

ISSN 0154 - 2109



Agir pour
la biodiversité



LE GRAND DUC N°94 (ANNÉE 2025)

Estimation des populations d'oiseaux forestiers de l'ENS de la vallée du Fossat (Job, 63) au printemps 2023

Romain RIOLS

[romain.riols \(chez\) lpo.fr](mailto:romain.riols@lpo.fr)

Jean-Philippe MEURET

[monedula \(chez\) orange.fr](mailto:monedula@orange.fr)

Résumé : L'avifaune forestière de la Vallée du Fossat, dans le PNR Livradois-Forez, a fait l'objet en 2023 d'un inventaire printanier par EPOCs à réplicats dans le but d'estimer par la méthode du « distance sampling » les populations nichant dans le périmètre forestier de l'ENS, soit environ 300ha. C'est la première utilisation de cette méthode en milieu forestier montagnard en Auvergne. Les densités obtenues pour les 16 espèces analysables (les passereaux les plus nombreux) ont été comparées à celles de quelques autres études, mais souvent anciennes et ayant procédé différemment, en tenant compte si possible des tendances à long terme du STOC ; elles sont ainsi parfois fiables et cohérentes, mais parfois étonnantes, et demanderaient confirmation. Des prospections plus ciblées ont également été menées sur des espèces patrimoniales historiques ou non adaptées aux points d'écoutes (nocturnes, lisières, trop faible présence). Au total, la rareté voire l'absence constatées de certaines espèces interrogent, tandis que la Mésange boréale et le Merle à Plastron semblent bel et bien avoir disparu de l'ENS, malgré le caractère toujours montagnard du site, en atteste la phénologie très tardive des passereaux insectivores, ou l'absence d'espèces abondantes à plus basse altitude.

Mots-clés : EPOC, points d'écoute, échantillonnage, extrapolation, distance sampling, montagne, forêt, sapin, hêtre, oiseaux, Fossat, Job, PNR, Livradois-Forez

Citation recommandée : RIOLS R. et MEURET J.-P., 2025. Estimation des populations d'oiseaux forestiers de l'ENS de la vallée du Fossat (Job, 63) au printemps 2023. *Le Grand Duc*, 94 : 66-133.

Introduction

Le Parc Naturel Régional Livradois-Forez a confié à la LPO AuRA DT Auvergne une étude de l'avifaune forestière de l'ENS (Espace Naturel Sensible) de la Vallée du Fossat (Job, 63) dans les monts du Forez. Grâce aux 12 jours d'inventaire de terrain ainsi financés,

- 25 points d'écoutes ont été réalisés selon le protocole « EPOC » LPO-MNHN, répliqués chacun 3 fois et lors de 3 passages au printemps 2023 (soit 225 EPOCs) ; ces données ont permis d'estimer des densités et des tailles de populations au sein de l'ENS par la méthode du « distance sampling » pour les 16 espèces de passereaux les plus abondants ; il s'agit de la première analyse de ce type menée en milieu forestier montagnard en Auvergne,
- des prospections ciblées ont été menées sur des espèces patrimoniales (non adaptées aux points d'écoute, par leur rareté, leur caractère nocturne ou leur localisation : Bécasse des bois, Chouette de Tengmalm, Chevêchette d'Europe, Mésange Boréale, Merle à Plastron).

Terrain et méthode d'étude

A. Secteur géographique étudié

L'Espace Naturel Sensible (ENS) de la vallée du Fossat est un site emblématique du Forez situé sur une grande faille de direction nord-ouest / sud-est à plus de 1200 mètres d'altitude. Investie et remodelée par les glaciers il y a plus de 100 000 ans, et jusqu'il y a 13 000 ans, cette vallée possède un climat montagnard prononcé caractérisé par des températures fraîches et un cumul de précipitations élevé (moyennes annuelles de 3,3°C et 1400 mm à Pierre-sur-Haute, 1631m d'altitude) ; la topographie est accidentée, et l'altitude varie de 1150 à 1450 mètres dans la partie boisée, l'ENS culminant à 1600 m aux Rochers de la Chapelle à côté de Pierre-sur-Haute.

Ces caractéristiques conditionnent la présence d'une diversité importante d'habitats en relativement bon état de conservation ainsi qu'une richesse appréciable en espèces montagnardes et subalpines.

Le fond de la vallée est occupé par des prairies et pâtures (Figure 1-1), localement par des zones « mouilleuses » et tourbières. Les deux versants sont occupés en très grande majorité par des sapinières, faiblement et localement en mélange avec des hêtres, généralement assez jeunes. La hêtraie est un peu plus représentée à l'approche des lisières sommitales menant aux Hautes Chaumes du Forez. En bas de pente de la vallée et à l'est du Col de Chansert, s'étendent quelques futaies régulières monospécifique d'épicéas.

Notons enfin que s'écoule un important réseau de ruisselets, surtout en rive droite de la vallée, ouvrant çà et là sur de petites clairières, de petites tourbières, avec une végétation feuillue plus importante (saules, alisiers blancs, frênes ou érables sycomores) qu'on retrouve également sur les zones de plus gros éboulis.

Au total, la très grande majorité des boisements relève de la sapinière, avec des âges divers et mélangés, mais peu de très gros bois, souvent sur éboulis granitiques (Figure 1-2).

La surface totale de l'ENS est de 409 ha, dont 304 ha forestiers.

Pour plus de détails sur l'ENS, on pourra consulter les sites web suivants :

- <https://ens.puy-de-dome.fr/nos-actions/vallee-du-fossat-actions-et-plan-de-gestion.html>,
- <https://www.parc-livradois-forez.org/preserver/sites/sites-remarquables/vallee-du-fossat/>.



Figure 1-1 : *Prairies et lisières en fond de vallée, au pied des pentes boisées (photo R. Riols)*



Figure 1-2 : *Quelques rares « gros bois » sur les nombreux éboulis / chaos granitiques de l'ENS (photo R. Riols)*

B. Inventaire de l'avifaune

Il ne porte que sur l'avifaune forestière et a donc été réalisé exclusivement dans les parties boisées de l'ENS (qui en constituent toutefois les trois quarts : 304 / 409 ha).

Il était en outre demandé une attention plus particulière sur trois espèces montagnardes : la Chouette de Tengmalm, la Mésange boréale et le Tarin des aulnes.

C. Méthode

1. Protocole d'inventaire

Les inventaires ont tous été réalisés par points d'écoute, par un unique observateur.

Afin d'aller au-delà des classiques « IPAs » (Indices Ponctuels d'Abondances) [BLONDEL & al. 1970] qui ne permettent qu'une exploitation assez basique (abondance relative et fréquence des espèces), nous avons choisi de suivre le protocole [VIGIENATURE EPOC] (Evolution des Populations d'Oiseaux Communs) établi par la LPO et le Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN) au niveau national. Les « EPOCs » sont des points d'écoute de 5 minutes, avec notation de tous les individus en géolocalisation précise autour de l'observateur. Ainsi, grâce à la possibilité de connaître les distances entre l'observateur et les oiseaux, un calcul de la densité des espèces par la méthode du « distance sampling » [BUCKLAND et al. 1993, 2001] est possible pour les espèces les plus abondantes.

