



# Effacité de la méthode de diffusion d'appel pour détecter deux Espèces colombides endémiques des Caraïbes

Christopher Cambrone<sup>1,2,3</sup> · Étienne Bezault<sup>1,3</sup> · Frank Cézilly<sup>2,3</sup>

Reçu: 3 octobre 2020 / Révisé: 4 juin 2021 / Accepté: 17 juin 2021

© Le(s) auteur(s), sous licence exclusive de Springer-Verlag GmbH Allemagne, faisant partie de Springer Nature 2021

## Abstrait

Le Pigeon à couronne blanche (WCPi), *Patagioenas leucocephala*, et le Pigeon à nuque écaillée (SNPi), *P. squamosa*, sont deux espèces endémiques des Caraïbes d'intérêt patrimonial et cynégétique. Bien que les deux espèces soient menacées par la destruction de leur habitat et la pression de la chasse, les tendances démographiques restent non documentées dans une grande partie de leur aire de répartition géographique. Ici, nous avons utilisé à la fois les méthodes de recensement "auditif et visuel" et "diffusion d'appels" pour évaluer la présence et l'abondance relative des deux espèces en Guadeloupe (Antilles françaises). La méthode de diffusion d'appels s'est avérée plus efficace car elle réduisait le problème des « fausses absences » tout en augmentant la probabilité de détection. Les résultats de nos études ont montré que les WCPis et les SNPis étaient à faible densité et montraient une ségrégation complète de l'habitat. Les SNPis n'ont été rencontrés que dans la forêt tropicale, tandis que les WCPis ont pu être observés aux stations de comptage situées dans les forêts sèches et marécageuses, les mangroves, les terres agricoles et les prairies humides. Nous recommandons l'utilisation de la méthode de diffusion d'appels pour surveiller les deux espèces sur les îles où elles sont présentes à faible densité, dans lesquelles les conditions d'échantillonnage à distance peuvent être peu fiables. La pertinence générale de la méthode de diffusion d'appels pour d'autres espèces de pigeons et de colombes mérite une attention particulière, en particulier pour documenter les tendances démographiques des espèces de gibier insaisissables d'intérêt pour la conservation.

**Mots** -clés Appel-diffusion · Surveillance · *Patagioenas leucocephala* · *Patagioenas squamosa* · Lecture · Points d'écoute

## introduction

Le genre *Patagioenas* comprend 19 espèces différentes de pigeons du Nouveau Monde (Johnson et al. 2010; del Hoyo et al. 2014; BirdLife International 2020), dont cinq sont préoccupantes pour la conservation (Walker 2007; BirdLife International 2020). Dans la région des Caraïbes, le Pigeon à couronne blanche (WCPi), *P. leucocephala*, et le Pigeon à nuque écaillée (SNPi), *P. squamosa*, sont considérés, respectivement,

comme quasi-menacé et moins préoccupant dans la Liste rouge de l'UICN (BirdLife International 2016a, b), étant à la fois menacés par la destruction de l'habitat, le changement climatique, la pression de chasse intensive (légale et illégale) ainsi que le prélèvement de pigeonneaux (Hay 2008; Latta et al. 2010; Latta 2012; Rivera Milán et al. 2014, 2016; BirdLife International 2016a, b).

Bien que les données quantitatives manquent, un déclin global de la taille de la population des deux espèces est suspecté (Rafaele et al. 1998; Hay 2008). L'aire de répartition naturelle du WCPi s'étend des Florida Keys (USA) et des Bahamas à une partie des Petites Antilles (jusqu'à Sainte-Lucie), en passant également par les côtes d'Amérique centrale et les îles Caïmans (Gibbs et al. 2001; Bancroft et al. 2020). En revanche, l'aire de répartition naturelle du SNPi comprend toutes les îles des Antilles, plus les îles de la côte du Venezuela au sud (Gibbs et al. 2001; Baptista et al. 2020). A l'échelle régionale, les deux espèces sont considérées comme vagabondes (Bancroft et al.

2020; Baptista et al. 2020; Cambrone et al. 2021). Ces espèces arboricoles étroitement apparentées sont principalement frugivores et sont censées jouer un rôle important dans la régénération des forêts (Pérez-Rivera 1978; Strong et Bancroft 1994; Ware 1997; Strong et Johnson 2001). Selon Gibbs et al.

---

Etienne Bezault et Frank Cézilly ont contribué à parts égales à la papier.

---

\* Christopher Cambrone  
christopher.cambrone@yahoo.com

<sup>1</sup> UMR BOREA (MNHN, UPMC, UCN, CNRS-8067, IRD-207), Université des Antilles, Guadeloupe, France

<sup>2</sup> UMR CNRS 6282 Biogéosciences, Université de Bourgogne-Franche Comté, Dijon, France

<sup>3</sup> Caribaea Initiative, Département de Biologie, Université Des Antilles-Campus de Fouillole, 97157 Pointe-à-Pitre, Guadeloupe, France

(2001), les WCPI ont tendance à occuper les forêts côtières de basse altitude telles que les forêts marécageuses, les mangroves ou les forêts sempervirentes sèches, tandis que les SNPi se trouvent principalement dans les forêts humides des hautes terres et de l'intérieur des terres. Cependant, jusqu'à présent, aucune donnée quantitative n'existe sur la répartition de l'habitat par les deux espèces en sympatrie. De plus, pour les deux espèces, les données sur les tendances démographiques et l'abondance locale sont rares et limitées à quelques îles (Rivera Milán 1996 ; Brooks et al. 2002 ; Acevedo et Restrepo 2008 ; Hay 2008 ; Florida Fish and Wildlife Conservation Commission 2013 ; Rivera-Milán et al. 2014, 2016).

Aux Antilles françaises, les données sur la distribution spatiale et l'écologie de ces deux espèces de gibier populaires se limitent actuellement aux observations faites par les agents de la faune de l' *Ofce Français de la Biodiversité* (anciennement *Ofce National de la Chasse et de la Faune Sauvage*) et associations locales d'ornithologues. Le SNPi est observé toute l'année aux Antilles françaises. L'espèce est moyennement abondante en Guadeloupe, après un déclin marqué au cours du XXe siècle associé à une pression de chasse intensive (notamment sur La Désirade, petite île orientale de l'archipel de Guadeloupe ; Pinchon 1976 ; Feldmann 1998). En revanche, l'abondance du WCPI en Guadeloupe varie selon les saisons, avec un pic d'avril à décembre et une augmentation récente du nombre d'observations rapportées (Delcroix et al. 2016). Sur la base de ces informations, le statut local UICN de deux espèces a été récemment reconsidéré, le WCPI étant reclassé en danger en Guadeloupe et vulnérable en Martinique, tandis que le SNPi restait le moins préoccupant en Guadeloupe mais a été reclassé en quasi menacé en Martinique (UICN France et al. 2012, 2020).

Il existe peu d'informations sur l'état reproducteur des deux espèces en Guadeloupe et en Martinique, hormis des observations anecdotiques de couples, de comportement de construction de nid, de tentatives de reproduction et de juvéniles (Delcroix et al. 2016 pour le WCPI). Une autre preuve suggérant une reproduction locale provient de la présence régulière de juvéniles dans les sacs de chasse des chasseurs locaux (une source d'information fiable pour le suivi démographique ; Christensen et Fox 2014). Les zones de reproduction importantes les plus proches (>70 km) de la Guadeloupe et de la Martinique sont Antigua pour le WCPI et Montserrat et la Dominique pour le SNPi.

En l'absence de données quantitatives sur la démographie des deux espèces en Guadeloupe et en Martinique, et compte tenu d'une récente étude génétique des populations suggérant l'existence d'une seule population panmictique de SNPi à l'échelle régionale (Cambrone et al. 2021), des estimations fiables de l'abondance de la population sont fondamentales pour identifier les fluctuations et les changements de population. Des estimations affinées de la densité de population, telles que celles obtenues par des méthodes de marquage-recapture, sont disponibles mais peuvent être longues et coûteuses à mettre en œuvre (Thompson 2013 ; Turlure et al. 2018). De plus, la capture d'oiseaux sauvages peut être une source de stress et/ou de traumatisme, limitant ainsi son utilisation face à des espèces sensibles et/ou menacées.

espèce (Powell et Proulx 2003 ; Pauli et al. 2010). Par conséquent, les populations d'oiseaux gibier à plumes sont souvent surveillées à l'aide d'indices d'abondance relative, obtenus à partir de comptages d'indices ou de statistiques de chasse (par exemple, Cattadori et al. 2003 ; Evans et al. 2007 ; Lande et al. 2010 ; Tillmann et al. 2012 ; Small et al. 2012 ; Guillemain et al. 2016 ; Cretois et al. 2020). Bien que les deux indices souffrent de certaines limites (Rosenstock et al. 2002 ; Christensen 2005), leur utilisation combinée peut fournir de meilleures informations sur l'état de la population (Soininen et al. 2016).

En Guadeloupe, des données sur les prises de chasse sont régulièrement collectées par l' *Ofce Français de la Biodiversité* depuis plusieurs années, alors que les enquêtes sur les populations WCPI ou SNPi sont rarement réalisées. En effet, le comportement secret des deux espèces et leur tendance à se percher sur des arbres hauts dans la canopée rendent difficile l'estimation de leur abondance locale. Il est donc particulièrement important d'évaluer au préalable les performances des méthodes de recensement afin d'obtenir, à l'avenir, des estimations fiables de l'abondance locale des deux espèces en Guadeloupe, et éventuellement dans d'autres îles de la Caraïbe. Deux méthodes principales sont actuellement utilisées dans les relevés d'espèces d'oiseaux forestiers. La première méthode, plus conventionnelle, consiste simplement à détecter les oiseaux à vue et/ou à l'ouïe le long d'un transect ponctuel ou linéaire (c'est-à-dire la méthode auditive/visuelle). La deuxième méthode ajoute la diffusion d'appels de l'espèce d'intérêt pour induire des réponses comportementales, telles que des vocalisations ou des mouvements, d'individus proches, de sorte qu'ils deviennent plus faciles à détecter (c'est-à-dire la méthode de diffusion d'appels). L'utilisation de la diffusion d'appels s'est avérée être une méthode efficace pour recenser diverses espèces d'oiseaux, en augmentant le nombre de détections par unité d'effort d'échantillonnage, en réduisant le problème de fausse absence et en diminuant la variation temporelle de la probabilité de détection (Sutherland et al. 2004 ; Sutherland 2006).

La méthode de diffusion d'appels pourrait être particulièrement adaptée pour étudier la population d'espèces de *Patagioenas*, comme Kirkpatrick et al. (2007) ont constaté que la probabilité de détecter un pigeon à queue barrée roucoulant, *P. fasciata*, augmentait de 27 % par rapport aux relevés auditifs. Cependant, cette méthode comporte certaines limitations. Premièrement, le type d'habitat ou les conditions météorologiques peuvent altérer la propagation du son (du haut-parleur aux oiseaux), de sorte que l'efficacité de la méthode peut varier en fonction des conditions locales (Schieck 1997 ; Buckland et al. 2005 ; Simons et al. 2007 ; Pacifici et al. 2008 ; Yip et al. 2017). Plus important encore, la méthode peut conduire à surestimer la taille de la population si les oiseaux sont attirés par les cris et se déplacent autour de l'observateur, augmentant ainsi le risque de double comptage (Buckland et al. 2008 ; Fuller et al. 2012). Cependant, Fuller et al. (2012) ont montré que ce biais potentiel peut être pris en compte dans les analyses statistiques et ont conclu que la méthode semble particulièrement utile pour l'étude des oiseaux forestiers insaisissables, au moins pour mieux déterminer leur présence dans divers habitats.

Dans ce contexte, l'objectif principal de cette étude était de comparer l'efficacité des systèmes « auditif et visuel » (AV) et

méthodes de recensement « appel-diffusion » (CB) pour estimer la présence et l'abondance relative de *P. leucocephala* et *P. squamosa* en Guadeloupe. De plus, nous avons analysé le type de végétation dominant associé à la présence et à l'abondance relative de chaque espèce, et évalué dans quelle mesure les deux espèces sont présentes dans des habitats similaires. Sur la base des résultats précédemment obtenus avec le congénère *P. fasciata fasciata* (Kirkpatrick et al. 2007), nous nous attendions à ce que la méthode CB améliore notre capacité à détecter et à améliorer l'estimation de l'abondance relative de *P. squamosa* et *P. leucocephala*. De plus, nous nous attendions à ce que chaque espèce soit détectée dans des transects dominés par différentes formations végétales, sur la base d'observations antérieures dans d'autres îles des Caraïbes (Bancroft et al. 2020 ; Baptista et al. 2020).

## Méthodes

### Sites d'étude

Nous avons comparé l'efficacité des prospections AV et CB pour évaluer la présence et l'abondance de *P. leucocephala* et *P. squamosa* en Guadeloupe (Fig. 1). Cet archipel, situé dans les Petites Antilles, est constitué de deux îles principales climatiquement, géologiquement et écologiquement différentes (Rousteau 1996). La partie orientale, l'île de Grande-Terre, est la plus ancienne et la plus grasse, avec un sol calcaire occupé par des forêts fragmentées sempervirentes et semi-caduques. L'île de Basse-Terre, à l'ouest, est montagneuse et largement couverte de forêt tropicale humide. Les deux îles sont séparées par un bras de mer appelé Rivière Salée, où se concentrent mangroves et forêts marécageuses (Fig. 1, Rousteau 1996), rendant la Guadeloupe propice aux deux espèces de *Patagioenas* (Gibbs et al. 2001 ; Bancroft et al. 2020 ; Baptista et al. 2020).

