PLoS ONE 6(9): e24165.

Lunn, D., Jackson, C., Best, N., Thomas, A. and Spiegelhalter, D. (2012). The BUGS Book – A practical introduction to Bayesian Analysis. Chapman and Hall/CRC Press.

Plummer, M. (2003). JAGS: A program for analysis of Bayesian graphical models using Gibbs sampling. Proceedings of the 3rd International Workshop on Distributed Statistical Computing (DSC 2003), March 20–22, Vienna, Austria. ISSN 1609-395X.

R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.