Au total, 25 points d'écoute EPOC ont été répartis sur le territoire étudié. Chaque point a fait l'objet de 9 relevés, via 3 réplicats à chacun des 3 passages du printemps 2023. Ces réplicats à chaque passage permettent de tripler l'échantillon, afin de rendre robustes des analyses en « distance sampling ». Ils doivent aussi permettre d'estimer à terme des coefficients de détectabilité des espèces (variables en fonction de la fréquence et de la puissance du chant de l'espèce, de l'habitat, de l'heure, de la date, ... etc).

Tandis que les matinées étaient consacrées aux relevés standardisés par points d'écoutes, les fins de matinée et après-midis ont été partiellement consacrés à l'exploration d'autres secteurs non couverts par les points d'écoute, en particulier les lisières de plus haute altitude, à l'observation et à la recherche dans la vallée des rapaces diurnes nicheurs, et à des prospections avec repasse pour la Mésange boréale. Enfin les soirées ont été consacrées à l'écoute des oiseaux crépusculaires et nocturnes (Bécasse des bois et strigidés).

2. Outil de saisie des données

Les observations ont été saisies en temps réel et avec géolocalisation précise grâce à l'application pour smartphone [NATURALIST] via son module « EPOC », avec enregistrement de la trace GPS de l'observateur (afin de pouvoir calculer les distances de contact de manière plus fiable).

3. Phénologie des inventaires

Trois passages ont été programmés. Le premier passage a été réalisé du 28 au 31 mars 2023 pour détecter les espèces sédentaires à manifestations territoriales précoces (Pics, Mésanges, Grimpereaux, Sittelle) et en parallèle pouvoir inventorier les rapaces nocturnes. Le deuxième passage s'est déroulé du 2 au 5 mai, et le troisième du 13 au 15 juin.

4. Limites et contraintes

Les 25 points d'écoute EPOC ont été placés sur les chemins et sentiers accessibles (Figure 2-1), les contraintes de terrain (fortes pentes, éboulis, rareté des sentiers) ne permettant pas de mettre en place un échantillonnage systématique scientifiquement plus robuste. Nous considérons toutefois que la répartition des points d'écoute respecte globalement la diversité des peuplements forestiers de l'ENS, avec peut-être une sous-représentation des hêtraies proches des lisières d'altitude.

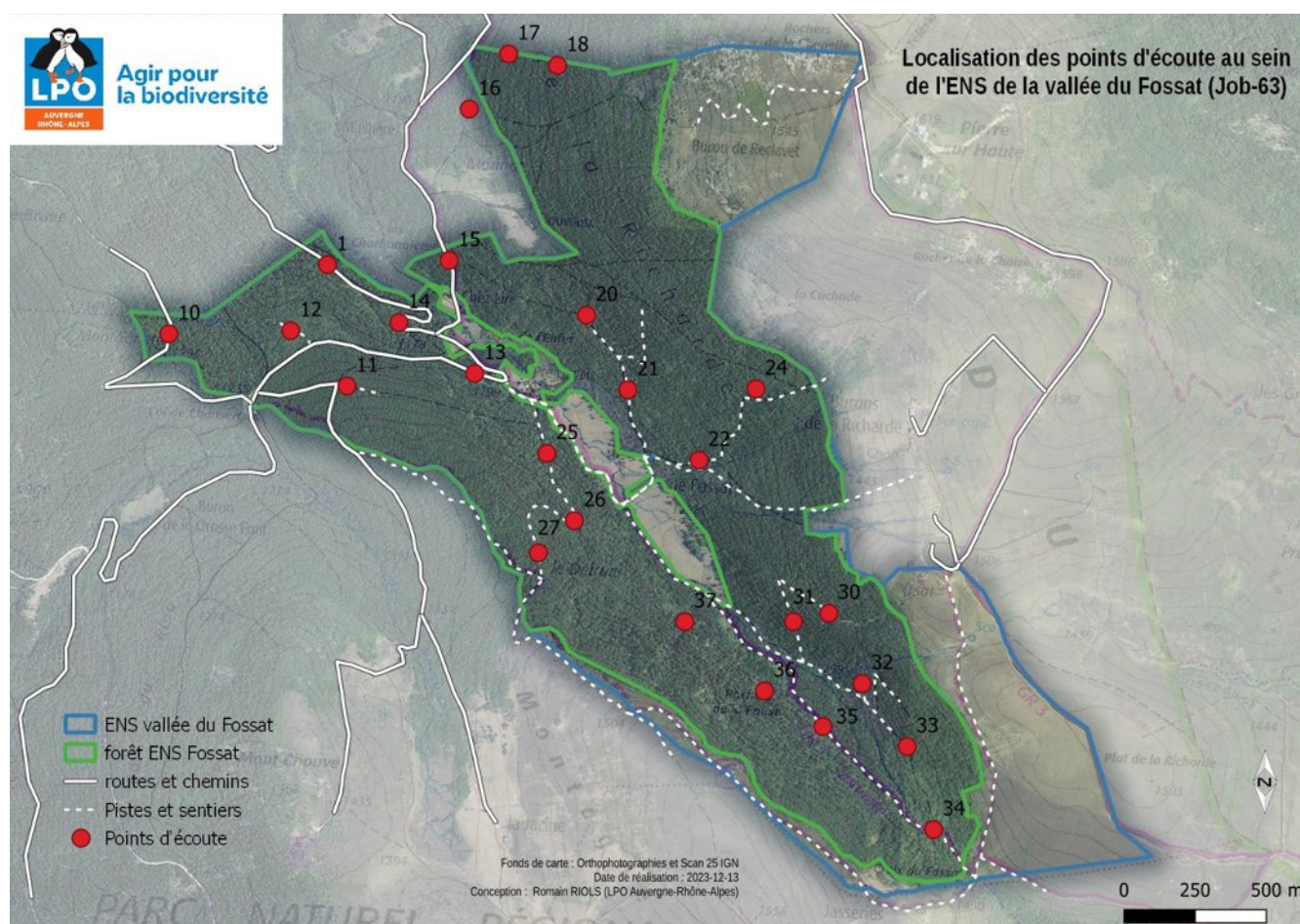


Figure 2-1 : Carte de la zone d'étude : en bleu les limites de l'ENS, en vert celle des forêts, en rouge les sites programmés pour les points d'écoute « EPOC »
(sur fonds IGN OrthoPhoto et Scan25 - copyright geoportail.gouv.fr)

5. Méthodes d'analyse des données collectées

Pour les espèces présentes, on rappelle d'abord leur statut de vulnérabilité à l'aune des listes rouges disponibles à différentes échelles géographiques, d'abord pour toutes les espèces, puis plus particulièrement pour les espèces d'intérêt patrimonial (celles qui sont estimées menacées sur au moins une des listes rouges de France et d'Auvergne).

Enfin, on passe aux analyses numériques des données : abondance et fréquence relatives, par la méthode des IPAs (Indices Ponctuels d'Abondance), puis estimation des populations, par la méthode du « distance sampling » pour les espèces les plus abondantes ; pour l'application de ces deux méthodes, quelques explications plus détaillées sont nécessaires.

a. Abondance, fréquence et richesse

Ces grandeurs sont habituellement calculées pour caractériser des points d'écoute réalisés selon le protocole IPA, d'une durée de 20 minutes généralement.