### Conception de l'enquête

L'étude s'est déroulée sur deux années consécutives, 2016 et 2017. Nous avons défini la localisation des transects à l'aide de photographies aériennes et de cartes topographiques, complétées par une cartographie de la végétation de la Guadeloupe issue du *Géoportail* et de *Google Earth*. Comme nous visons à comparer deux méthodes de détection, nous avons optimisé notre effort d'échantillonnage en positionnant les transects dans des endroits où chaque espèce est connue pour se produire. À cette fin, nous avons évalué la présence/absence probable des deux espèces de pigeons à partir des observations faites par les chasseurs locaux (une source d'information fiable pour le suivi démographique; par exemple, Lande et al. 2010; Tillmann et al. 2012; Christensen et Fox 2014 ; Cretois et al. 2020), agents de la faune et données disponibles sur ebird (<https://ebird.org> ; Callaghan et Gawlik 2015; Callaghan et al. 2017; Walker et Taylor 2017; Fletcher et al. 2019). Douze transects linéaires différents ont été considérés à travers

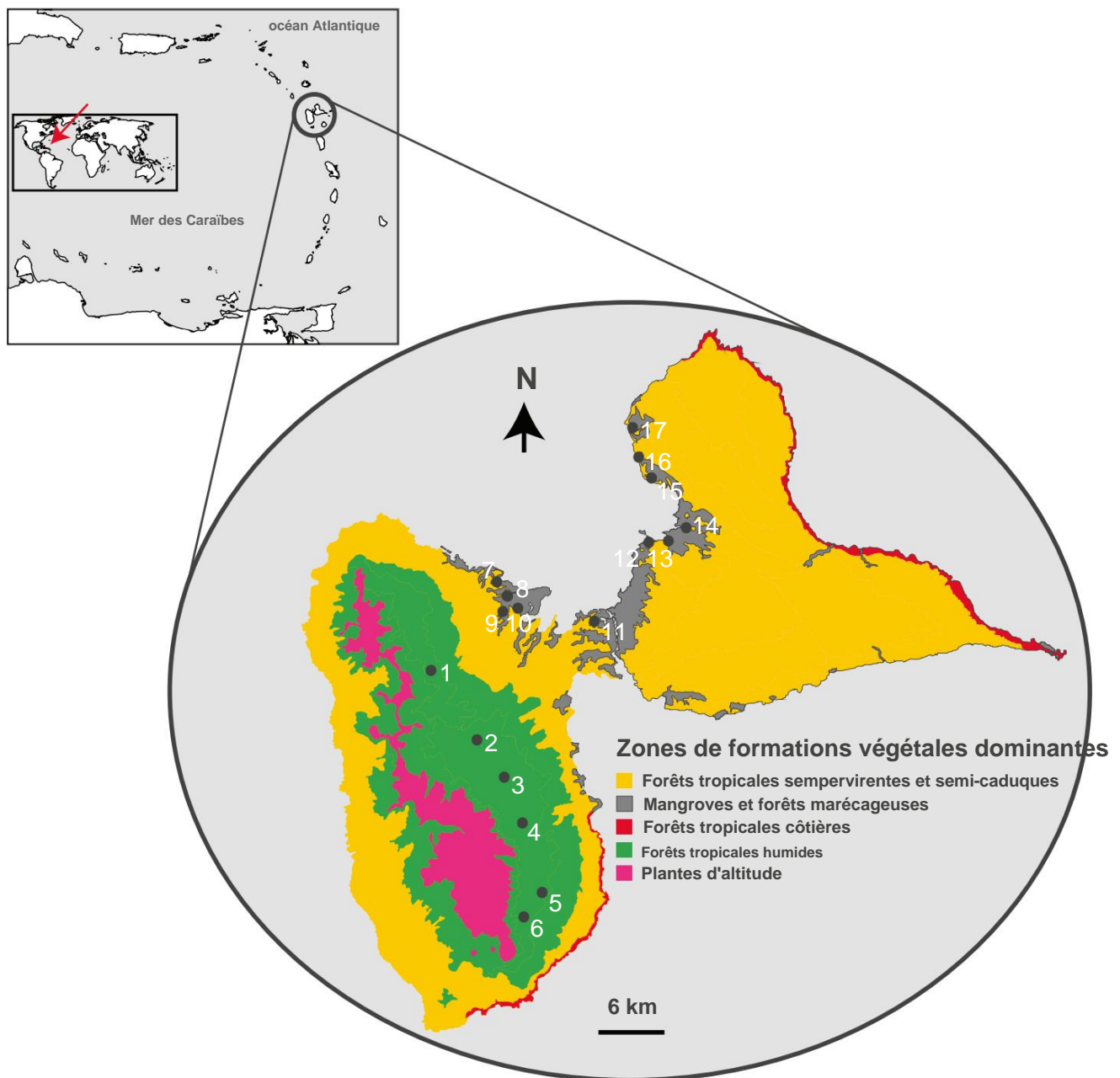
Guadeloupe pour étudier les deux espèces entre avril et mai 2016 (Fig. 1), chacune comprenant 10 stations de comptage, régulièrement séparées de 300. Une telle distance réduit le risque d'autocorrélation spatiale entre les points de prélèvement (Thomas et al. 2010). Les observations des transects ont été répliquées deux fois (R1y: 11 au 27 avril 2016 et R2y: 28 avril au 18 mai 2016) le matin, en commençant au lever du soleil, et deux fois en soirée, se terminant juste au coucher du soleil, les deux périodes correspondant à le moment où les espèces de columbidés sont généralement les plus actives (Robbins 1981a; Rivera-Milán et al. 2015). Pour chaque répétition, l'ordre des visites des transects a été indépendamment randomisé pour les enquêtes du matin et pour les enquêtes de l'après-midi. Ainsi, un transect donné n'était pas systématiquement parcouru le matin et l'après-midi d'une même journée.

À chaque station de comptage, l'observateur a toujours commencé par la méthode AV pendant une période de 5 min, suivie d'une période pendant laquelle les cris des deux espèces ont été diffusés l'un après l'autre, pendant une durée de 5 min chacun, et pendant quels indices de présence d'individus ont été enregistrés. Au cours de la méthode CB, l'ordre de présentation des cris des deux espèces était systématiquement inversé entre chaque station de comptage et réplication. À chaque station de comptage, et pour chaque méthode de détection, tous les individus vus et entendus ont été enregistrés, correspondant ici à notre estimation d'abondance relative. Pour chaque espèce, le même enregistrement de 38 s a été diffusé deux fois pour chaque session de la méthode CB, au début et une fois après 150 s. Les appels ont été reçus des "Oiseaux des Antilles"

(CEBA/Fremaux et Associés), modifiés et nettoyés (c'est-à-dire en supprimant le bruit de fond) à l'aide du logiciel gratuit Audacity. Les appels étaient diffusés dans quatre grandes directions (N, E, S, O) via une enceinte nomade connectée Bluetooth (4 W, Philips BT2600) et un smartphone au volume maximum sans bruits de distorsion. Nous n'avons pas effectué d'enquêtes par temps de fortes pluies afin de réduire les biais dus à la propagation altérée des cris (du haut-parleur aux oiseaux et des oiseaux à l'observateur) ou à l'activité réduite des individus (Robbins 1981b ; Buckland et al. 2005 ; Overton et al. 2005).

Nous avons également enregistré les conditions météorologiques globales prévalant lors de chaque relevé de transect, selon quatre catégories, du meilleur au pire : « ensoleillé », « nuageux », « couvert » ou « pluies éparses ».

Sur la base des résultats obtenus en 2016 (voir ci-dessous) et afin d'augmenter le taux de détection et donc la puissance statistique, il a été décidé de mener une enquête plus intensive en 2017, en se concentrant exclusivement sur les transects où les WCPI étaient susceptibles d'être détectés. À cette fin, nous avons ajouté à la conception de l'enquête cinq nouveaux transects et avons décidé de supprimer deux transects étudiés en 2016, où aucun pigeon n'avait été détecté (transects 14 et 16, comme représentés sur la Fig. 1 et le Tableau S2 des matériaux supplémentaires). Le protocole d'enquête s'est déroulé de la même manière que l'année précédente, sauf que seul l'appel du WCPI a été diffusé. De plus, trois répétitions ont été effectuées plus tard dans la saison,



**Fig. 1** Carte de la Guadeloupe, simplifiée d'après Rousteau (1996), indiquant les principaux types de végétation et la localisation des transects représentés par des points. Les emplacements GPS sont indiqués dans le tableau S2. La flèche rouge représente l'emplacement de la région des Caraïbes sur une carte du monde

le matin et en fin d'après-midi, au lieu de deux en 2016 (R1y: 1 au 17 mai, R2y: 22 mai au 24 juin et R3y: 27 juin au 11 juillet). Comme en 2016, les circonstances de détection (tableau 1) ont été enregistrées pour tous les individus détectés, à l'exception du « scanning fight » qui n'a été enregistré pour le WCPi qu'au cours des deuxième et troisième répétitions en 2017.

Concernant les SNPis, les combats de balayage et les « perching » n'ont pas été enregistrés car il était difficile de détecter de tels comportements en réponse à l'appel diffusé, car tous les individus ont été détectés dans la forêt tropicale humide fermée et dense, contrairement à

WCPis. Les circonstances de détection ont été déterminées à partir du premier signal permettant à l'observateur de détecter l'oiseau.

### Caractérisation de l'habitat

Après avoir cartographié toutes les stations de comptage à l'aide de Google Earth, nous avons tracé un cercle d'environ 125 m de rayon (précision des mesures (moyenne  $\pm$  ET) 125,45 m  $\pm$  0,28) à partir du centre de chaque station de comptage. Nous avons choisi cette distance en fonction de notre méthodologie d'enquête (voir ci-dessus) en supposant que

**Tableau 1** Détails et explications des circonstances de détection enregistrées lors des enquêtes

Circonstances de niveau de détection 1	Circonstances de niveau de détection 2	Explications	Enregistré pour	
			SNPi (2016)	WCPI (2017)
Vu	Vu	L'oiseau était déjà perché près du poste de comptage	Non*	Oui
	Vol	a été vu en train de voler à côté ou à distance du poste de comptage	Oui	Oui
	Se percher	L'oiseau est venu se percher près du poste de comptage L'oiseau a été	Non*	Oui
Entendu	Entendu	déteçté par ses cris • L'oiseau a dévié de sa ligne droite de combat pour	Oui	Oui
Bataille de numérisation		approchez-vous du poste de comptage pour vous percher ou non	Non *	Oui
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Soit, il a quitté son perchoir pendant le comptage pour survoler le poste de comptage pour se percher non loin</li> <li>• Soit, il s'est décroché de son perchoir en se battant au-dessus du poste de comptage avant de s'éloigner de l'observateur.</li> </ul>		

\*La circonstance de détection a été enregistrée lors de l'enquête, mais aucun pigeon n'a été détecté de cette manière

une distance de 300 m entre les stations de comptage réduit significativement le risque d'autocorrélation spatiale et celui de double comptage entre les stations de comptage successives par l'observateur (Thomas et al. 2010). De plus, nous avons estimé la propagation sonore de l'appel diffusé en utilisant à la fois un sonomètre (mesure de l'intensité sonore à 25 m) et la capacité auditive de l'observateur (détection de diffusion à distance maximale). L'intensité des émissions de chants d'oiseaux diffusées par le haut-parleur a été normalisée à un niveau/volume d'environ 60 dB, mesuré à 25 m de distance de la source. Cette intensité sonore nous a permis de distinguer les cris d'oiseaux du bruit de fond à une distance comprise entre 100 et 150 m, selon le type de végétation entourant le haut-parleur et le niveau de bruit de fond dans l'environnement. Des études antérieures basées sur la capacité auditive des pigeons domestiques (par exemple, Schwartzkopf 1955; Kreithen et Quine 1979; Hefner et al. 2013) suggèrent que les columbidés ont une distance auditive plus courte que les humains. Des cercles de détermination de la végétation ont été importés dans le *Géoportail* (Plateforme Internet de l'Information Géographique Nationale ; Institut National de l'Information Géographique et Forestière — IGN, 2006), afin de caractériser la végétation à partir de photographies aériennes (2013). Nous avons cartographié la végétation entourant chaque station de comptage selon les grands types de végétation présents en Guadeloupe (Fig. 1) : forêt tropicale humide, mangrove, forêt marécageuse, forêt sèche (c'est-à-dire forêt tropicale sempervirente et semi-décidue) et autres (c'est-à-dire toutes les structures non forestières telles que les terres agricoles, les prairies humides, la mer ou les habitations ; Matériaux complémentaires Tableaux S1 et S2). L'identification des types de végétation a été réalisée à partir des différentes textures et couleurs vertes des photographies aériennes (voir un exemple dans les matériaux supplémentaires Fig. S5). Les types de végétation ont ensuite été confirmés par des observations directes sur le terrain.

Nous avons ensuite estimé pour chaque cercle autour de chaque station de comptage la surface absolue et relative couverte par chaque type de végétation à l'aide de l'outil surface du *Géoportail* Plate-forme.

### L'analyse des données

Tous les calculs, modèles et tests statistiques ont été effectués à l'aide du logiciel R 3.6.2 (R Core Team 2019). Pour les statistiques d'inférence, le seuil de signification a été fixé à 0,05. En 2016, notre puissance statistique était trop faible pour le WCPI (voir Documents complémentaires Tableau S4). Par conséquent, les analyses sur SNPi étaient basées sur des données collectées en 2016, tandis que les analyses sur WCPI reposaient sur des données collectées en 2017. Nous avons évalué la reproductibilité de nos données à partir des tests de corrélation de Spearman par paires pour chaque espèce et chaque méthode de détection. Nous avons ajusté les valeurs de  $p$  pour les tests répétitifs en utilisant la correction de Benjamini-Yuketieli (Benjamini et Yekutieli 2001). Les intervalles de confiance (IC) pour les tailles d'effet ont été déterminés à l'aide de 10 000 bootstraps.

**Pigeon à couronne blanche** Nous avons calculé la diversité de l'habitat ( $H_d$ ) à l'aide de l'indice de Shannon pour chaque station de comptage:

$$H_d = \frac{1}{\sum p_i \times \log_2(p_i)}$$

où  $p_i$  est la proportion d'habitats. Nous nous sommes appuyés sur une régression en composantes principales afin de gérer la colinéarité entre les variables décrivant les habitats (proportions de chaque type d'habitat à la station de comptage et  $H_d$ ; matériaux supplémentaires Tableau S1), en utilisant le package R *FactoMineR* 2.2 (Husson et al. 2020) pour réduire la variation dans les habitats à deux composantes principales (PC1 et PC2).

Nous avons utilisé des modèles mixtes linéaires généralisés (GLMM ; Bolker et al. 2009 ; Stroup 2012) afin de comparer les méthodes de détection en utilisant à la fois des données d'abondance relative et de présence/absence. Nous avons considéré PC1 et PC2, les conditions météorologiques (y compris ensoleillé/nuageux vs. couvert/pluies éparses) et l'heure de la journée (codée comme matin vs. après-midi) comme des variables explicatives interagissant avec les méthodes de détection afin d'évaluer leur influence sur l'efficacité de la BC

méthode. Nous nous sommes ensuite appuyés sur deux autres GLMM utilisant les données obtenues par la méthode CB afin d'évaluer dans quelle mesure PC1, PC2, les conditions météorologiques et l'heure de la journée

pourrait expliquer les changements dans la présence/l'absence ou l'abondance des WCPI. Nous avons également considéré PC1 et PC2 interagissant avec d'autres variables. Nous nous sommes appuyés sur des modèles à effets aléatoires, tels que les GLMM, pour éviter la pseudo-réplication (Harrison et al. 2018) car notre schéma d'échantillonnage consistait en trois répliques temporelles. Pour tous les modèles, nous avons ensuite considéré les répliques imbriquées dans l'ID de la station comme des paramètres d'effet aléatoire. Les GLMM ont été équipés d'une distribution de Poisson (lien logarithmique) pour les données d'abondance relative estimées et d'une distribution

(lien logit) pour les données de présence/absence. Nous avons exécuté des modèles à l'aide du package R *glmmTMB* 1.0.0 (Brooks et al. 2017). Étant donné que notre ensemble de données basé sur l'abondance relative comprenait de nombreux zéros, nous avons testé nos GLMM pour une inflation nulle par rapport à une distribution de Poisson (Zuur et al. 2010; Bolker 2020) en utilisant le package R DHARMA 0.2.7 (Hartig 2020). Nous nous sommes appuyés sur des graphiques quantile-quantile et qualité de fit utilisant le même package R pour vérifier les hypothèses GLMM et détecter les écarts par rapport à la distribution attendue. La sélection du modèle a été effectuée à l'aide du package R MuMIn 1.6 (Barton et Barton 2019) et sur la base des critères d'information ajustés d'Akaike (AICc, Burnham et Anderson 2002; Arnold 2010). Nous avons considéré des modèles ayant  $\Delta AICc \leq 2$  comme équivalents pour expliquer les variations de présence ou d'abondance relative de l'espèce (Burnham et Anderson 2002; Arnold 2010).

Afin d'évaluer l'importance des paramètres du modèle, nous nous sommes appuyés sur la moyenne du modèle complet pour estimer les coefficients ( $\beta_i$ ) des paramètres du modèle et leurs intervalles de confiance à 85% (IC à 85%) (Burnham et Anderson 2002; Arnold 2010), comptés comme effet taille (Galipaud et al. 2017). Les paramètres du modèle qui ne chevauchaient pas zéro étaient considérés comme significatifs. Parmi les modèles les mieux classés (c'est-à-dire ayant  $\Delta AICc \leq 2$ ), nous avons sélectionné le modèle incluant les paramètres significatifs selon la procédure de moyennage du modèle complet (Arnold 2010). Nous nous sommes également appuyés sur la variable absolue moyennée par le modèle des statistiques  $t$ , qui consiste à diviser le coefficient estimé absolu du paramètre du modèle ( $\beta_i$ ) par leur écart-type, de manière à estimer l'importance relative de chaque paramètre du modèle (Cade 2015; Galipaud et al. 2017). Nous avons également utilisé le package R MuMIn 1.6 pour calculer le R2 marginal

( $R^2_m$ ) et les valeurs R2 conditionnelles ( $R^2_c$ ) des modèles sélectionnés, basées sur la méthode delta, pour voir dans quelle mesure les paramètres d'effets fixes et les effets fixes combinés aux paramètres d'effets aléatoires des modèles expliquaient la variation de la réponse, respectivement (Nakagawa et Schielzeth 2013; Nakagawa et al.

2017). Sur la base des données de présence/absence, nous avons également effectué un test de changement de McNemar afin d'évaluer la capacité de la méthode CB à détecter les pigeons lorsque la méthode AV ne le faisait pas. Afin d'évaluer l'influence de la diffusion d'appels sur le comportement des WCPI, nous avons évalué dans quelle mesure les circonstances de détection des individus (circonstances des niveaux de détection 1 et 2; tableau 1) étaient dépendantes de la méthode de détection utilisée, à l'aide d'un Test exact de Fisher et rapport de cotes associé.

**Pigeon à nuque écaillée** La stratégie d'enquête utilisée en 2016 impliquait de diffuser le chant des deux espèces à chaque station de comptage. Par conséquent, nous avons évalué si l'ordre de diffusion des appels avait un impact sur notre capacité à détecter les SNPIs. À cette fin, nous avons calculé le coefficient de corrélation bisérielle du rang des paires appariées,  $r_c$  (King et al. 2018), en utilisant le package R *rcompanion* 2.3.25 avec la méthode zéro « aucune », qui prend en compte les paires nulles (Mangiafico 2020). Taille de l'effet calculée en fonction de l'abondance relative estimée lorsque

le CB intraspécifique a été joué en premier contre l'inverse a été comparé sur la base d'un IC à 95% (Cumming et Finch 2005).

La même procédure a été effectuée pour les données de présence/absence en utilisant le *g de Cohen (Cg)* comme taille d'effet (Cohen 1988).

Les résultats visant à comparer les méthodes de détection ont été obtenus en utilisant les mêmes procédures utilisées pour le WCPI.

Cependant, nous n'avons inclus aucune variable d'habitat dans les GLMM car l'espèce n'a été trouvée que dans les forêts tropicales humides, de sorte que seules les conditions météorologiques et l'heure de la journée interagissant avec la méthode de détection ont été prises en compte.

Par ailleurs, nous avons évalué dans quelle mesure ces variables pouvaient expliquer les changements d'abondance ou la présence/absence de SNPI entre les stations de comptage. Afin d'évaluer l'influence de la diffusion d'appels sur le comportement des SNPI, nous avons évalué dans quelle mesure les circonstances de détection des individus (circonstances de niveau de détection 1; tableau 1) étaient dépendantes de la méthode de détection utilisée, à l'aide d'un test de Fisher exact.

**Comparaison entre les espèces** Nous avons effectué des comparaisons interspécifiques afin de voir si l'efficacité de la diffusion d'appels différait entre les espèces et entre la diffusion d'appels interspécifique et intraspécifique, en nous appuyant sur les tailles d'effet  $r_w$  et  $C_g$  et leur IC à 95%. Afin d'évaluer l'attraction interspécifique pour les cris, nous nous sommes appuyés sur les données obtenues en 2016 pour le WCPI, malgré une faible puissance statistique résultant d'une faible abondance. Nous avons également comparé les circonstances du niveau de détection 1 (vu vs. entendu; tableau 1) entre les deux espèces à l'aide d'un test exact de Fisher et du rapport de cotes associé.

La ségrégation de l'habitat entre les deux espèces a été directement estimée à partir de l'inspection visuelle des barplots, car le schéma observé était évident.

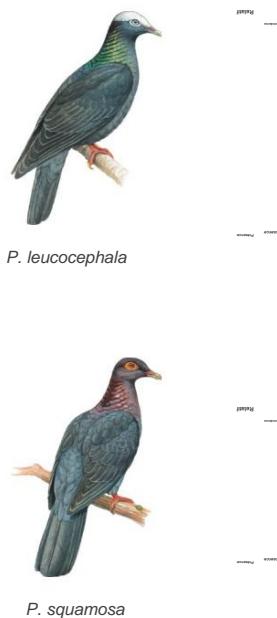
## Résultats

Nous avons trouvé des corrélations significatives et positives entre les répliques au sein de chaque espèce et chaque méthode de détection ( $P < 0,05$  pour toutes les corrélations, voir les matériaux supplémentaires Tableau S3 pour les résultats détaillés), indiquant que l'abondance relative à chaque station de comptage était, en moyenne, reproductible sur nos répliques. Pour les deux espèces, la puissance statistique et le nombre de comptages par méthode de répétition et de détection sont présentés dans le tableau S4 des matériaux supplémentaires.

Dans l'ensemble, nous avons détecté plus d'individus lors de l'utilisation de la méthode CB que lors de l'utilisation de la méthode AV pour les deux espèces, avec 134 contre 59 WCPis et 118 contre 67 SNPis, respectivement. Pour les deux espèces, les taux de rencontre (nombre de détections/min  $\pm$  ET) étaient relativement faibles, mais significativement plus élevés pour le SNPi pour chaque méthode de détection. Nous avons détecté  $0,054 \pm 0,130$  SNPis par min contre  $0,022 \pm 0,087$  WCPis par min en utilisant la méthode AV (test de Wilcoxon,  $W=72\ 033\dot{y}$ ;  $P<0,001$ ) et  $0,098 \pm 0,165$  contre  $0,050 \pm 0,155$  en utilisant la méthode CB, respectivement ( $W=77\dot{y}842\dot{y}$ ;  $P<0,001$ ). La proportion d'oiseaux entendus ou vus différait significativement entre les deux espèces (*P. squamosa* : entendu=155, vu=30 ; *P. leucocephala* : entendu=91, vu=102 ; test exact de Fisher,  $P<0,001$ ). De plus, l'efficacité de la méthode CB intraspécifique ne différait pas entre les deux espèces lors de l'évaluation de leur présence/absence, alors qu'elle était plus efficace pour le SNPi lors de l'examen de l'abondance relative (Fig. 2).

Le schéma de végétation aux stations ponctuelles où les SNPis ont été observés différait nettement de celui des stations ponctuelles où les WCPis ont été observés (Fig. 3). Les SNPis n'ont été détectés qu'aux stations de comptage dominées par les forêts tropicales humides, situées dans l'île de Basse-Terre de l'archipel guadeloupéen, alors que le WCPi a été trouvé dans la Grande-Terre et la Basse L'île de Terre, aux stations de comptage caractérisées par des types de végétation plus diversifiés, y compris la mangrove, les forêts marécageuses, les forêts sèches et l'habitat non forestier.

**Fig. 2** Valeurs de taille d'effet basées sur l'abondance relative ( $r_c$  en gris) et présence/absence ( $C_g$  en noir) pour le WCPi et le SNPi. Les barres d'erreur indiquent l'IC à 95 %. Les valeurs négatives significatives correspondent à AV<CB



La régression en composantes principales a réduit la variation de la couverture végétale à deux composantes principales, PC1 et PC2, expliquant respectivement 43,11 % et 33,2 % de la variation totale (Tableau 2 et Matériel supplémentaire Fig. S1).

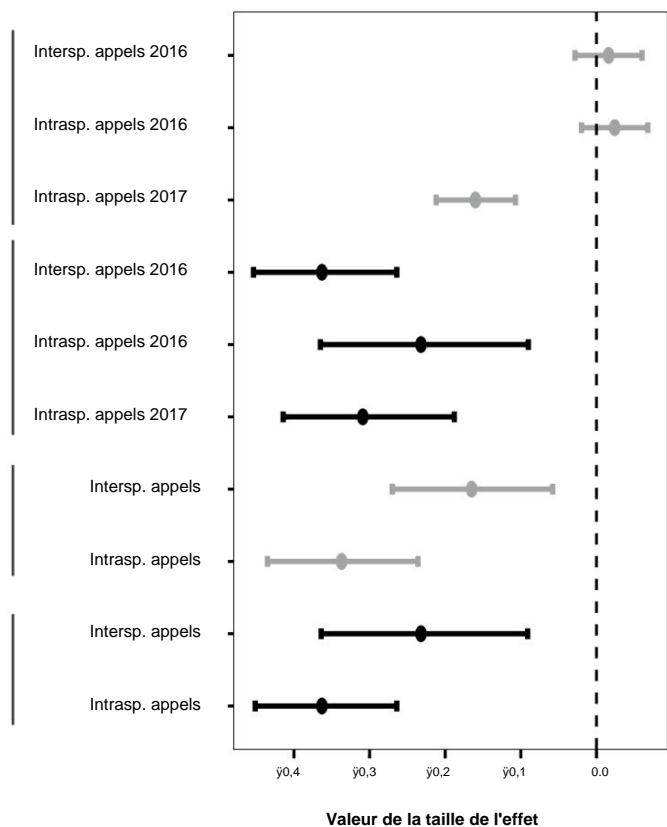
Des valeurs plus élevées de PC1 représentaient des stations de comptage dominées par la forêt sèche avec de grandes valeurs de Hd, tandis que des valeurs plus faibles définissent des stations de comptage dominées par une structure de végétation non forestière. Pour PC2, les valeurs les plus élevées représentaient les stations de comptage dominées par la forêt marécageuse, tandis que les valeurs inférieures correspondaient à celles dominées par la mangrove.

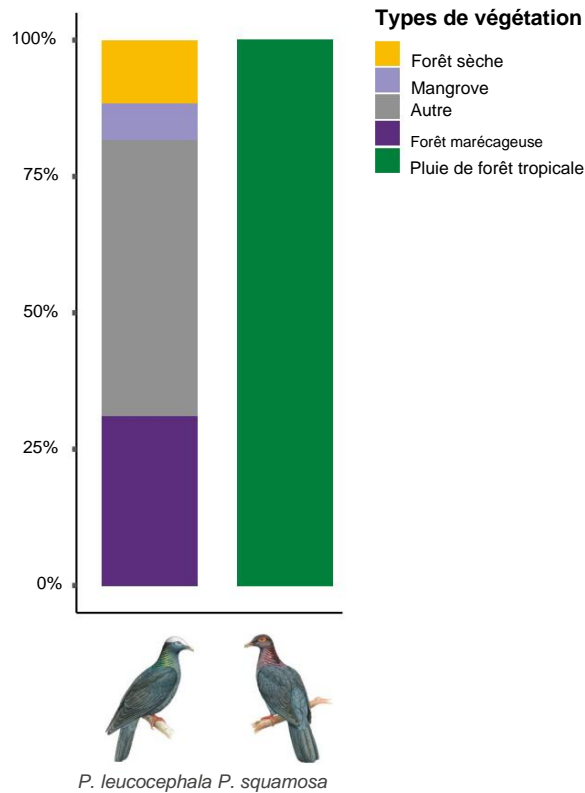
Pour tous les GLMM, nous avons inclus des paramètres d'effets aléatoires (c. mauvais R2

$m$  pour les deux espèces, contrairement à  $R2_c$  (c'est-à-dire  $R2_m < R2_c$ ; Matériaux supplémentaires Tableau S5 et S7). Les graphiques quantile-quantile et les tests de qualité de fit n'ont montré aucun signe de problème avec fit (Matériel supplémentaire Figs. S2, S3 et S4).