Les relevés réalisés en 2023 étant des points d'écoute de 5 minutes répliqués 3 fois, les résultats de cette analyse ne sont pas comparables avec ceux d'autres études basées sur des IPAs ; pour tenter de pallier cela, et de se rapprocher de la méthode originale, nous avons sélectionné pour chaque point la valeur de fréquence maximale des 9 répliqués de 5 minutes réalisés ; nous avons

ensuite effectué une conversion en IPAs à partir des effectifs et des codes atlas (mâle chanteur ou couple ou famille = 1, individu seul non chanteur = 0,5).

b. Analyse par « distance sampling »

Soulignons tout d'abord que cette méthode d'analyse est dépendante de la qualité de l'estimation des distances de contact sur le terrain ; or le milieu forestier fermé qui caractérise le secteur inventorié rend difficile cette estimation, par :

- la forte atténuation du son avec la distance,
- la difficulté à géolocaliser les oiseaux de façon très précise et fiable, notamment à grande distance ; en effet, en milieu forestier dense, il n'est pas possible de pointer avec exactitude un oiseau (sauf à courte distance), comme c'est le cas en milieu plus ouvert et diversifié (bocage par exemple, où les points de repères visibles sont nombreux).

Par ailleurs, l'inventaire de terrain a été mené par un seul et unique observateur : en comparaison avec des inventaires multi-contributeurs, une éventuelle tendance à la sur-estimation ou à la sous-estimation des distances ne pourra pas être atténuée par le groupe.

Pour mémoire, les observations ont été collectées « en direct » sur le terrain, via l'application Naturalist pour smartphone, via son module dédié au protocole de points d'écoutes EPOC, qui permet d'enregistrer des « listes » d'observations localisées précisément sur carte ou photo-satellite et d'une durée de 5mn, d'enregistrer la trace GPS de l'observateur (supposé immobile), puis d'envoyer le tout sur la base de données faune-france.org (avec la trace) ; un total de 225 EPOCs a ainsi été effectué et collecté (25 sites x 3 passages x 3 réplicats).

Ces données, une fois extraites de la base, ont d'abord été vérifiées et (très légèrement) nettoyées, pour s'assurer que le protocole avait été respecté en tous points, que les données étaient précisément localisées, que les traces GPS étaient exploitables (ce qui est indispensable pour un calcul fiable des distances observateur - oiseau), que les distances obtenues étaient cohérentes et qu'enfin il n'y avait pas d'observations de groupes d'individus non nicheurs (geais, ...) ou de juvéniles.

Ensuite, seules certaines espèces ont été retenues pour les analyses, essentiellement celles contactées assez souvent pour espérer faire aboutir des analyses par « distance sampling » ; en accord avec nos travaux précédents [GUELIN *et al.* 2018] [MEURET et GUELIN 2023], nous avons utilisé le seuil de 20 individus en comptant tous les passages (1, 2 et 3).

Ce qui a abouti à une liste de 16 espèces analysables a priori (Cf. Annexe 1 pour plus de détails).

Une première analyse temporelle des données de terrain a par ailleurs montré d'assez grandes disparités dans les périodes où les espèces ciblées étaient facilement détectables sur le terrain ; l'expérience de leur phénologie, et nos doutes en la matière parfois (à des altitudes finalement peu étudiées en Auvergne [GUELIN et GUELIN 1987]) nous ont donc conduit respectivement (Cf. Annexe 1 pour plus de détails) :

- à choisir d'écarter certains passages pour certaines espèces (par exemple, le passage 3 pour les sédentaires forestiers précoces comme la Grive draine, les Mésanges noires et huppées, le Grimpereau des bois ; ou au contraire le passage 1 pour des migrateurs partiels comme le Roitelet à triple bandeau et le Rouge-gorge familier ; voire les 2 premiers passages pour des insectivores ne revenant / se manifestant que très tardivement dans la vallée, comme le Pouillot véloce, la Fauvette à tête noire, et même le Pinson des arbres !),

- mais aussi à décider ... de ne pas choisir tout de suite, et de tester différentes sélections de passages lors des analyses.

Tableau 2-1 : *Espèces potentiellement nicheuses, à données suffisamment nombreuses pour le « distance sampling », avec les effectifs totaux contactés par passage : en vert et orange (à droite) les passages retenus (respectivement pour tous les tests, et seulement certains)*

Espèce		Passage 1	Passage 2	Passage 3	Total
Periparus ater	Mésange noire	155	201	81	437
Fringilla coelebs	Pinson des arbres	103	117	196	416
Erithacus rubecula	Rougegorge familier	17	108	159	284
Turdus philomelos	Grive musicienne	80	74	69	223
Troglodytes troglodytes	Troglodyte mignon	22	49	60	131
Turdus merula	Merle noir	22	45	63	130
Regulus regulus	Roitelet huppé	34	38	36	108
Sylvia atricapilla	Fauvette à tête noire	0	10	93	103
Columba palumbus	Pigeon ramier	29	32	39	100
Certhia familiaris	Grimpereau des bois	39	34	21	94
Lophophanes cristatus	Mésange huppée	38	29	20	87
Turdus viscivorus	Grive draine	39	38	9	86
Poecile palustris	Mésange nonnette	35	10	10	55
Garrulus glandarius	Geai des chênes	21	11	18	50
Regulus ignicapilla	Roitelet à triple bandeau	9	19	13	41
Phylloscopus collybita	Pouillot véloce	0	3	23	26
Total		643	818	910	2371

Ensuite, afin de limiter autant que possible les risques de doublons et ainsi respecter une des conditions impératives pour les analyses par « distance sampling », nous avons été conduits à effectuer les sélections géographiques suivantes :

- une troncature préalable en distance, afin de supprimer les données trop éloignées du point d'écoute (première mesure pour limiter le risque, avec le même seuil de distance pour tous les EPOCs, pour simplifier),
- une élimination des données de certains EPOCs trop proches de leurs voisins (après la première mesure anti-doublon, il reste encore quelques données risquant d'être localisées dans le rayon de 2, voire de 3 EPOCs proches).

Toutefois, selon les espèces, et leur niveau de détectabilité en forêt (on entend les grives draines beaucoup plus loin que les roitelets), il a également été nécessaire d'utiliser différents seuils de troncature en distance anti-doublon, afin de garder des jeux de données suffisants, et même de tester plusieurs seuils pour certaines espèces (Cf. Annexe 1 pour plus de détails).

Tableau 2-2 : Effectifs résultants (mâles adultes seuls, et tous adultes), après troncature systématique en distance et élimination des EPOCs trop proches ... pour 4 seuils en distance échelonnés de 120 à 200m (on considère ici les 3 passages à chaque fois, pour simplifier) : par espèce, en gras, en rouge le plus fort effectif, en orange le 2ème plus fort, en noir le 3ème.