### Pigeon à couronne blanche

La méthode CB a amélioré de manière significative la détection des WCPis par rapport à la méthode AV (test de changement de McNemar,  $X^2=17$ ,  $df=1$ ,  $P<0,001$ ). Nous avons comparé 17 modèles de régression logistique pour comparer l'efficacité de la méthode de détection et la





**Fig. 3** Schémas généraux de la végétation aux stations de comptage où SNPis et WCPis ont été détectés en Guadeloupe lors de l'enquête

influence de plusieurs variables sur la détection de la présence de l'espèce (Tableau 3 (A)). Le modèle le mieux classé comprenait la méthode de détection et son interaction avec PC2, la première variable ayant la plus grande influence sur la détection des WCPis. Comme prévu, la méthode CB était positivement associée à la présence de l'espèce ( $\hat{\gamma}_{BC}$  [IC à 85%] = 1,284 [0,678; 1,890]; Tableau 4 (A)). En outre, la probabilité de détection estimée était significativement plus élevée lors de l'utilisation de la méthode CB que lors de l'utilisation de la méthode AV (AV [IC 85%] = 0,010 [0,004; 0,021], CB [IC 85%] = 0,028 [0,014; 0,054]; figure 4A).

**Tableau 2** Charges factorielles des quatre habitats sur les composantes 1 (PC 1) et 2 (PC 2). Les valeurs en gras font référence à des valeurs de chargement supérieures à |0,50| pour chaque composante principale. Voir Matériel supplémentaire Fig. S1 pour les parcelles PCA

Habitats	PC 1	PC 2
Autre	<b>0,938</b>	0,123
Mangrove	0,491	<b>0,665</b>
Forêt marécageuse	0,231	<b>0,905</b>
Forêt sèche	<b>0,666</b>	0,013
---	<b>0,888</b>	0,035
Valeurs propres	2.406	1.333
Écart cumulé %	43.107	74.770

La présence de pigeons était également positivement associée, mais dans une moindre mesure, à l'interaction entre la méthode de détection et PC2 ( $\hat{\gamma}_{AV:PC2}$  [IC 85%]=0,445 [0,246 ; 0,776]

$\hat{\gamma}_{CB:PC2}$  [IC 85%]=0,267 [0,049 ; 0,564]; Tableau 4 (A)). et  $\hat{\gamma}_{BC}$  Quelle que soit la méthode utilisée, la probabilité de détection avait tendance à être plus élevée dans les stations de comptage dominées par la forêt marécageuse par rapport à celles dominées par la mangrove, où elle tombait à environ zéro (Matériel supplémentaire Fig. S6).

De même, lors de la comparaison des 17 modèles basés sur l'abondance relative, la méthode de détection a été incluse dans les trois modèles les mieux classés (tableau 3 (A)). La procédure de moyennage du modèle complet a retenu le modèle incluant la méthode de détection, l'interaction entre la méthode de détection et PC2 et l'interaction entre la méthode de détection et les conditions météorologiques (tableau 4 (A)). Comme prévu, l'utilisation de la méthode CB était positivement associée à l'abondance relative ( $\hat{\gamma}_{BC}$  [IC 85%]=0,862 [0,506 ; 1,218]; Tableau 4 (A)), avec une abondance relative prédite moyenne plus élevée lors de l'utilisation de la méthode CB par rapport à la méthode AV (AV [IC à 85%] = 0,018 [0,010; 0,033]; CB [IC à 85%] = 0,040 [0,023; 0,071]; figure 4B). L'interaction entre la méthode de détection et PC2 était également positivement liée à l'abondance relative prédite ( $\hat{\gamma}_{AV:PC2}$  [IC 85%]=0,243 [0,141 ; 0,561] et  $\hat{\gamma}_{CB:PC2}$  [IC 85%] = 0,222 [0,120 ; 0,522]; Tableau 4 (A)), suggestion  $\hat{\gamma}_{BC}$  gestant pour être plus élevé aux stations de comptage dominées par les forêts marécageuses et tombant à presque zéro dans les habitats dominés par la mangrove, quelle que soit la méthode de détection considérée (Matériel supplémentaire Fig. S6). Les conditions météorologiques ont également eu une influence sur notre capacité à détecter l'espèce à l'aide de la méthode CB, avec une abondance relative plus élevée les jours ensoleillés que les jours couverts (Fig. 5A).

Globalement, la proportion de pigeons vus ou entendus est indépendante de la méthode de détection utilisée (test de Fisher,  $P=0,100$ , odds ratio [IC 95%]=1,603 [0,309 ; 1,166]; Fig. 6A). Cependant, la proportion de WCPis détectés selon les «circonstances de niveau de détection» (voir tableau 1) variait avec la méthode de détection (test de Fisher,  $P = 0,020$ ; matériel supplémentaire Fig. S7). En outre, des combats de numérisation n'ont été observés qu'avec la méthode CB (test de Fisher,  $P < 0,001$ ; Matériel supplémentaire Fig. S7). Enfin, il n'y avait pas de différence significative en termes de réponse entre les appels interspécifiques (c'est-à-dire SNPi) et intraspécifiques lors de la comparaison des données de comptage en 2016 ( $r_c$ ) et lors de la comparaison de la présence/ données d'absence ( $C_g$ ) en 2016 et 2017 (Fig. 2).

En comparant les 47 modèles consistant à évaluer la variation de l'abondance ou de la présence relative de WCPis, obtenus avec la méthode CB, en relation avec les conditions environnementales aux stations et aux séances de comptage, les modèles les mieux classés comprenaient PC1, PC2, les conditions météorologiques et l'heure de la journée. (Tableau 5A). Cependant, seul PC2 était significatif et positivement associé à la fois à la présence et à l'abondance relative de l'espèce, selon la procédure de moyenne du modèle complet ( $\hat{\gamma}_{PC2}$  [IC 85%]=0,188 [0,040 ; 0,525] et



**Tableau 3** Résultats de la

sélection du modèle pour comparer les méthodes de détection, pour (A) le WCPi et (B) le SNPI. Aucun paramètre d'habitat n'est utilisé pour *P. squamosa* car tous les transects se trouvent dans un habitat homogène. Seuls les modèles ayant  $\Delta AICc < 2$  sont répertoriés. D'autres modèles sont dans le tableau des matériaux supplémentaires S5

	Réponse	Des modèles	$k$	$\Delta 2 \ln L$	$\Delta AICc$	$W_i$
(UNE)	Présence	DM+DM:PC2a	6	$\bar{y}273,204$	0,000	0,436
		Plein	12	$\bar{y}271,283$	8,372	0,007
		Nul	3	$\bar{y}283,860$	15,256	-0,000
	EN DEHORS	DM+DM:PC2b	6	$\bar{y}405,638$	0,000	0,265
		DM+DM:PC2+DM:W 8		$\bar{y}404,175$	1,129	0,151
		DM	4	$\bar{y}408,613$	1,909	0,102
		Plein	12	$\bar{y}402,576$	6,090	0,013
		Nul	3	$\bar{y}423,577$	29,821	-0,000
(B)	Présence	DMc	4	$\bar{y}237,655$	0,000	0,577
		DM+DM:W	6	$\bar{y}236,415$	1,613	0,257
		Plein	8	$\bar{y}236,150$	5,213	0,043
	EN DEHORS	Nul	3	$\bar{y}248,586$	19,829	-0,000
		DM+DM $\bar{y}$ : $\bar{y}$ Todd	6	$\bar{y}342,999$	0,000	0,304
		DM+DM:W	6	$\bar{y}343,082$	0,166	0,280
		DM	4	$\bar{y}345,140$	0,189	0,277
		Plein	8	$\bar{y}341,726$	1,582	0,138
		Nul	3	$\bar{y}352,926$	13,727	-0,000

Les modèles complets étaient (A) DM+PC1:DM+PC2:DM+W:DM+Tod:DM et (B) DM+W:DM+Tod

Abondance relative  $RA$ , présence/absence  $PA$ , méthode de détection  $DM$  (AV vs. CB),  $PC1$  composant principal 1,  $PC2$  composant principal 2 (voir Tableau 2), conditions météorologiques  $W$  (ensoleillé/nuageux vs. couvert/pluies éparées),  $Tod$  heure de la journée (c'est-à-dire AM vs PM),  $\Delta 2 \ln L$  la probabilité 2log,  $k$  nombre de paramètres du modèle,  $w_i$  poids d'Akaike

<sup>a</sup>  $\Delta AICc=558,486$

<sup>b</sup>  $\Delta AICc=823,355$

<sup>c</sup>  $\Delta AICc=483,394$

<sup>d</sup>  $\Delta AICc=698,175$

$\bar{y}$   $PC2$  [IC 85%]=0,220 [0,080 ; 0,481], respectivement; Matériaux supplémentaires Tableau S8).

### Pigeon à nuque écaillée

L'ordre de présentation des appels intraspécifiques n'affecte pas la réponse au stimulus (diffusion intraspécifique diffusée en premier:  $rw$  [IC 95%]=  $\bar{y}0,203$  [ $\bar{y}0,379$  ;  $\bar{y}0,023$ ], joué deuxième :  $rw$  [IC 95%]=  $\bar{y}0,310$  [ $\bar{y}0,502$  ;  $\bar{y}0,107$ ]). Par conséquent, les analyses ultérieures ont été effectuées sans inclure l'ordre de diffusion des appels intraspécifiques lors du plan d'échantillonnage de 2016.

Comme pour le WCPi, la méthode CB a considérablement amélioré la détection des pigeons par rapport à la méthode AV (test de changement de McNemar,  $X^2=24$ ,  $df=1$ ,  $P<0,001$ ). L'influence de la méthode de détection et celle des autres variables a été évaluée plus en détail par la comparaison de cinq modèles (tableau 3 (B)). Sur la base de la présence de SNPIs aux stations de comptage, les modèles les mieux classés incluaient la méthode de détection et son interaction avec les conditions météorologiques comme paramètres du modèle. Cependant, la procédure du modèle à moyenne complète a montré que la méthode de détection était le seul paramètre significatif (tableau 4 (B)). Pour cette espèce également, la méthode CB était positivement associée à la présence de l'espèce aux stations de comptage ( $\bar{y}$  [IC 85%]=0,564 [0,304 ;

2,525]; Tableau 4 (B)). En effet, la probabilité de détection était plus élevée avec la méthode CB qu'avec la méthode AV (AV [IC 85%]=0,096 [0,061 ; 0,149] ; CB [IC 85%]=0,267 [0,193 ; 0,363] ; Fig. 4C) . En limitant l'analyse aux données obtenues par la méthode CB, les conditions météorologiques et l'heure de la journée n'ont pas permis d'expliquer les variations de la présence de l'espèce à travers et à l'intérieur des stations de comptage (tableau 5 (B) et matériel supplémentaire, tableau S8).

Sur la base de l'abondance relative, la méthode de détection était le paramètre le plus important, avec son interaction avec les conditions météorologiques et son interaction avec l'heure de la journée (tableau 3 (B)). Cependant, le paramètre de l'heure de la journée n'était pas significatif selon la procédure du modèle de moyenne complète, ce qui nous a conduit à considérer uniquement la méthode de détection et son interaction avec les conditions météorologiques. Ces deux paramètres étaient en fait positivement associés à l'[85% CI]=0,915 abondance de comptage ( $\bar{y}$   $_{VA;\bar{y}W}$  [IC 85%]=0,370 [0,108 ; 1,663]; Tableau 4 (B)). L'utilisation de la méthode CB a entraîné une abondance relative plus élevée de SNP par rapport à la méthode AV (AV [IC 85%]=0,149 [0,109; 0,203]; CB [IC 85%]=0,270 [0,203; 0,360]; Fig. 4D). L'abondance relative prédite moyenne était significativement plus élevée dans des conditions ensoleillées lors de l'utilisation de la méthode AV, alors qu'il n'y avait pas une telle différence

lors de l'utilisation de la méthode CB (Fig. 5B). De plus, l'efficacité de la méthode CB était significative quelles que soient les conditions météorologiques. Les GLMM visant à évaluer dans quelle mesure l'abondance relative pouvait être associée à des caractéristiques environnementales n'ont pas révélé de paramètres significatifs (tableau 5 (B) et matériel supplémentaire, tableau S8).

La proportion de SNPis vus ou entendus était indépendante de la méthode de détection (test de Fisher,  $P=1,000$ , rapport des cotes [IC à 95%]=1,023 [0,409; 2,456]), même lorsque le CB interspécifique était utilisé (test de Fisher,  $P=0,700$ ; figure 6B). De plus, il n'y avait aucune différence dans l'efficacité de la méthode CB entre les appels intraspécifiques et interspécifiques (c'est-à-dire les appels WCPI), en termes de données de présence. Cependant, l'utilisation de la méthode CB a entraîné une estimation significativement plus élevée de l'abondance lors de l'utilisation d'appels intraspécifiques par rapport à l'utilisation d'appels interspécifiques (Fig. 6B).