Espèce	Troncature 120m Anti-recouvrement manuel => 213 EPOCs		Troncature 150m Anti-recouvrement manuel => 195 EPOCs		Troncature 175m Anti-recouvrement manuel + auto 120m => 171 EPOCs		Troncature 200m Anti-recouvrement manuel + auto 137m => 153 EPOCs	
	Mâles seuls	Tous adultes	Mâles seuls	Tous adultes	Mâles seuls	Tous adultes	Mâles seuls	Tous adultes
<i>Periparus ater</i>	317	344	335	361	306	328	259	279
<i>Fringilla coelebs</i>	292	304	305	318	287	299	264	277
<i>Erithacus rubecula</i>	246	249	247	250	221	224	200	203
<i>Turdus philomelos</i>	78	79	98	99	101	102	118	119
<i>Troglodytes troglodytes</i>	83	84	91	92	90	90	79	79
<i>Sylvia atricapilla</i>	82	82	88	88	76	76	71	71
<i>Regulus regulus</i>	85	96	79	89	58	66	52	61
<i>Lophophanes cristatus</i>	74	84	68	77	62	67	59	64
<i>Certhia familiaris</i>	72	83	60	66	48	57	49	55
<i>Turdus merula</i>	36	46	44	55	52	62	55	64
<i>Columba palumbus</i>	33	40	37	45	38	46	44	53
<i>Poecile palustris</i>	40	53	35	45	33	43	23	31
<i>Turdus viscivorus</i>	22	30	35	42	35	40	38	42
<i>Regulus ignicapilla</i>	35	39	29	32	29	32	22	22
<i>Phylloscopus collybita</i>	18	18	25	25	22	22	18	18
<i>Garrulus glandarius</i>	19	36	18	35	20	34	16	29
Total	1532	1667	1594	1719	1478	1588	1367	1467

N.B. Classiquement, les individus considérés pour les analyses sont, d'une part, les mâles seuls pour les espèces à chant fréquent et facilement audible, ou au dimorphisme sexuel facilement utilisable sur le terrain, et d'autre part, tous les adultes pour les autres espèces (le Geai uniquement ici).

Pour chaque espèce indépendamment, les analyses ont donc été effectuées sur différents jeux de données correspondant aux différentes variantes de passages et de seuils de distance anti-doublon, et leurs résultats ont été comparés pour ne retenir que le jeu le plus pertinent pour l'analyse finale (voir ci-dessous).

Enfin, sur le plan technique, les analyses par « distance sampling » pour l'estimation des densités ont été réalisées à l'aide du logiciel [PYAUDISAM] pour automatiser les multiples combinaisons de jeux de données et de paramètres d'analyse, et pour automatiser en partie le dépouillement des nombreux résultats associés (pour plus de détails, Cf. Annexe 4).

Résultats

A. Conditions et aléas d'inventaire

Le premier passage a été réalisé dès le lendemain d'une importante chute de neige qui a toutefois assez rapidement fondu.

Le deuxième passage a été contrarié par de forts vents et de la pluie qui ont affecté une partie des relevés.

Le troisième passage s'est déroulé dans de très bonnes conditions météorologiques, bien que rapidement très chaudes dans la journée.

Une erreur « d'orientation » a entraîné un déplacement des points 16, 17 et 18, qui ont finalement été réalisés sur la limite nord de l'ENS ; mais vu l'homogénéité des boisements du secteur, cela n'a sans doute eu aucune conséquence sur les résultats.

B. Données brutes

En 2023, 2 871 données de 59 espèces ont été collectées au sein de l'ENS de la vallée du Fossat. Si la plupart des espèces sont nicheuses, d'autres n'étaient que de passage (nicheurs proches en déplacement, migrateurs actifs ou en halte).

Sur la seule partie boisée faisant l'objet de la présente étude, 2 705 données de 43 espèces ont été recueillies.

Et si l'on se restreint aux 25 points d'écoute EPOC, ce sont 2 456 données de 31 espèces.

C. Statut des espèces

Tableau 3-1 : Statut des espèces contactées durant l'étude, selon différents périmètres de classement

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Nb de données	Liste Rouge France	Liste Rouge Auvergne	Natura 2000	Protection nationale	Convention de Berne	Convention de Bonn	Statut de nidif.	Nb d'ind. max
Accenteur mouchet	<i>Prunella modularis</i>	5	LC	NT		Article 3	Annexe II		Possible	1
Alouette des champs	<i>Alauda arvensis</i>	16	NT	LC	Annexe II/2		Annexe III		Probable	1
Autour des palombes	<i>Accipiter gentilis</i>	2	LC	VU		Article 3	Annexe III	Annexe II	Possible	1
Bec-croisé des sapins	<i>Loxia curvirostra</i>	4	LC	LC		Article 3	Annexe II		Possible	15
Bergeronnette des ruisseaux	<i>Motacilla cinerea</i>	26	LC	LC		Article 3	Annexe II		Probable	2

Bergeronnette grise	<i>Motacilla alba</i>	2	LC	LC		Article 3	Annexe II		Possible	2
Bondrée apivore	<i>Pernis apivorus</i>	3	LC	LC	Annexe I	Article 3	Annexe III	Annexe II	Possible	2
Bouvreuil pivoine	<i>Pyrrhula pyrrhula</i>	5	VU	NT		Article 3	Annexe III		Probable	2
Bruant jaune	<i>Emberiza citrinella</i>	1	VU	VU		Article 3	Annexe II			3
Busard cendré	<i>Circus pygargus</i>	1	NT	VU	Annexe I	Article 3	Annexe III	Annexe II		1
Buse variable	<i>Buteo buteo</i>	12	LC	LC		Article 3	Annexe III	Annexe II	Probable	2
Caille des blés	<i>Coturnix coturnix</i>	1	LC	NT	Annexe II/2		Annexe III	Annexe II	Possible	1
Chouette hulotte	<i>Strix aluco</i>	2	LC	LC		Article 3	Annexe II		Certain	1
Cincle plongeur	<i>Cinclus cinclus</i>	1	LC	LC		Article 3	Annexe II		Possible	1
Circaète Jean-le-Blanc	<i>Circaetus gallicus</i>	5	LC	VU	Annexe I	Article 3	Annexe III	Annexe II		1
Corneille noire	<i>Corvus corone</i>	5	LC	LC	Annexe II/2		Annexe III		Probable	3
Coucou gris	<i>Cuculus canorus</i>	2	LC	NT		Article 3	Annexe III		Possible	1
Épervier d'Europe	<i>Accipiter nisus</i>	3	LC	LC		Article 3	Annexe III	Annexe II	Possible	1
Faucon crécerelle	<i>Falco tinnunculus</i>	3	NT	LC		Article 3	Annexe II	Annexe II	Possible	1
Fauvette à tête noire	<i>Sylvia atricapilla</i>	154	LC	LC		Article 3	Annexe II		Probable	2
Geai des chênes	<i>Garrulus glandarius</i>	58	LC	LC	Annexe II/2				Probable	2
Gobemouche noir	<i>Ficedula hypoleuca</i>	1	VU	EN		Article 3	Annexe II	Annexe II		1
Grand Corbeau	<i>Corvus corax</i>	3	LC	VU		Article 3	Annexe III			4
Grimpereau des bois	<i>Certhia familiaris</i>	112	LC	LC		Article 3	Annexe III		Probable	2
Grimpereau des jardins	<i>Certhia brachydactyla</i>	7	LC	LC		Article 3	Annexe III		Possible	1
Grive draine	<i>Turdus viscivorus</i>	91	LC	LC	Annexe II/2		Annexe III		Probable	2
Grive musicienne	<i>Turdus philomelos</i>	220	LC	LC	Annexe II/2		Annexe III		Probable	1
Grosbec casse-noyaux	<i>Coccothraustes coccothraustes</i>	2	LC	LC		Article 3	Annexe II		Probable	2
Linotte mélodieuse	<i>Carduelis cannabina</i>	1	VU	NT		Article 3	Annexe II			1
Martinet noir	<i>Apus apus</i>	5	NT	LC		Article 3	Annexe III			17
Merle à plastron	<i>Turdus torquatus</i>	1	LC	VU		Article 3	Annexe II			1
Merle noir	<i>Turdus merula</i>	124	LC	LC	Annexe II/2		Annexe III		Certain	2
Mésange à longue queue	<i>Aegithalos caudatus</i>	8	LC	LC		Article 3	Annexe III		Probable	5
Mésange charbonnière	<i>Parus major</i>	4	LC	LC		Article 3	Annexe II		Probable	2

Mésange huppée	<i>Lophophanes cristatus</i>	109	LC	LC		Article 3	Annexe II		Certain	3
Mésange noire	<i>Periparus ater</i>	470	LC	LC		Article 3	Annexe II		Certain	3
Mésange nonnette	<i>Poecile palustris</i>	63	LC	LC		Article 3	Annexe II		Probable	4
Milan noir	<i>Milvus migrans</i>	1	LC	LC	Annexe I	Article 3	Annexe III	Annexe II		3
Milan royal	<i>Milvus milvus</i>	2	VU	VU	Annexe I	Article 3	Annexe III	Annexe II		2
Pic épeiche	<i>Dendrocopos major</i>	5	LC	LC		Article 3	Annexe II		Probable	2
Pic noir	<i>Dryocopus martius</i>	29	LC	LC	Annexe I	Article 3	Annexe II		Probable	2
Pie-grièche écorcheur	<i>Lanius collurio</i>	2	NT	LC	Annexe I	Article 3	Annexe II		Possible	1
Pigeon ramier	<i>Columba palumbus</i>	95	LC	LC	Annexe II/1				Probable	2
Pinson des arbres	<i>Fringilla coelebs</i>	460	LC	LC		Article 3	Annexe III		Probable	2
Pipit des arbres	<i>Anthus trivialis</i>	7	LC	LC		Article 3	Annexe II		Possible	5
Pipit farlouse	<i>Anthus pratensis</i>	7	VU	NT		Article 3	Annexe II		Probable	1
Pouillot siffleur	<i>Phylloscopus sibilatrix</i>	3	NT	VU		Article 3	Annexe III		Possible	1
Pouillot véloce	<i>Phylloscopus collybita</i>	47	LC	LC		Article 3	Annexe III		Probable	2
Roitelet à triple bandeau	<i>Regulus ignicapilla</i>	57	LC	LC		Article 3	Annexe II		Certain	2
Roitelet huppé	<i>Regulus regulus</i>	130	NT	NT		Article 3	Annexe II		Certain	2
Rougegorge familier	<i>Erithacus rubecula</i>	334	LC	LC		Article 3	Annexe II	Annexe II	Probable	1
Rougequeue à front blanc	<i>Phoenicurus phoenicurus</i>	2	LC	LC		Article 3	Annexe II	Annexe II	Possible	1
Rougequeue noir	<i>Phoenicurus ochruros</i>	3	LC	LC		Article 3	Annexe II	Annexe II	Possible	3
Sittelle torchepot	<i>Sitta europaea</i>	4	LC	LC		Article 3	Annexe II		Probable	2
Tarier pâtre	<i>Saxicola rubicola</i>	1	NT	LC		Article 3	Annexe II	Annexe II	Possible	1
Tarin des aulnes	<i>Carduelis spinus</i>	5	LC	EN		Article 3	Annexe II		Probable	5
Traquet motteux	<i>Oenanthe oenanthe</i>	4	NT	NT		Article 3	Annexe II	Annexe II	Probable	5
Troglodyte mignon	<i>Troglodytes troglodytes</i>	138	LC	LC		Article 3	Annexe II		Probable	2
Vautour fauve	<i>Gyps fulvus</i>	3	LC		Annexe I	Article 3	Annexe III	Annexe II		7

D. Espèces patrimoniales

11 espèces nicheuses ont un statut de menace sur au moins une des deux listes rouges de France ou d'Auvergne.

Parmi les 3 espèces patrimoniales qui étaient à rechercher dans l'ENS (Chouette de Tengmalm, Mésange boréale et Tarin des Aulnes), seul le Tarin a été contacté, avec deux couples en conflit territorial tout en haut de la vallée en rive gauche, lors du 3ème passage. Cette espèce n'avait fait l'objet que d'un seul contact en période de nidification (1 oiseau en vol) lors des études précédentes [RIGAUX 2010] [LALLEMANT 2012].

La Chouette de Tengmalm n'est peut-être plus présente dans la vallée. Il existe a priori peu de loges de Pic noir favorables, et l'une d'elle était même occupée par une Chouette hulotte ! Précisons toutefois que le printemps 2023 a été défavorable à cette espèce et que le printemps 2024, suite à une très importante faînée, permettra peut-être de l'y retrouver. Notons aussi que la Chevêchette d'Europe n'a pas été contactée non plus malgré des recherches actives et une présence au sud du Col de Chansert peu distant : le « mobbing » (alarme des passereaux à la repasse) a été globalement faible, mais fort à l'extrémité nord de l'ENS.

La Mésange boréale, elle aussi activement recherchée dans les biotopes les plus favorables, avec l'aide de la repasse du chant et du cri, n'a pas été contactée.

On peut enfin remarquer l'absence de contact avec le Venturon montagnard, noté historiquement au Col de Chansert.

Tableau 3-2 : Statut des espèces patrimoniales contactées, selon les différents périmètres de classement

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Nb de données	Liste Rouge France	Liste Rouge Auvergne	Natura 2000	Protection nationale	Convention de Berne	Convention de Bonn	Statut de nidif.
Accenteur mouchet	<i>Prunella modularis</i>	5	LC	NT		Article 3	Annexe II		Possible
Autour des palombes	<i>Accipiter gentilis</i>	2	LC	VU		Article 3	Annexe III	Annexe II	Possible
Bouvreuil pivoine	<i>Pyrrhula pyrrhula</i>	5	VU	NT		Article 3	Annexe III		Probable
Caille des blés	<i>Coturnix coturnix</i>	1	LC	NT	Annexe II/2		Annexe III	Annexe II	Possible
Coucou gris	<i>Cuculus canorus</i>	2	LC	NT		Article 3	Annexe III		Possible
Pie-grièche écorcheur	<i>Lanius collurio</i>	2	NT	LC	Annexe I	Article 3	Annexe II		Possible
Pipit farlouse	<i>Anthus pratensis</i>	7	VU	NT		Article 3	Annexe II		Probable
Pouillot siffleur	<i>Phylloscopus sibilatrix</i>	3	NT	VU		Article 3	Annexe III		Possible
Roitelet huppé	<i>Regulus regulus</i>	130	NT	NT		Article 3	Annexe II		Certain
Tarier pâtre	<i>Saxicola rubicola</i>	1	NT	LC		Article 3	Annexe II	Annexe II	Possible
Tarin des aulnes	<i>Carduelis spinus</i>	5	LC	EN		Article 3	Annexe II		Probable

N.B. Parmi les espèces à statut défavorable, plusieurs le sont au moins en partie du fait du réchauffement climatique (Bouvreuil pivoine, Pipit farlouse, Pouillot siffleur, Roitelet huppé, Tarin des aulnes) ainsi que bien sûr la Chouette de Tengmalm et la Mésange boréale.