## Discussion

Les informations sur le WCPI et le SNPi sont rares, et toutes les populations étudiées jusqu'à présent sont limitées aux Florida Keys, aux Grandes-Antilles ou aux îles Vierges américaines (par exemple, Strong et al. 1994 ; Rivera-Milán 1996 ; McNair 2008 ;

**Fig. 4** Probabilité moyenne de détection et abondance relative pour A, B WCPis et C, D SNPis, respectivement, prédites à partir des GLMM sélectionnés, y compris tous les paramètres significatifs pour l'abondance relative et la présence/absence (tableau 3). Les barres d'erreur correspondent à l'IC à 85%

Rivera-Milán et al. 2014, 2016). Aucune étude n'avait jusqu'à présent été menée sur les populations situées dans la partie sud des aires de répartition de ces espèces. Aux Petites Antilles, les deux espèces sont exposées à la pression de la chasse, peu ou pas réglementée (Hay 2008). De plus, la taille ou les tendances des populations des deux espèces ne sont pas surveillées et aucune méthode normalisée n'a été élaborée jusqu'à présent à cette fin (Hay 2008; Florida Fish and Wildlife Conservation Commission 2013). La méthode CB est particulièrement intéressante pour (Fig. 6B) la capacité de détection des oiseaux lorsque la densité de population est faible et lorsqu'il s'agit d'espèces timides et secrètes (Sutherland 2006 ; Fuller et al. 2012). Bien que de nombreuses études aient souligné son efficacité pour diverses espèces d'oiseaux, comme les oiseaux aquatiques (Allen et al. 2004 ; Conway et Nadeau 2005 ; Conway et Gibbs 2005 ; Rehm et Baldassarre 2007), les perdrix (Kasprzykowski et Gojowski 2009 ; Jakob et al. 2010; Warren et al. 2018);

**Tableau 4** Estimations des coefficients moyens et l'erreur (SE) et l'importance relative des paramètres (RI) déterminés à partir de la procédure de modèle moyennée complète effectuée sur des modèles visant à comparer les méthodes de détection (tableau 3). (A) est pour le WCPI et (B) pour le SNPi. En raison du nombre de paramètres, nous avons répertorié les paramètres ayant RI > 0,30. Matériel supplémentaire Le tableau S6 les a tous présentés. En gras, les effets significatifs (IC à 95% ne chevauchant pas zéro) et voir le tableau 3 pour les abréviations

Réponses	Paramètres <i>i</i>	$\hat{y}_i$ [IC à 95%]	SE SAIS	IR	
(UNE)	<b>Intercepteur</b> <b>DM</b> <b>DM(A/V):PC2</b> <b>DM(CB):PC2</b> DM(CB):PC1 DM(A/V):PC1 DM(A/V):Tod	$\hat{y}5,035$ [ $\hat{y}6,067$ ; $\hat{y}4,004$ ] 1,284	0,716		
		[0,678 ; 1,890]	0,421	3.048	
		0,445 [0,246; 0,776]	0,243	1.836	
		0,267 [0,049; 0,564]	0,196	1.364	
		-0,145 [-1,082; 0,017] -0,093	0,309	0.468	
		[-0,951 ; 0,264]	0,268	0,349	
		0,090 [-0,175 ; 1,009]	0,256	0,349	
		<b>Intercepteur</b> <b>DM</b> <b>DM(A/V):PC2</b> <b>DM(CB):PC2</b> <b>DM(A/V):W</b> DM(CB):W DM(CB):PC1 DM(A/V):PC1 DM(CB):Tod	-4,337 [-5,111 ; -3,562] 0,862	0,538	
			[0,506 ; 1,218] 0,243 [0,141; ;	0,247	3.487
			0,561] 0,222 [0,120; 0,522]	0,203	1.198
			$\hat{y}0,171$ [ $\hat{y}0,918$ ; $\hat{y}0,013$ ]	0,188	1.176
			$\hat{y}0,087$ [ $\hat{y}0,546$ ; 0,075] -0,128	0,294	0,581
			[-0,917 ; 0,006] -0,106 [-0,867 ;	0,173	0,500
			0,111] 0,030 [-0,097 ; 0,403]	0,266	0,480
$\hat{y}0,915$ [ $\hat{y}1,496$ ; $\hat{y}0,335$ ]	0,247	0,428			
0,098	0,306				
(B)	<b>Intercepteur</b> <b>DM</b> DM(A/V):W DM(CB):W <b>Intercepteur</b> <b>DM</b> <b>DM(A/V):W</b> DM(A/V):Tod DM(CB):Tod		0,403		
		$\hat{y}0,564$ [ $\hat{y}2,525$ ; $\hat{y}0,604$ ] 0,234	0,667	2.346	
		[ $\hat{y}0,203$ ; 1,764]	0,517	0,453	
		-0,121 [-1,137; 0,328]	0,334	0,363	
		$\hat{y}1,412$ [ $\hat{y}1,805$ ; $\hat{y}1,020$ ]	0,272		
		-0,915 [-1,647 ; -0,182] 0,370	0,509	1.798	
		[0,108 ; 1,663]	0,559	0,663	
		0,165 [-0,001 ; 0,747]	0,253	0,651	
		0,104 [-0,037 ; 0,506]	0,171	0,607	

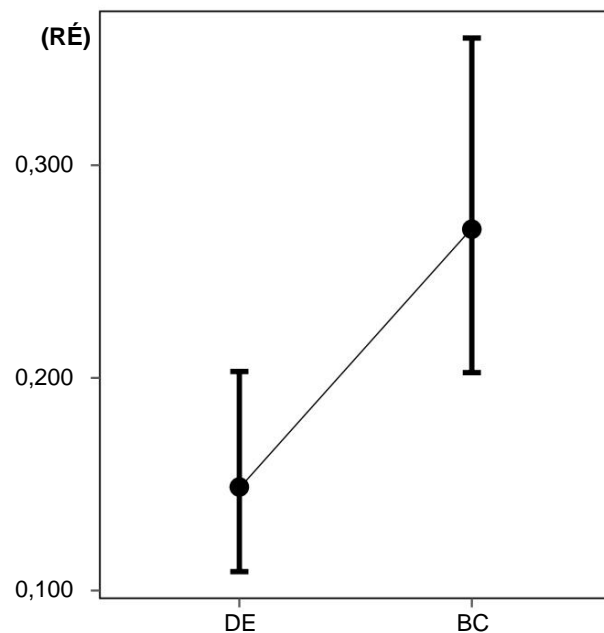
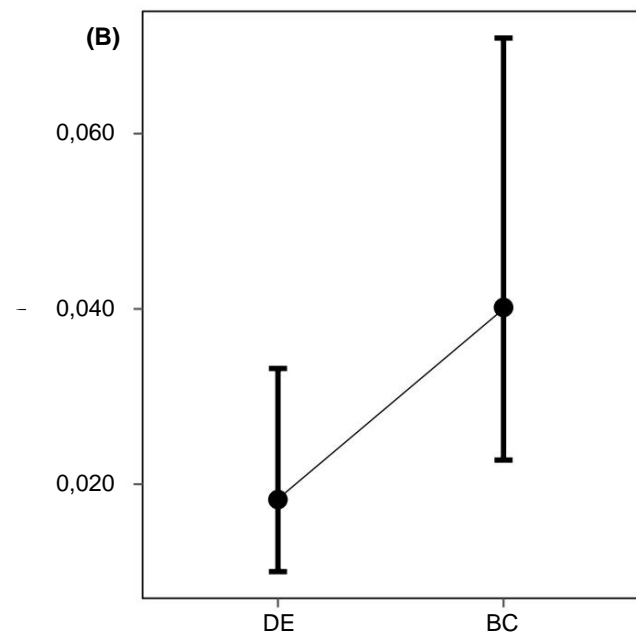
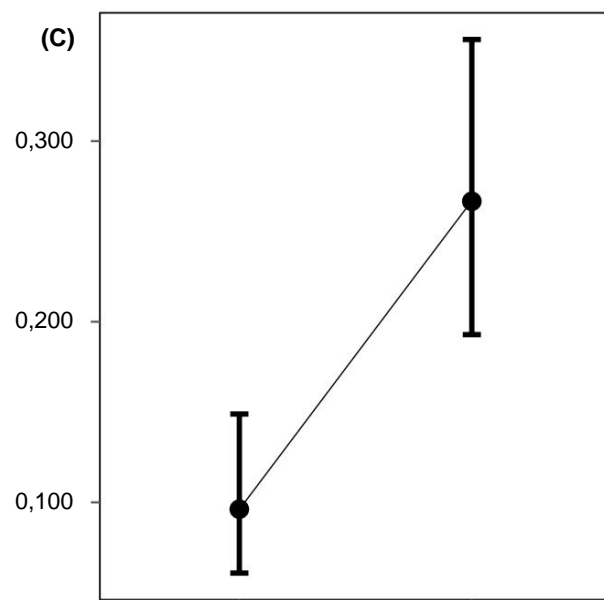
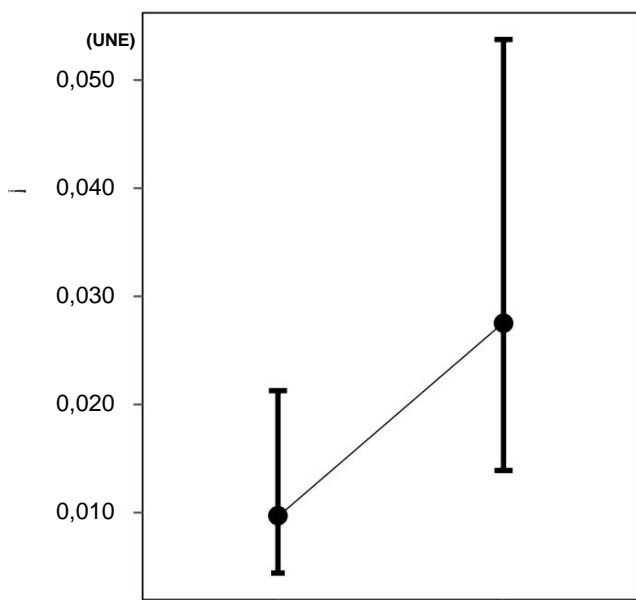
Les variables sont triées par importance relative



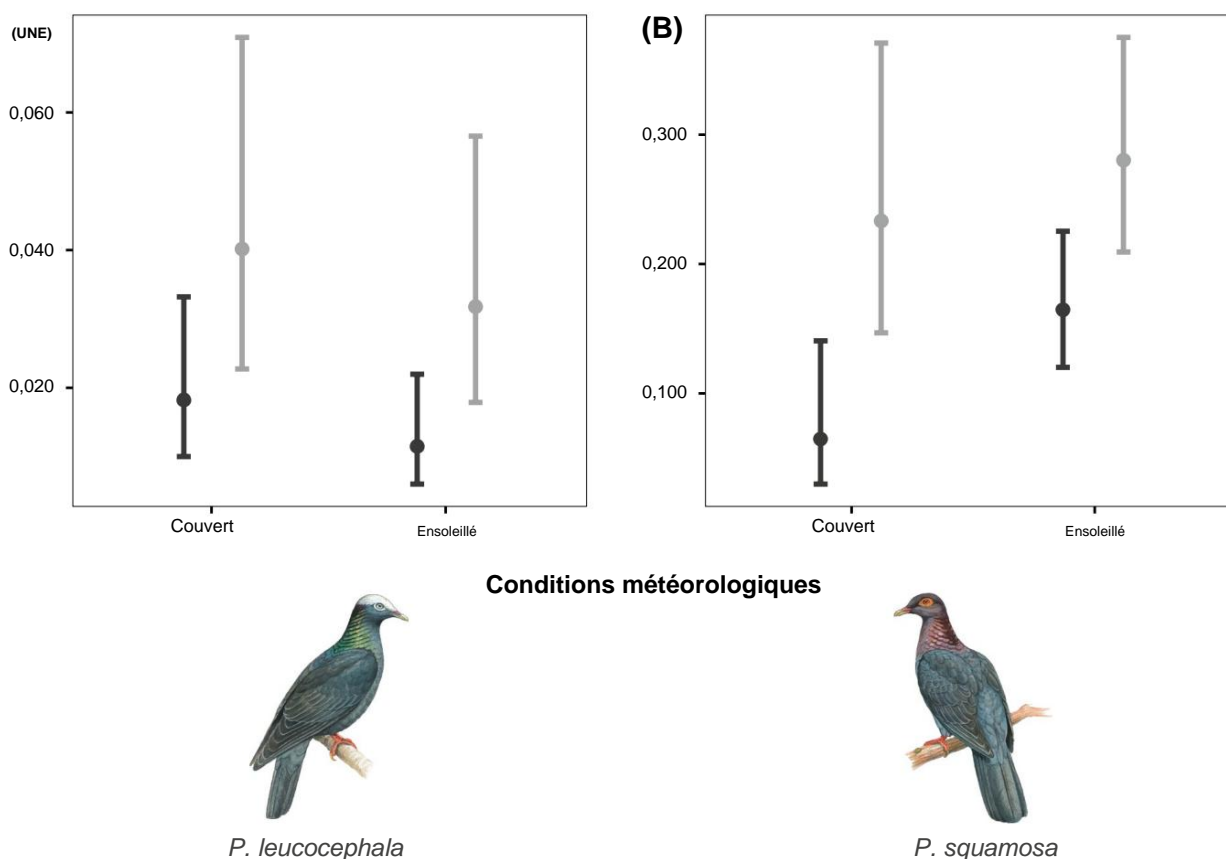
*P. leucocephala*



*P. squamosa*



Méthodes de détection



**Fig. 5** Abondance relative moyenne en relation avec les conditions météorologiques pour **A** le WCPI et **B** le SNPI, en utilisant AV (points noirs et barres d'erreur) et CB (points gris et barres d'erreur). GLMM utilisés

pour estimer les valeurs prédites incluaient tous les paramètres significatifs (tableau 3). Les barres d'erreur correspondent à l'IC à 85%

Chiante et al. 2020), les oiseaux de proie (Barnes et al. 2012 ; Clewley et al. 2016 ; van der Horst et al. 2019), les espèces de passereaux (Boscolo et al. 2006 ; McNeil et al. 2014 ; Lewis et al. 2017 ; Broughton et al. 2018) et d'autres espèces d'oiseaux forestiers (Boscolo et al. 2006 ; Frieze et al. 2012 ; Figarski 2017), une seule étude concernait à ce jour les columbidés (*P. fasciata fasciata* ; Kirkpatrick et al. 2007). La présente étude est donc la deuxième à confirmer le bénéfice de l'utilisation de