E. Abondance, fréquence et richesse

Les résultats obtenus sont les suivants (rappel : ils ne sont pas comparables à ceux qu'on peut obtenir avec des IPAs, puisque calculés de manière différentes : Cf. chapitre C.5.a ci-dessus) :

- l'abondance par point varie de 18 à 34 « couples », avec en moyenne 27 « couples » ; trois espèces sont particulièrement abondantes et dominant largement le peuplement : il s'agit de la Mésange noire et du Pinson des arbres, suivies par le Rougegorge familier.
- la richesse totale est de 29 espèces (nicheuses) ; elle varie de 10 à 18 espèces par point, avec une moyenne de 14,6.
- la fréquence est de 100% pour 4 espèces (Mésange noire, Pinson des arbres, Rougegorge familier et Merle noir), comprise entre 90% et 99% pour 3 espèces (Grive musicienne, Pigeon ramier et Mésange huppée), comprise entre 75% et 89% pour 6 espèces (Roitelet huppé, Fauvette à tête noire, Grive draine, Grimpereau des bois, Troglodyte mignon et Geai des chênes), les autres espèces à fréquence élevée entre 40% et 74% sont la Mésange nonnette, le Roitelet à triple bandeau et le Pouillot véloce.

Notons toutefois qu'en raison « du recouvrement des points », pour les espèces à chant puissant (plus particulièrement le Pigeon ramier, le Merle noir, la Grive draine et la Grive musicienne), ces valeurs d'abondance et de fréquence sont fortement surévaluées, et qu'a contrario, pour les roitelets aux chants très aigus et peu audibles de loin, elles sont sous-évaluées ; l'exploitation des données des points d'écoute par la méthode du « distance sampling » a l'avantage de ne pas présenter ce défaut si l'on prend soin de correctement sélectionner les données (détails ci-dessous).

F. Densités estimées par « distance sampling »

Le tableau 3-3 ci-dessous donne, pour chaque espèce analysée, la densité estimée finalement retenue (et l'intervalle de confiance à 95%), parmi celles obtenues avec les différentes variantes de passages et de troncature préalable en distance détaillées ci-dessus au chapitre C.5.b :

- la colonne « Échantillon » identifie l'échantillon = Espèce + Passages + Type d'effectif,
- la colonne « Passages » indique en clair les passages retenus pour l'exploitation,
- il n'y a pas de colonne « Réplicats », pour alléger le tableau, car les 3 réplicats de chaque passage ont systématiquement été utilisés (1+2+3),
- la colonne « Type d'effectif » indique en clair si la densité est en mâles adultes / km², ou en individus adultes / km²,
- la colonne « Densité » donne la densité estimée retenue, en mâles adultes / km², ou en individus adultes / km², selon le type d'effectif analysé,
- les colonnes « Min densité » et « Max densité » donnent l'intervalle de confiance à 95% de cette densité estimée retenue (avec la même unité que la colonne « Densité »),
- la colonne « Nb total contacts » donne le nombre total d'individus (mâles ou tous adultes, selon « Type d'effectif ») contactés lors de l'enquête sur les points d'écoute retenus et passages (avant troncature en distance éventuelle),
- la colonne « Qualité stat. » donne la valeur (entre 0 et 1) de l'indicateur combiné de qualité statistique de l'analyse ayant produit les résultats (c'est une combinaison d'indicateurs statistiques de base de la méthode du « distance sampling », et d'autres paramètres, cherchant à approcher automatiquement une partie des critères de choix d'un analyste humain ; Cf. [MEURET et GUELIN 2023] pour plus de détails) ; le code couleur, du vert foncé - valeur 1 = très bonne qualité - au rouge foncé - valeur 0 = très mauvaise qualité - en passant par les nuances de jaunes et d'orange, facilite la lecture et la comparaison des valeurs,

- la colonne « Dispers. densités » donne la valeur (entre 0 et 1, et au-delà) de l'indicateur de dispersion des densités estimées pour les 8 meilleures analyse retenues par l'automate « pyaudisam », le résultat final présenté correspondant à celui de la meilleure de ces 8 analyses selon le choix de l'analyste humain validant en dernier ressort les résultats de l'automate ; cet indicateur de dispersion est homogène à un coefficient de variation, et peut être considéré comme indiquant une faible qualité des résultats au dessus et aux environs de 0,3 : Cf. [MEURET et GUELIN 2023] ; le code couleur, également sur une échelle du vert foncé - valeur 0 = très faible dispersion - au rouge foncé - valeur 1 ou + = grande dispersion - en passant par les nuances de jaunes et d'orange, facilite la lecture et la comparaison des valeurs ; une dispersion au-delà de 0,25 ou 0,30 est le signe que l'automatisme hésite entre plusieurs modélisations de qualités statistiques proches, avec de densités estimées parfois assez différentes : la densité retenue correspondante, et son intervalle de confiance à 95%, sont donc à considérer avec précaution.

En Annexe 2, on trouvera des détails supplémentaires sur les résultats et indicateurs principaux (graphiques compris) associés à chacune des analyses finalement retenues.

Tableau 3-3 : Densités à plat obtenues, en mâles adultes (pour Adulte = « m ») ou en « tous individus adultes » (pour Adulte = « m+a »), par km², avec intervalle de confiance à 95%, pour les 16 espèces analysées

Echan tillon	Espèce	Pré- trunca ture	Passages	Type d'effec tif	Nb total contacts	Qualité stat.	Dispers. Densités	Min Densité	Densité	Max Densité
0	<i>Periparus ater</i>	150m	1+2	m	270	0,927	0,110	94,0	126,2	169,5
1	<i>Fringilla coelebs</i>	200m	3	m	123	0,956	0,089	59,3	79,4	106,4
2	<i>Erithacus rubecula</i>	150m	2+3	m	236	0,899	0,224	65,3	76,1	88,7
3	<i>Turdus philomelos</i>	200m	1+2+3	m	118	0,728	0,062	6,7	10,1	15,2
4	<i>Troglodytes troglodytes</i>	175m	2+3	m	73	0,725	0,150	7,3	12,4	21,0
5	<i>Sylvia atricapilla</i>	175m	3	m	71	0,849	0,119	31,6	49,9	78,7
6	<i>Regulus regulus</i>	120m	1+2+3	m	85	0,831	0,297	41,3	62,1	93,3
7	<i>Lophophanes cristatus</i>	120m	1+2	m	58	0,859	0,109	29,5	44,7	67,9
8	<i>Certhia familiaris</i>	120m	1+2	m	55	0,599	0,137	22,6	39,8	70,2
9	<i>Turdus merula</i>	175m	2+3	m	43	0,687	0,176	2,7	5,1	9,5
10	<i>Columba palumbus</i>	200m	1+2+3	m	44	0,628	0,250	2,5	3,9	6,2
11	<i>Poecile palustris</i>	120m	1+2	m	35	0,790	0,088	9,8	16,2	26,7
12	<i>Turdus viscivorus</i>	175m	1+2	m	35	0,709	0,212	2,5	4,2	7,1
13	<i>Regulus ignicapilla</i>	120m	2+3	m	29	0,448	0,424	18,8	38,2	77,3
14	<i>Phylloscopus collybita</i>	150m	3	m	22	0,399	0,282	3,4	7,8	17,5
15	<i>Garrulus glandarius</i>	150m	1+2+3	m+a	35	0,770	0,093	5,0	8,4	14,2

N.B. Les densités présentées dans ce tableau sont des densités « à plat », ignorant les pentes naturelles (fortes) du terrain inventorié ; nous avons estimé à ~0.9 (soit -10%) le coefficient multiplicatif qu'il faudrait leur appliquer pour obtenir les densités réelles au niveau du sol (Cf. Annexe 3 pour le détail des calculs et approximations menant à ce coefficient). Ce choix de présenter des densités à plat nous a semblé préférable, pour faciliter les comparaisons avec d'autres études passées (ayant pour la plupart effectué ce même choix) et futures (qui feront probablement de même).

Pour plus de détails, on trouvera ci-dessous une section par échantillon (c'est à dire par espèce) commentant les densités estimées (et arrondies), et les comparant à celles d'autres études (en tenant compte des tendances STOC les plus récentes lorsque ces études sont anciennes) :

- la numérotation et le titre de la section sont les mêmes que ceux de l'annexe 2,
- le titre identifie en détails l'échantillon considéré, en précisant notamment les passages et la distance de troncature préalable retenus ; par exemple, la section « Échantillon 0 : *Periparus ater*, 1+2, 1+2+3, m (pré-troncature à 150m) » traite de l'échantillon numéro « 0 », c'est à dire de la Mésange noire « *Periparus ater* », analysée sur les données des passages « 1+2 », de tous les réplicats « 1+2+3 » et des mâles seuls « m », avec une distance de « pré-troncature à 150m »,
- l'abréviation « IC » signifie « intervalle de confiance ».

1. Échantillon 0 : *Periparus ater*, 1+2, 1+2+3, m (pré-troncature à 150m)



Figure 3-1 : Mésange noire - *Periparus ater* (photo R. Riols)

Un panel d'études par quadrats dans des forêts de moyenne montagne dans les années 1960 à 1980 donne une densité moyenne de 60 couples/km², dans une fourchette de 30 à 140 couples/km² (140 couples/km² en Chaîne des Puys) [GUELIN et GUELIN 1987]. Plus récemment, [LOVATY 2025b] obtient 171 cantons/km² dans un site proche du Livradois-Forez, et cite 2 études du Jura (2017) et du Morvan (2001) dans des milieux assez similaires donnant respectivement 125 et 150 cantons/km². Les tendances de variation à long terme du premier STOC suggèrent un déclin prononcé de -40% en France depuis 1989 [VIGIENATURE STOC TENDANCES] ; celle du nouveau STOC montrent en revanche une certaine stabilité, ou peut-être une légère augmentation, avec +1,5% (IC : - 12 à +17) depuis 2001, augmentation plus nette à +23% en région AuRA [FONTAINE *et al.* 2020], peut-être en partie due aussi à la baisse de la durée d'enneigement [LOVATY 2025b].

La vallée du Fossat offre probablement un habitat assez optimal pour l'espèce avec une densité cohérente de 126 mâles chanteurs/km² (IC à 95% : 94 à 170 ; estimation relativement fiable). Les tendances d'évolution du STOC, en apparence contradictoires à grande échelle, ne permettent pas d'imaginer ce qu'elle était il y a 35 ans.

2. Échantillon 1 : *Fringilla coelebs*, 3, 1+2+3, m (pré-troncature à 200m)



Figure 3-2 : *Pinson des arbres - Fringilla coelebs* (photo R. Riols)

Un panel d'études par quadrats dans des forêts de moyenne montagne dans les années 1960 à 1980 donne une densité moyenne de 77 couples/km², dans une fourchette de 46 à 102 couples/km² (77 couples/km² en Chaîne des Puys) [GUELIN et GUELIN 1987]. Les tendances de variation à long terme du STOC depuis 2001 montrent une légère augmentation de +5% (IC : +2 à +8) pour la France, et une légère diminution de -10% pour la région AuRA [FONTAINE *et al.* 2020].

Pour cette espèce aussi, la vallée du Fossat offre probablement un habitat assez optimal avec une densité de 80 mâles chanteurs/km² (IC à 95% : 59 à 106 ; estimation fiable), même si l'on manque de références sur l'évolution des effectifs avant 2001.

3. Échantillon 2 : *Erithacus rubecula*, 2+3, 1+2+3, m (pré-troncature à 150m)



Figure 3-3 : *Rougegorge familier - Erithacus rubecula* (photo R. Riols)

Un panel d'études par quadrats dans des forêts de moyenne montagne dans les années 1960 à 1980 donne une densité moyenne de 42 couples/km², dans une fourchette de 12 à 69 couples/km² (60 couples/km² en Chaîne des Puys) [GUELIN et GUELIN 1987]. Le STOC estime que depuis 2001, les populations ont diminué de -9% (IC : -13 à -5) en France, mais augmenté de +15% en région AuRA [FONTAINE *et al.* 2020].

Dans la vallée du Fossat, où le nombre de données collectées est très important, l'espèce nous a semblé abondante ; si l'on tient compte de la légère augmentation constatée en AuRA depuis les années 2000, la densité estimée de 76 mâles chanteurs/km² (IC à 95% : 65 à 89 ; estimation assez fiable), semble donc tout à fait cohérente dans ce milieu très favorable.

4. Échantillon 3 : *Turdus philomelos*, 1+2+3, 1+2+3, m (pré-troncature à 200m)



Figure 3-4 : *Grive musicienne - Turdus philomelos* (photo R. Riols)

Un panel d'études par quadrats dans des forêts de moyenne montagne dans les années 1960 à 1980 donne une densité moyenne de 15 couples/km², dans une fourchette de 9 à 22 couples/km² (15 couples/km² en Chaîne des Puys) [GUELIN et GUELIN 1987]. Plus récemment, [LOVATY 2025a] trouve 34 cantons/km² par la méthode des quadrats sur 70 ha de pessière / sapinière géographiquement proche et assez similaire, et cite une étude du Jura (2017) donnant 33 cantons/km². Les tendances STOC à long terme estiment l'espèce stable depuis 2001 en France (-1% ; IC : -6 à +4,5), et en augmentation de +24% en AuRA [FONTAINE *et al.* 2020].

Les boisements de sapinière variée et parfois mixte de la vallée du Fossat constituent probablement un habitat assez optimal pour l'espèce et une densité estimée de 10 mâles chanteurs/km² (IC à 95% : 6,7 à 15 ; estimation à la fiabilité « relative ») apparaît donc un peu faible, d'autant que l'espèce semble augmenter en AuRA depuis une vingtaine d'années au moins ; mais cette valeur est conforme à l'estimation à dires d'expert un peu inférieure (6-7 couples/km², Cf. tableau 3-4 au chapitre G ci-dessous). Cette espèce assez sensible au froid et à la neige se trouve finalement ici peut-être encore un peu limitée, pour l'instant.

Notons que dans son étude, [LOVATY 2025a] a également testé le « distance sampling » et constaté une sous-estimation d'environ 30% des effectifs par cette méthode (l'effectif mesuré étant cela dit assez proche de la borne haute de l'intervalle de confiance donné par le « distance sampling ») ; il a par ailleurs mesuré des densités supérieures (12 à 34 mâles/km² selon les boisements) : cela peut s'expliquer par des boisements peut-être plus favorables, par l'altitude moins élevée, et aussi par le choix de l'auteur de réaliser un inventaire optimisé pour cette espèce, aux heures de pleine activité vocale (aube et crépuscule).