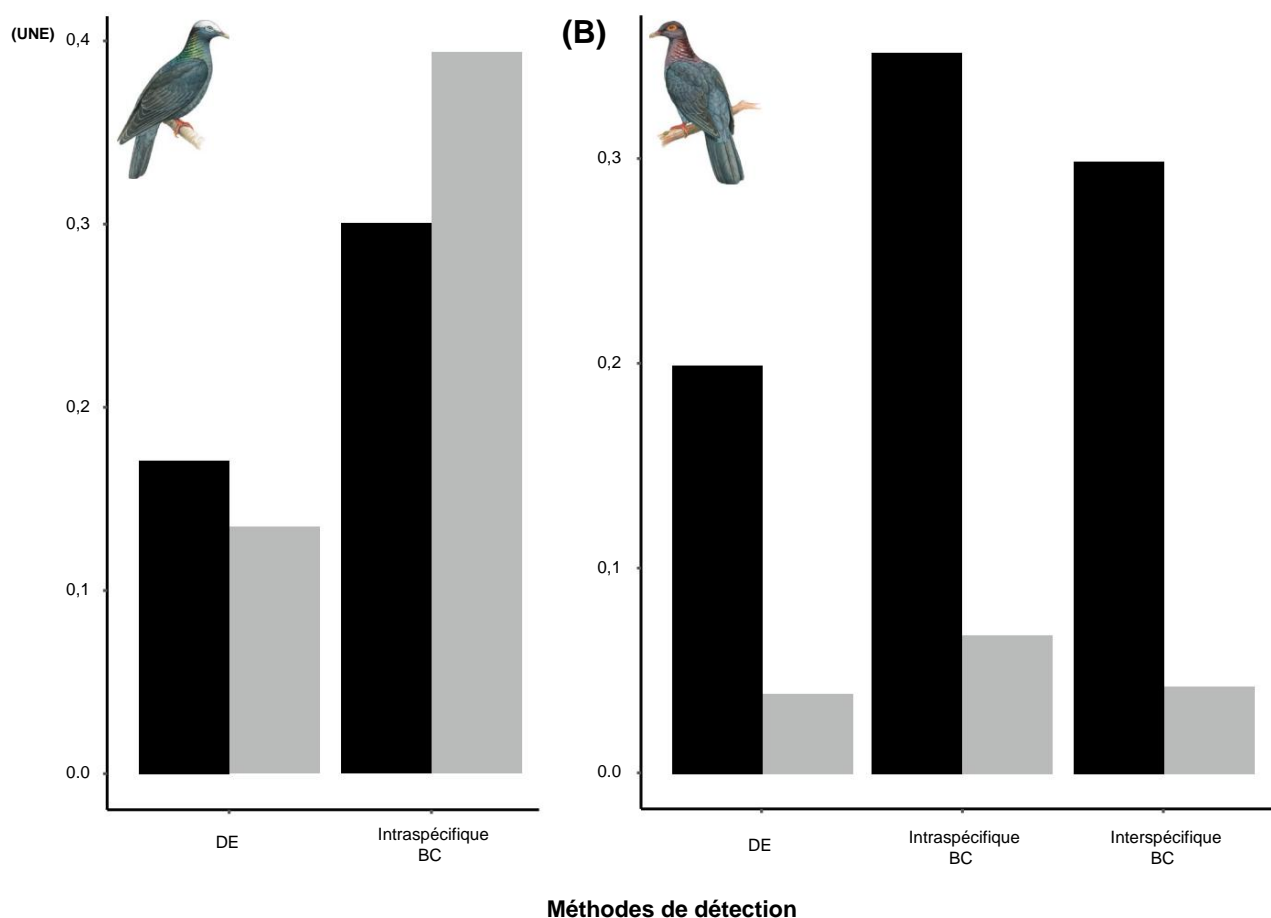
cette méthode de détection pour le suivi des *Patagioenas*

espèce. En effet, nos résultats ont montré que la méthode CB améliorait la probabilité de détection (telle que définie par Marsh et Sinclair 1989) en réduisant à la fois le problème des fausses absences et en permettant de détecter plus d'individus. Cela suggère que, pour un effort d'échantillonnage similaire, la simple utilisation de la méthode AV peut entraîner une sous-estimation de l'abondance relative et de la distribution spatiale du WCPI et du SNPI (Duren et al. 2011).

Cependant, certains indices de présence induits par la méthode CB peuvent entraîner des estimations de population biaisées. Par exemple, au cours de notre étude, certaines réponses comportementales au CB, en particulier chez les WCPI (par exemple, venir se percher ou effectuer un combat de balayage), ne se sont pas produites, ou plus rarement, lors de l'utilisation de la méthode AV (par exemple,

St. Clair et al. 1998; Bélisle et Desrochers 2002; Summers et Buckland 2011). De tels comportements induits ne sont pas compatibles avec certaines méthodes d'estimation de la taille de la population, telles que l'échantillonnage à distance qui nécessite que les individus soient détectés à leur emplacement initial (Buckland et al. 2015 ; mais voir Summers et Buckland 2011 ; Fuller et al. 2012). Ils n'ont pas été observés dans le SNPI, peut-être parce que l'espèce n'a été détectée que dans les forêts denses humides et rarement sous la canopée, où son comportement est plus difficile à observer, ce qui peut aussi expliquer pourquoi cette espèce a été plus souvent entendue que vue, contrairement au WCPI (Brewster et Simons 2009). Par conséquent, d'autres enquêtes sur les réponses comportementales aux appels diffusés par les SNPIs devraient être effectuées avant d'utiliser la méthode en conjonction avec l'échantillonnage à distance pour voir si des comportements similaires à ceux présentés par WCPI se produisent chez cette espèce.

De plus, la méthode CB peut induire des estimations biaisées selon le sexe. En effet, il est supposé induire préférentiellement des réponses chez les mâles (Sutherland 2006). En l'absence à la fois d'un dimorphisme sexuel marqué chez les deux espèces et de la connaissance du sex-ratio de la population, nous n'avons pas pu vérifier cette hypothèse sur le terrain. Cependant, il est probable que les hommes et les femmes aient réagi aux appels diffusés. En effet, il y a



**Fig. 6** Proportion relative de **A** WCPis et **B** SNPis selon que les pigeons ont été détectés par des repères visuels (barres grises) ou auditifs (barres noires), et selon la méthode de détection

des preuves que les mâles des deux espèces émettent des appels au début de la saison de reproduction pour signaler leur présence aux femelles et les attirer (Bancroft et al. 2020; Baptista et al. 2020), ce qui suggère que les femelles réagissent généralement à des appels con spécifiques. De plus, les pigeons femelles peuvent répondre au play-back si elles participent activement à la défense du territoire du couple, quel que soit le sexe des intrus, comme cela a été observé chez d'autres espèces de columbidés (Quinard et Cézilly 2012). À cet égard, le statut reproducteur peut également influencer l'efficacité de la méthode de diffusion d'appels. Les taux de réponse aux cris diffusés peuvent être liés au moment des relevés pendant la saison de reproduction (Kirkpatrick et al. 2005, 2007; Rehm et Baldassarre 2007). Pour le *P. fasciata fasciata* étroitement apparenté, Kirkpatrick et al. (2007) ont suggéré que le nombre de mâles non accouplés, qui diminuait au fil du temps pendant la saison de reproduction, pourrait être positivement corrélé à la probabilité qu'un individu émette des cris coo en réponse à des cris spécifiques dans la population.

Dans la présente étude, nous avons observé des corrélations significatives entre chaque paire de répétitions basées sur l'abondance relative des pigeons à couronne blanche et à nuque écaillée en utilisant

la méthode CB, suggérant que les pigeons ont répondu de manière égale à la diffusion d'appels au fil du temps, peut-être parce que la période d'étude a coïncidé avec la première moitié de la saison de reproduction. En effet, un engraissement WCPi a été observé dans le marais pour l'habitat le plus au cours de notre enquête lors de l'utilisation de CB. Ceci confirme les observations anecdotiques précédentes des ornithologues locaux et confirme que la reproduction de cette espèce, bien que rare, a lieu en Guadeloupe (Delcroix et al. 2016).

Pour les deux espèces, nous recommandons l'utilisation systématique de la méthode CB pour le suivi des tendances de la population à plusieurs transects de comptage ponctuel sur des années en utilisant le nombre de détections comme indice de densité de population, en particulier dans les îles où elles sont à faible densité. Les relevés pouvaient être effectués le matin, en commençant au lever du soleil, en soirée, se terminant au coucher du soleil ou les deux, puisque l'heure de la journée n'avait pas d'influence significative sur nos relevés. Le CB interspécifique avait tendance à être aussi efficace que le CB intraspécifique, en particulier en termes de détection de la présence d'espèces. Cela pourrait s'expliquer par le fait que les deux espèces ont évolué en sympatrie dans certaines îles, favorisant la reconnaissance de cris interspécifiques en contexte de compétition, d'entraide contre les prédateurs ou tout simplement parce qu'ils

**Tableau 5** Résultats de la sélection du modèle pour voir dans

	Réponse	Des modèles	$K$	$\bar{y}2\ln L$	$\bar{y}AICc$	$W_i$		
quelle mesure la présence et l'abondance relative étaient associées aux caractéristiques des stations de comptage, pour (A) les WCPis et (B) les SNPis. Les modèles sont basés sur des données recueillies lors de méthodes de diffusion d'appels intraspécifiques pour l'abondance relative (RA) et la présence/absence (PA). Seuls les modèles ayant $\bar{y}AICc < 2$ sont répertoriés. D'autres modèles sont dans le tableau des matériaux supplémentaires S7. Voir le tableau 3 pour les abréviations	(UNE)	PC2a	4	$\bar{y}176,549$	0,000	0,113		
		PC1+PC2	5	$\bar{y}175,672$	0,282	0,099		
		PC1	4	$\bar{y}176,986$	0,873	0,073		
		PC2 + W	5	$\bar{y}176,290$	1,518	0,053		
		mort+PC2	5	$\bar{y}176,356$	1,652	0,050		
		PC1 + PC2 + W	6	$\bar{y}175,411$	1,806	0,046		
		mort+pc1+pc2	6	$\bar{y}175,479$	1,941	0,043		
		Plein	11	$\bar{y}174,556$	10,439	0,001		
		Nul	3	$\bar{y}178,175$	1,221	0,062		
		(B)	EN DÉCÈS	PC2b	4	$\bar{y}272,788$	0,000	0,085
				PC2 + W	5	$\bar{y}271,856$	0,174	0,078
				PC1+PC2	5	$\bar{y}272,094$	0,649	0,061
				PC1 + PC2 + W	6	$\bar{y}271,157$	0,820	0,056
				mort+PC2	5	$\bar{y}272,414$	1,291	0,044
Tod + PC2 + W	6			$\bar{y}271,443$	1,393	0,042		
mort+pc1+pc2	6			$\bar{y}271,720$	1,948	0,032		
Plein	11			$\bar{y}269,218$	7,286	0,002		
Nul	3			$\bar{y}274,909$	2,213	0,028		
DANS	4			$\bar{y}148,821$	1,255	0,246		
(B)	EN DÉCÈS	Nul	3	$\bar{y}216,252$	0,000	0,373		
		décès	4	$\bar{y}215,420$	0,404	0,305		
		DANS	4	$\bar{y}216,012$	1,588	0,168		

Les modèles complets étaient PC1+PC2+W+Tod+PC1:Tot+PC2:Tot+PC1:W+PC2:W pour (A) et W+Tod+W:Tot pour (B)

<sup>a</sup> AICc=361.174

<sup>b</sup> AICc=533.650

<sup>c</sup> AICc=304.556

<sup>d</sup> AICc=438.606

confondent leurs cris (Møller 1992), qui sont très similaires. Par exemple, les deux espèces partagent les mêmes sites de nidification dans les îles Vierges américaines (McNair 2008). Cependant, nous recommandons de diffuser des chansons intraspécifiques pour suivre les tendances de la population. De plus, afin de documenter la variation spatiale ou temporelle de l'abondance relative, les conditions environnementales lors des événements de comptage doivent être prises en compte, en considérant les conditions météorologiques et en déterminant les modèles de végétation à chaque station de comptage entre chaque année d'enquête, en particulier lorsque la couverture végétale naturelle est soumise à des changements rapides dus aux activités humaines. Pour ce faire, il est possible de suivre la même méthodologie utilisée dans cette étude pour caractériser les modèles de végétation de chaque station de comptage, en utilisant la plate-forme Google Earth, qui met régulièrement à jour leurs photographies aériennes. La deuxième option nécessiterait plus de compétences en technique de télédétection et consisterait à utiliser ces méthodes en plus du système d'information géographique (SIG) et de la plate-forme Google Earth Engine pour définir l'occupation du sol et analyser les changements au fil des ans, comme l'expliquent Sidhu et al. (2018). Ces variables supplémentaires pourraient être importantes car notre étude a montré que l'efficacité

de la méthode CB peut être affectée par le type de végétation et les conditions météorologiques, ce qui suggère qu'un changement en termes de nombre de détections pourrait être le résultat d'une diminution de l'efficacité de la CB due à un changement de végétation dans les stations de comptage ou à des conditions météorologiques différentes au cours des relevés, mais pas d'un changement de densité de population. En effet, bien que ces effets semblaient faibles dans nos résultats, ils suggéraient une moindre efficacité de la méthode CB dans les forêts marécageuses et dans des conditions météorologiques de pluies éparses/couvertes pour Cela pourrait s'expliquer par le fait que les forêts marécageuses sont essentiellement utilisées par les pigeons comme couloir reliant les habitats de nidification (c'est-à-dire les mangroves ou les îlots de la côte) et les habitats d'alimentation (c'est-à-dire les forêts sèches humides sempervirentes et semi-décidues ; Gibbs et al. 2001 ; Bancroft et al. 2020). De plus, la propagation des appels (du haut-parleur aux oiseaux et des oiseaux à l'observateur, Schieck 1997) et l'activité des individus pourraient être réduites dans des conditions de pluie excessive/éparse (Robbins 1981b; Buckland et al. 2005; Overton et al. 2005).

Comme notre méthodologie a été initialement conçue pour comparer deux méthodes de détection, la pertinence de nos données pour la sélectivité de l'habitat et la répartition spatiale des deux espèces en Guadeloupe est limitée. Néanmoins, les deux espèces n'ont jamais été observées ensemble à une station de comptage donnée, suggérant qu'elles n'occupent pas les mêmes lieux en Guadeloupe, du moins pour la période de l'enquête. De plus, les modèles de végétation aux stations de comptage associées à chaque espèce étaient conformes à ce qui a été observé dans d'autres Caraïbes.

Îles. Le WCPi était associé aux zones côtières: les forêts côtières vivrières et les îlots de la côte dominés par les mangroves et les forêts marécageuses, qui sont généralement utilisées comme sites de reproduction, et les forêts sèches humides sempervirentes et semi-décidues de l'arrière-pays des mangroves, généralement utilisées pour l'alimentation. (Wiley et Wiley 1979; Gibbs et al. 2001; Bancroft et al. 2020). En revanche, le SNPi est plus une espèce de montagne, occupant les forêts tropicales primaires et secondaires (Gibbs et al. 2001; Baptista et al. 2020). Cependant, la présente étude n'a pas rapporté de co-occurrence locale des deux espèces dans la loupe de Guade, contrairement à d'autres endroits où elles peuvent occasionnellement être observées ensemble (Wiley et Wiley 1979; Gibbs et al. 2001; Bancroft et al. 2020).

## Incidences sur la gestion

La présente étude suggère que les deux espèces sont présentes à faible densité en Guadeloupe, par rapport à ce qui est observé dans les Grandes Antilles (Rivera-Milán et al. 2014, 2016), même si le SNPi semble être présent à plus forte densité que le WCPi. De plus, nous avons montré que la méthode CB fournit un outil facile à utiliser et standardisé pour estimer les tendances des populations dans l'aire de répartition spatiale des deux espèces, ce qui pourrait être utile à l'avenir pour le suivi de l'abondance relative des deux espèces. espèces au fil du temps, en particulier en ce qui concerne les menaces auxquelles sont confrontées les deux espèces telles que la dégradation de l'habitat, la pression de la chasse locale, le changement climatique et l'impact des prédateurs envahissants, des parasites ou des concurrents (Baptista et al. 2020; Bancroft et al. 2020). Cependant, les deux espèces sont considérées comme vagabondes, se déplaçant facilement dans leur aire de répartition (Wiley 1979; Wiley et Wiley 1979; Rivera-Milán 1992; Bancroft et al. 2000, 2020; Gibbs et al. 2001; Strong et Johnson 2001; Commission de conservation des poissons et de la faune de Floride 2013; Baptista et al. 2020). De plus, des preuves génétiques récentes suggèrent que le SNPi consiste en une seule population panmictique (Cambrone et al. 2021), alors que les informations correspondantes manquent encore pour le WCPi. Par conséquent, les fluctuations locales de l'abondance relative des deux espèces pourraient être une conséquence de processus démographiques locaux ou de mouvements irréguliers d'individus entre les îles, induits par différents facteurs, tels qu'une baisse soudaine de la disponibilité des ressources, notamment à la suite d'événements climatiques extrêmes tels que ouragans. En effet, Perdomo-Velázquez et al. (2017) ont montré que les espèces

se nourrissant de produits végétaux sont plus impactés par les ouragans que par ceux plus généralistes ou insectivores; par conséquent, SNPis et WCPis peuvent être plus enclins à se déplacer à la fois à l'intérieur et entre les îles à la suite de perturbations naturelles (Wunderle 1995; Campos-Cerqueira et Aide 2021). Par conséquent, des enquêtes plus approfondies sur les mouvements d'individus à l'intérieur et entre les îles sont importantes pour mieux déterminer les tendances de la population et identifier les facteurs influant sur la taille et les mouvements de la population. De telles investigations, combinant la génétique des populations (ex. Cambrone et al. 2021 pour le SNPis) et le suivi satellitaire des individus contribueraient également directement à déterminer les unités de gestion les plus appropriées pour les deux espèces.

Plus largement, bien que les espèces columbidés soient particulièrement menacées (Devenish-Nelson et al. 2019), notamment celles vivant en milieu insulaire (Walker 2007), ce groupe est l'un des groupes aviaires les moins étudiés en écologie et biologie de la conservation. De manière générale, les espèces de columbidés jouent cependant un rôle écologique important dans les écosystèmes insulaires grâce à leur capacité à disperser les graines sur de longues distances (Shanahan et al. 2001; Bucher et Bocco 2009). La pertinence de la méthode CB pour d'autres espèces de pigeons et de tourterelles mérite donc une plus grande attention, en particulier pour documenter les tendances des populations et l'utilisation de l'habitat chez les espèces insaisissables d'intérêt pour la conservation.

**Informations supplémentaires** La version en ligne contient du matériel supplémentaire disponible sur <https://doi.org/10.1007/s10344-021-01507-0>.

**Remerciements** Nous remercions A. Levesque et J.-S. Ramdine pour son aide sur le terrain. Nous sommes particulièrement reconnaissants à R. Pradel et J. Vaillant pour ses conseils sur les analyses statistiques. Nous remercions également l'équipe guadeloupéenne de l'Office Français de la Biodiversité pour son soutien technique.

**Contribution de l'auteur** FC, EB et CC ont conçu le projet, la conception et les expériences. CC a réalisé les expériences. CC et FC ont analysé les données. FC, EB et CC ont rédigé et édité l'article.

**Funding** This study was supported by Caribaea Initiative, the Ofce Français de la Biodiversité (OFB), the Fédération des chasseurs de Guadeloupe, the Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement of Guadeloupe (DEAL). CC was funded by a joint doc toral grant from the Conseil Régional de la Guadeloupe and Caribaea Initiative.

**Disponibilité des données** Les ensembles de données analysés au cours de la présente étude sont disponibles auprès de l'auteur correspondant sur demande raisonnable.

## Les références

- Acevedo MA, Restrepo C (2008) Changement de couverture et d'utilisation des terres et sa contribution à l'organisation à grande échelle des assemblages d'oiseaux de Porto Rico. *Plongeurs Distrib* 14:114–122
- Allen T, Finkbeiner SL, Johnson DH (2004) Comparaison des taux de détection des oiseaux nicheurs des marais dans les enquêtes passives et de lecture à Lacreek National Wildlife Refuge, Dakota du Sud. *Oiseaux d'eau* 27: 277–281

- Arnold TW (2010) Paramètres non informatifs et sélection de modèles à l'aide du critère d'information d'Akaike. *J. Wildl Manag* 74:1175–1178
- Bancroft GT, Bowman R, Sawicki RJ (2000) Les précipitations, la phénologie de la fructification et la saison de nidification des pigeons à couronne blanche dans les Florida Keys supérieures. *Auk* 117: 416–426
- Bancroft GT, Thomas G, Bowman R (2020) Pigeon à couronne blanche (*Patagioenas leucocephala*). Dans : Dans Oiseaux du monde. <https://birdsoftheworld.org/bow/species/whcpig2>. Consulté le 3 janvier 2020
- Baptista LF, Trail PW, Horblit HM et al (2020) Pigeon à nuque écaillée (*Patagioenas squamosa*). Dans : Dans Oiseaux du monde. <https://birdsoftheworld.org/bow/species/scnpg1>. Consulté le 3 janvier 2020
- Barnes JG, Jaeger JR, Thompson DB (2012) Efficacité des sondages par diffusion d'appels pour détecter les faucons pélerins territoriaux. *J Rap to Res* 46:365–377
- Barton K, Barton MK (2019) Forfait 'MuMIn'
- Bélisle M, Desrochers A (2002) Décisions de franchissement d'écart par les oiseaux forestiers : une base empirique pour le paramétrage de modèles spatialement explicites et basés sur l'individu. *Landsoc Ecol* 17:219–231
- Benjamini Y, Yekutieli D (2001) Le contrôle du taux de fausse découverte dans les tests multiples sous dépendance. *Ann Stat* 29: 1165–1188
- BirdLife International (2016a) *Patagioenas leucocephala*. Dans : Menace de la liste rouge de l'UICN. Espèce 2016
- BirdLife International (2016b) *Patagioenas squamosa*. Dans : Menace de la liste rouge de l'UICN. Espèce 2016
- BirdLife International (2020) Zone de données. <http://datazone.birdlife.org/>
- Bolker B (2020) Premiers pas avec le package glmmTMB. R Pack âge. version 10
- Bolker BM, Brooks ME, Clark CJ et al (2009) Modèles mixtes linéaires généralisés : un guide pratique pour l'écologie et l'évolution. *Tendances Ecol Evol* 24:127–135
- Boscolo D, Metzger JP, Viellard JME (2006) Efficacité de la lecture pour évaluer la présence de cinq espèces d'oiseaux dans les fragments de la forêt atlantique brésilienne. *An Acad Bras Cienc* 78: 629–644
- Brewster JP, Simons TR (2009) Test de l'importance des détections auditives dans les points d'écoute aviaires. *J Field Ornithol* 80: 178–182
- Brooks ME, Kristensen K, van Benthem KJ et al (2017) glmmTMB équilibre la vitesse et la flexibilité entre les packages pour une modélisation mixte linéaire généralisée à zéro gonflé. *RJ* 9:378–400
- Brooks TM, Mittermeier RA, Mittermeier CG et al (2002) Perte et extinction d'habitat dans les points chauds de la biodiversité. *Conserv Biol* 16:909–923
- Broughton RK, Dadam D, Maziarz M et al (2018) Une méthode d'enquête efficace pour estimer les populations de mésanges des marais *Poecile palustris*, un passereau des bois à faible densité. *Étude d'oiseaux* 65: 299–305
- Bucher EH, Bocco PJ (2009) Réévaluation de l'importance des pigeons granivores en tant que disperseurs massifs de graines sur de longues distances. *Écologie* 90: 2321–2327
- Buckland ST, Magurran AE, Green RE, Fewster RM (2005) Surveillance de l'évolution de la biodiversité au moyen d'indices composites. *Philos Trans R Soc B Biol Sci* 360: 243–254
- Buckland ST, Marsden SJ, Green RE (2008) Estimation de l'abondance des oiseaux : faire fonctionner les méthodes. *Bird Conserv Int* 18: 91–108
- Buckland ST, Rexstad EA, Marques TA, Oedekoven CS (2015) Échantillonnage à distance : méthodes et applications. Springer
- Burnham KP, Anderson DR (2002) Une théorie pratique de l'information approcher
- Cade BS (2015) Modélisation de la moyenne et inférences multimodèles confuses. *Écologie* 96: 2370–2382
- Callaghan CT, Gawlik DE (2015) Efficacité des données eBird comme aide à la planification et à la surveillance de la conservation. *J Field Ornithol* 86: 298–304
- Callaghan CT, Lyons MB, Martin JM et al (2017) Évaluation de la fiabilité des mesures de la biodiversité aviaire des espaces verts urbains à l'aide des données scientifiques citoyennes d'eBird. *Aviaire Conserv Ecol* 12
- Cambrone C, Cézilly F, Wattier R et al (2021) Niveaux de différenciation génétique et flux de gènes entre quatre populations de pigeon à nuque écaillée, *Patagioenas squamosa* : implications pour la conservation. *Haras Neotrop Fauna Environ* 1–13
- Camposy Cerqueira M, Aide TM (2021) Impacts d'une sécheresse et d'un ouragan sur la distribution des oiseaux tropicaux et des grenouilles. *Écosphère* 12:e03352
- Cattadori IM, Haydon DT, Thirgood SJ, Hudson PJ (2003) Les mesures indirectes de l'abondance sont-elles un indice utile de la densité de population ? Le cas de la récolte du lagopède des saules. *Oikos* 100: 439–446
- Chiatante G, Rosin AV, Cinerari CE et al (2020) Sélection de l'habitat et densité de la perdrix de Barbarie en Sardaigne. *Mer Méditerranée Eur J Wildl Res* 66:22
- Christensen TK (2005) Facteurs influant sur la taille du sac de l'eider à duvet *Somateria mollissima* au Danemark, 1980–2000. *Faune Biol* 11: 89–99
- Christensen TK, Fox AD (2014) Changements dans les ratios d'âge et de sexe parmi les échantillons d'ailes abattues par des chasseurs d'espèces de canards communs au Danemark 1982–2010. *Eur J Wildl Res* 60: 303–312
- Clewley GD, Norfolk DL, Leech DI, Balmer DE (2016) Essai d'enquête de lecture pour la chouette chevêche *Athene noctua* au Royaume-Uni. *Étude d'oiseaux* 63: 268–272
- Cohen J (1988) Analyse de puissance statistique pour les sciences du comportement
- Conway CJ, Gibbs JP (2005) Efficacité des sondages par diffusion d'appels pour la surveillance des oiseaux des marais. *Auk* 122: 26–35
- Conway CJ, Nadeau CP (2005) Élaboration et essais sur le terrain de méthodes d'enquête pour un programme de surveillance des oiseaux des marais continentaux en Amérique du Nord
- Cretois B, Linnell JDC, Grainger M et al (2020) Les chasseurs en tant que scientifiques citoyens : contributions à la surveillance de la biodiversité en Europe. *Glob Ecol Conserv* 23:e01077
- Cumming G, Finch S (2005) Inference by eye: confidence intervals and comment lire des images de données. *Am Psychol* 60: 170–180
- del Hoyo J, Collar NJ, Christie DA et al (2014) HBW et BirdLife International liste de contrôle illustrée des oiseaux du monde : non passereaux. Lynx Edicions Barcelona
- Delcroix F, Levesque A, Delcroix E (2016) Le Pigeon à couronne blanche *Patagioenas leucocephala* en Guadeloupe. *Rapp Amaz* 41
- Devenish-Nelson ES, Weidemann D, Townsend J, Nelson HP (2019) Modèles de recherche sur les oiseaux endémiques insulaires dépendant des forêts : les Caraïbes comme étude de cas. *Biodivers Conserv* 28: 1885–1904
- Duren KR, Buler JJ, Jones W, Williams CK (2011) Une approche multi-échelles améliorée pour modéliser l'occupation de l'habitat du Bob blanc du Nord. *J. Wildl Manag* 75:1700–1709
- Evans SA, Redpath SM, Leckie F, Mougeot F (2007) Méthodes alternatives d'estimation de la densité chez un gibier à plumes des hautes terres : le lagopède des saules *Lagopus lagopus scoticus*. *Faune Biol* 13: 130–139
- Feldmann P (1998) Liste des oiseaux de Guadeloupe et de Martinique
- Figarski T (2017) Réactions saisonnières contrastées de deux pics frères à la stimulation de la lecture dans les zones urbaines - implications pour l'inventaire et la surveillance du pic syrien. *Comportement* 154:981–996
- Fletcher RJ, Hefey TJ, Robertson EP et al (2019) Un guide pratique pour combiner des données pour modéliser la distribution des espèces. *Écologie* 100:e02710
- Florida Fish and Wildlife Conservation Commission (2013) Un plan d'action pour la Pigeon à couronne blanche
- Frieze RD, Mullin SM, Lloyd JD (2012) Réactivité du coucou des mangroves (*Coccyzus minor*) lors d'enquêtes de lecture d'appels dans le sud de la Floride. *Nat du sud-est* 11: 447–454
- Fuller R, Akite P, Amuno J et al (2012) Utilisation de la lecture des vocalisations pour étudier le francolin de Nahan, un galliforme forestier africain menacé. *Autruche* 83: 1–6
- Galipaud M, Gillingham MAF, Dechaume-Moncharmont FX (2017) Adieu à la somme des poids d'Akaike : les avantages des métriques alternatives pour les estimations d'importance variable dans la sélection de modèles. *Méthodes Ecol Evol* 8:1668–1678



- Gibbs D, Barnes E, Cox J (2001) Pigeons et colombes : un guide des pigeons et colombes du monde. A&C Noir
- Guillemain M, Aubry P, Folliot B, Caizergues A (2016) Estimations des prises de chasse au canard pour la saison 2013/14 en France. Oiseaux sauvages 66: 126–141
- Harrison XA, Donaldson L, Correa-Cano ME et al (2018) Une brève introduction à la modélisation des effets mixtes et à l'inférence multimodèle en écologie. PeerJ 6:e4794
- Hartig F (2020) DHARMa: diagnostics résiduels pour les modèles de régression hiérarchiques (multiniveaux/mixtes). Forfait R. version 0.2.7
- Hay DB (2008) Rapport du groupe de travail sur le pigeon à couronne blanche (*Patagioenas leucocephala*). J Caribb Ornithol 21: 110-112
- Hefner HE, Koay G, Hill EM, Hefner RS (2013) Suppression/évitement conditionné comme procédure pour tester l'ouïe chez les oiseaux : le pigeon domestique (*Columba livia*). Behav Res Methods 45:383–392
- Husson F, Josse J, Le S et al (2020) Package 'FactoMineR' Institut national de l'information géographique et forestière (IGN) (2006) Géoportail. <https://www.geoportail.gouv.fr>. Consulté le 22 septembre 2017
- Jakob C, Ponce-Boutin F, Besnard A, Eraud C (2010) Sur l'efficacité de l'utilisation de la lecture de chant lors des comptages d'appels des perdrix rouges (*Alectoris rufa*). Eur J Wildl Res 56:907–913
- Johnson KP, Clayton DH, Dumbacher JP, Fleischer RC (2010) Le combat de la tourte voyageuse : histoire phylogénétique et biogéographique d'une espèce éteinte. Mol Phylogenet Evol 57: 455–458
- Kasprzykowski Z, Gojowski A (2009) L'utilisation du playback affecte-t-elle les estimations du nombre de perdrix grises *Perdix perdix*? Faune Biol 15: 123–128
- King BM, Rosopa PJ, Minium EW (2018) Une autre alternative sans hypothèse au test t d'une différence entre deux groupes dépendants : le test des rangs signés de Wilcoxon. Dans : Raisonement statistique dans les sciences du comportement, 7e éd. John Wiley & Sons Inc, pp 382–384
- Kirkpatrick C, Conway CJ, Hughes K, DeVos J (2005) Une évaluation des méthodes d'enquête pour la surveillance des populations intérieures de pigeons à queue barrée. Rapport final. Rapport de recherche sur la faune n° 2005–03, US Geological Survey, Arizona Cooperative Fish and Wildlife Research Unit, Tucson, AZ
- Kirkpatrick C, Conway CJ, Hughes KM, Devos JC (2007) Probabilité de détecter des pigeons à queue barrée lors d'appels diffusés par rapport à des enquêtes auditives. J. Wildl Manag 71:231–237
- Kreithen ML, Quine DB (1979) Détection des infrasons par le pigeon voyageur : un audiogramme comportemental. J Comp Physiol 129: 1–4
- Lande US, Herfndal I, Finne MH, Kastdalen L (2010) Utilisation des chasseurs dans les enquêtes fauniques: la sélection des chasseurs et celle de l'habitat coïncident-elles? Eur J Wildl Res 56: 107–115
- Latta SC (2012) Recherche aviaire dans les Caraïbes : contributions passées et prioritaires actuelles. J Field Ornithol 83: 107–121
- Latta SC, Rimmer C, Keith A et al (2010) Oiseaux de la République dominicaine et d'Haïti. Presse de l'Université de Princeton
- Lewis TC, Melo M, de Lima RF, Bremner-Harrison S (2017) Habitat associations of the São Tomé Fiscal *Lanius newtoni* en danger critique d'extinction : comparaison des points d'écoute standard et confirmés par lecture. Afr J Ecol 56:404–408
- Mangiafco S (2020) rcompanion: fonctions d'appui à l'évaluation des programmes d'éducation à la vulgarisation. Pack R Version 2(3):25
- Marsh H, Sinclair DF (1989) Correction du biais de visibilité dans les relevés aériens par transects en bande de la faune aquatique. J. Wildl Manag 53:1017–1024
- McNair DB (2008) Implications pour la conservation de la répartition et de l'abondance actuelles de la reproduction du pigeon à couronne blanche *Patagioenas leucocephala* à Sainte-Croix, îles Vierges américaines. Caribb J Sci 44: 311–320
- McNeil DJ, Otto CRV, Rolof GJ (2014) Utiliser des leurres audio pour améliorer la détection de la paruline à ailes dorées (*Vermivora chrysoptera*) lors des relevés par point d'écoute. Wildl Soc Bull 38: 586–590
- Møller AP (1992) Réponse interspécifique à la lecture du chant des oiseaux. Éthologie 90: 315–320
- Nakagawa S, Johnson PCD, Schielzeth H (2017) Le coefficient de détermination R<sup>2</sup> et le coefficient de corrélation intra-classe des modèles linéaires généralisés à effets mixtes revisités et développés. JR Soc Interface 14:20170213
- Nakagawa S, Schielzeth H (2013) Une méthode générale et simple pour obtenir R<sup>2</sup> à partir de modèles linéaires à effets mixtes généralisés. Méthodes Ecol Evol 4:133–142
- Overton CT, Schmitz RA, Casazza ML (2005) Biais post-précipitation dans les enquêtes sur les pigeons à queue barrée menées sur les sites miniers. Wildl Soc Bull 33: 1047–1054
- Pacifici K, Simons TR, Pollock KH (2008) Effets de la végétation et du bruit de fond sur le processus de détection dans les enquêtes auditives par point d'écoute aviaire. Auk 125: 600–607
- Pauli JN, Whiteman JP, Riley MD, Middleton AD (2010) Définition d'approches non invasives pour l'échantillonnage des vertébrés. Conserv Biol 24: 349-352
- Perdomo-Velázquez H, Andresen E, Vega E et al (2017) Effets des ouragans sur les oiseaux forestiers du sous-étage de l'île de Cozumel. Trop Conserv Sci 10: 1–14
- Pérez-Rivera RA (1978) Travaux préliminaires sur les habitudes alimentaires, l'habitat de nidification et les activités de reproduction du pigeon des plaines (*Columba inornata wetmorei*) et du pigeon à cou rouge (*Columba squamosa*), espèces sympatriques : une analyse de leur interaction. Science-Ciencia 3: 89–98
- Pinchon RP (1976) Faune des Antilles françaises. Les Oiseaux, 2nd edn
- Powell RA, Proulx G (2003) Piéger et marquer les mammifères terrestres pour la recherche : intégrer l'éthique, les critères de performance, les techniques et le bon sens. ILAR J 44:259–276
- Quinard A, Cézilly F (2012) Rôles sexuels lors de la défense territoriale spécifique chez la colombe zenaida, *Zenaida aurita*. Anim Comportement 83: 47–54
- R Core Team (2019) R : un langage et un environnement pour le calcul statistique
- Rafaele HA, Wiley J, Garrido O et al (1998) Un guide des oiseaux des Antilles. Presse de l'Université de Princeton Princeton
- Rehm EM, Baldassarre GA (2007) Variation temporelle de la détection des oiseaux des marais lors de la diffusion d'appels spécifiques. J Field Ornithol 78: 56–63
- Rivera-Milán FF (1992) Modèles de distribution et d'abondance relative des columbidés à Porto Rico. Condor 94: 224-238
- Rivera-Milán FF (1996) Densité de nidification et succès des columbidés en Porto Rico. Condor 98: 100–113
- Rivera-Milán FF, Bertuol P, Simal F, Rusk BL (2015) Enquête d'échantillonnage à distance et estimation de l'abondance de la tourterelle de Grenade (*Leptotila wellesi*), en danger critique d'extinction. Condor 117: 87–93
- Rivera-Milán FF, Boomer GS, Martínez AJ (2014) Surveillance et modélisation de la dynamique des populations pour la gestion de la récolte des pigeons à nuque écaillée à Porto Rico. J. Wildl Manag 78:513–521
- Rivera-Milán FF, Boomer GS, Martínez AJ (2016) Évaluation de la durabilité des pigeons ordinaires et des pigeons à couronne blanche chassés illégalement à Porto Rico. Condor 118y: 300–308
- Robbins CS (1981a) Effet de l'heure de la journée sur l'activité des oiseaux. Dans : Ralph JC, Scott MJ (eds) Estimation du nombre d'oiseaux terrestres. pages 275–286
- Robbins CS (1981b) Niveaux d'activité des oiseaux liés aux conditions météorologiques. Dans : Ralph CJ, Scott JM (eds) Estimation du nombre d'oiseaux terrestres. pages 301–310
- Rosenstock SS, Anderson DR, Giesen KM et al (2002) Landbird counting techniques: current practices and an alternative. Auk 119:46
- Rousteau A (1996) Carte écologique de la Guadeloupe. Natl. Pour. Servir. Univ. Antilles Guyane, Natl. Park Guadeloupe, Gen. Board Guadeloupe, Jarry, Guadeloupe
- Schieck J (1997) La détection biaisée des vocalisations des oiseaux affecte les comparaisons de l'abondance des oiseaux parmi les habitats forestiers. Condor 99: 179-190

- Schwartzkopf J (1955) Sur l'audition des oiseaux Auk 72: 340–347
- Shanahan M, So S, Gompton SG, Gorlett R (2001) Manger des figues par les frugivores vertébrés : une revue globale. Biol Rev 76: 529–572
- Sidhu N, Pebesma E, Câmara G (2018) Utilisation de Google Earth Engine pour détecter les changements d'occupation du sol : Singapour comme cas d'utilisation. Eur J Remote Sens 51: 486–500
- Simons TR, Allredge MW, Pollock KH, Wettrath JM (2007) Analyse expérimentale du processus de détection auditive sur les points d'écoute aviaires. Auk 124:986
- Small MF, Veech JA, Baccus JT (2012) Une comparaison des densités de tourterelles à ailes blanches *Zenaida asiatica* estimées lors des relevés du matin et du soir. J. Fish Wildl Manag 37:158–163
- Soininen EM, Fuglei E, Pedersen ÅØ (2016) Utilisation complémentaire des estimations de densité et des statistiques de chasse : différentes facettes d'une même histoire ? Eur J Wildl Res 62: 151–160
- St. Clair CC, Bélisle M, Desrochers A, Hannon S (1998) Réponses hivernales des oiseaux forestiers aux corridors et aux lacunes de l'habitat. Conserv Éco 2
- Strong AM, Bancroft GT (1994) Dispersion post-fécondation des pigeons couronnés blancs : implications pour la conservation des forêts saisonnières de feuillus dans les Florida Keys. Conserv Biol 8: 770–779
- Strong AM, Johnson MD (2001) Exploitation d'une ressource saisonnière par des pigeons des plaines et à couronne blanche non reproducteurs : implications pour la conservation des forêts tropicales sèches. Wilson Taureau 113: 73–77
- Strong AM, Sawicki RJ, Bancroft GT (1994) Estimation de la taille de la population de pigeons couronnés blancs à partir du nombre de lignes de combat. J Wildl Manager 58:156
- Stroup WW (2012) Modèles mixtes linéaires généralisés : concepts, méthodes et applications modernes. Presse du CRC
- Summers RW, Buckland ST (2011) Une première enquête sur la taille et la distribution de la population mondiale du bec-croisé écossais *Loxia scotica*. Bird Conserv Int 21: 186–198
- Sutherland WJ (2006) Ecological recensement techniques: a handbook, 2nd edn
- Sutherland WJ, Newton I, Green RE (2004) Bird ecology and conservation : un manuel de techniques
- Thomas L, Buckland ST, Rexstad EA et al (2010) Logiciel de distance : conception et analyse d'enquêtes d'échantillonnage à distance pour estimer la taille de la population. J Appl Ecol 47:5–14
- Thompson W (2013) Échantillonnage d'espèces rares ou insaisissables : concepts, conceptions et techniques d'estimation des paramètres de population. Presse de l'île
- Tillmann JE, Beyerbach M, Strauss E (2012) Les chasseurs disent-ils la vérité ? Évaluation des estimations de densité de couples printaniers des chasseurs de perdrix grise *Perdix perdix*. Faune Biol 18: 113–120
- Turlure C, Pe'er G, Bague M, Schtickzelle N (2018) Un protocole simplifié de marquage-libération-recapture pour améliorer la rentabilité de la quantification répétée de la taille de la population. Méthodes Ecol Evol 9:645–656
- UICN France, MNHN, AMAZONA et al (2012) La Liste rouge des espèces menacées en France—Chapitre Oiseaux de Guadeloupe. Dossier électronique
- UICN, OFB, MNHN (2020) La Liste rouge des espèces menacées en France—Chapitres de la Faune de Martinique
- van der Horst S, Goytre F, Marques A et al (2019) Effets de la route sur l'abondance des espèces et la tendance des populations : une étude de cas sur la Chouette hulotte. Eur J Wildl Res 65:99
- Walker J, Taylor PD (2017) Utilisation des données eBird pour modéliser les changements de population des espèces d'oiseaux migrateurs. Aviaire Conserv Ecol 12
- Walker JS (2007) Modèles géographiques de menace chez les pigeons et les colombes (Columbidae). Oryx 41:289–299
- Ware DM (1997) Pigeon à couronne blanche au nord de son aire de répartition connue. Floride F Nat 25: 141–142
- Warren P, Hornby T, Baines D (2018) Comparaison de la lecture d'appel à une méthode d'observation uniquement pour enquêter sur la perdrix grise *Perdix perdix* dans les fermes des collines du nord de l'Angleterre. Étude d'oiseaux 65: 225–231
- Wiley JW (1979) Le pigeon à couronne blanche à Porto Rico : statut, distribution et mouvements. J. Wildl Manag 43:402–413
- Wiley JW, Wiley BN (1979) La biologie du pigeon à couronne blanche. Wildl Monogr 64: 3–54
- Wunderle JM (1995) Réponses des populations d'oiseaux d'une forêt portoricaine à l'ouragan Hugo : les 18 premiers mois. Condor 97: 879–896
- Yip DA, Bayne EM, Solyomos P et al (2017) Atténuation du son dans les environnements forestiers et en bordure de route : implications pour les relevés ponctuels aviaires. Condor 119: 73–84
- Zuur AF, Ieno EN, Elphick CS (2010) Un protocole d'exploration de données pour éviter les problèmes statistiques courants. Méthodes Ecol Evol 1:3–14

**Note de l'éditeur** Springer Nature reste neutre en ce qui concerne les revendications juridictionnelles dans les cartes publiées et les affiliations institutionnelles.