5. Échantillon 4 : *Troglodytes troglodytes*, 2+3, 1+2+3, m (pré-troncature à 175m)



Figure 3-5 : *Troglodyte d'Europe - Troglodytes troglodytes* (photo R. Riols)

Un panel d'études par quadrats dans des forêts de moyenne montagne dans les années 1960 à 1980 donne une densité moyenne de 43 couples/km², dans une fourchette de 6 à 77 couples/km² (35 couples/km² en Chaîne des Puys) [GUELIN et GUELIN 1987]. La tendance à long terme du STOC depuis 2001 à l'échelle de la France est à la baisse (-20%, IC : -23 à -17), tandis qu'à l'échelle de la région AuRA, elle est à la hausse (+10%) [FONTAINE *et al.* 2020].

Avec seulement 12 mâles chanteurs/km² (IC à 95% : 7,3 à 21 ; estimation à la fiabilité très « relative »), la densité du Troglodyte apparaît très faible dans l'ENS, ce qui est conforme au ressenti de terrain (toutefois un peu plus faible, avec 7-8 couples/km², Cf. tableau 3-4 au chapitre G ci-dessous), l'espèce apparaissant ici très liée aux seuls secteurs de gros éboulis assez peu boisés, qui sont loin de constituer la majorité de la surface étudiée.

6. Échantillon 5 : *Sylvia atricapilla*, 3, 1+2+3, m (pré-troncature à 175m)

Figure 3-6 : Fauvette à tête noire - *Sylvia atricapilla* (photo R. Riols)

Un panel d'études par quadrats dans des forêts de moyenne montagne dans les années 1960 à 1980 donne une densité moyenne de 19 couples/km², dans une fourchette de 6 à 50 couples/km² (50 couples/km² en Chaîne des Puys) [GUELIN et GUELIN 1987]. Selon les données du STOC, l'espèce est en hausse depuis 2001 en France (+30%, IC : +26 à +33), de même qu'en région AuRA (+18%) [FONTAINE *et al.* 2020]

Avec 50 mâles chanteurs/km² (IC à 95% : 32 à 79 ; estimation plutôt fiable), la densité de la Fauvette à tête noire dans la vallée du Fossat apparaît donc très forte, équivalente au maximum obtenu dans un quadrat en Chaîne des Puys ... réalisé dans les années 1980. Mais depuis cette période, les effectifs de l'espèce semblent avoir augmenté (même s'il s'agit d'une tendance globale à toutes altitudes, et seulement depuis 2021). Le ressenti de terrain est toutefois assez différent : l'espèce semble d'une part surtout présente sur les lisières et bien plus rare en pleine forêt, et l'estimation du nombre de couples à dire d'expert est d'autre part 3 à 4 fois inférieure aux résultats du « distance sampling » (10-15 couples/km², Cf. tableau 3-4 au chapitre G ci-dessous). Cependant, le fait que l'espèce n'ait été contactée qu'en juin lors du 3ème passage (arrivée tardive des nicheurs à cette altitude) favorise probablement cette impression de faible abondance globale.

7. Échantillon 6 : *Regulus regulus*, 1+2+3, 1+2+3, m (pré-troncature à 120m)

Figure 3-7 : Roitelet huppé - *Regulus regulus* (photo R. Riols)

Un panel d'études par quadrats dans des forêts de moyenne montagne dans les années 1960 à 1980 donne une densité moyenne de 66 couples/km², dans une fourchette de 26 à 122 couples/km² (120 couples/km² en Chaîne des Puys sur un secteur a priori particulièrement favorable) [GUELIN et GUELIN 1987]. Le STOC estime l'espèce en forte baisse depuis 2001 en France (-44% ; IC : -52 à -34), ainsi qu'en région AuRA (-39%) [FONTAINE *et al.* 2020], avec une relative atténuation de ce déclin (-23%) sur les 10 dernières années, à l'échelle de la France [VIGIENATURE STOC TENDANCES].

Avec 62 mâles chanteurs/km² dans la vallée du Fossat (IC à 95% : 41 à 93 ; estimation plutôt fiable), la densité obtenue peut donc être considérée comme élevée, les chiffres du passé n'étant manifestement plus d'actualité. Pourtant, l'espèce nous a semblé timide dans ses manifestations vocales, très irrégulières, d'où la nettement plus faible estimation à dires d'expert (>10-15 couples/km², Cf. tableau 3-4 au chapitre G ci-dessous).

8. Échantillon 7 : *Lophophanes cristatus*, 1+2, 1+2+3, m (pré-troncature à 120m)

Figure 3-8 : Mésange huppée - *Lophophanes cristatus* (photo R. Riols)

Un panel d'études par quadrats dans des forêts de moyenne montagne dans les années 1960 à 1980 donne une densité moyenne de 27 couples/km², dans une fourchette de 8 à 53 couples/km² (23 couples/km² en Chaîne des Puys) [GUELIN et GUELIN 1987]. Selon le STOC, l'espèce est en légère baisse depuis 2001 à l'échelle de la France (-8%, IC : -26 à +14), mais en augmentation à l'échelle de l'AuRA (+28,9%) [FONTAINE *et al.* 2020] ; on n'a pas d'informations fiables sur la période avant 2001 en France [VIGIENATURE STOC TENDANCES].

Avec 45 mâles chanteurs/km² dans la vallée du Fossat (IC à 95% : 29 à 68 ; estimation plutôt fiable), la densité y serait donc particulièrement élevée, en conformité avec nos références anciennes, et l'évolution estimée par le STOC en AuRA depuis 2001 (mais pas avec le ressenti de terrain, nettement inférieur, Cf. tableau 3-4 au chapitre G ci-dessous). Pourtant l'espèce affectionne d'avantage les pinèdes que les pessières ...

9. Échantillon 8 : *Certhia familiaris*, 1+2, 1+2+3, m (pré-troncature à 120m)

Figure 3-9 : *Grimpereau des bois - Certhia familiaris* (photo R. Riols)

Un panel d'études par quadrats dans des forêts de moyenne montagne dans les années 1960 à 1980 donne une densité moyenne de 27 couples/km², dans une fourchette de 5 à 78 couples/km² (15 couples/km² en Chaîne des Puys) [GUELIN et GUELIN 1987]. La tendance STOC à long terme est incertaine à l'échelle de la France au XXI^{ème} siècle (-9%, mais IC : -43 à +45), peut-être à la baisse en AuRA (-17%), même si l'intervalle de confiance de cette estimation n'a pas été publié [FONTAINE *et al.* 2020].

Avec 40 mâles chanteurs/km² dans la vallée du Fossat (IC à 95% : 23 à 70 ; estimation de fiabilité assez moyenne), la densité y serait donc particulièrement forte. L'estimation à dire d'expert est 5-6 fois inférieure (7-8 couples/km², Cf. tableau 3-4 au chapitre G ci-dessous), mais il n'est pas impossible qu'il existe un biais sur cette espèce : elle a en effet été peu contactée dans l'ENS à l'exception de certains points d'écoute où elle s'est montrée très présente ; mais ces oiseaux s'entendent finalement d'assez loin, et leur chant très aigu complique de fait l'estimation de leur position réelle : on a peut-être donc sous-évalué les distances de contact. Un nouvel inventaire serait utile pour valider ou non cette densité très forte, bien que moitié moindre à la plus forte disponible dans la bibliographie.

10. Échantillon 9 : *Turdus merula*, 2+3, 1+2+3, m (pré-troncature à 175m)

Figure 3-10 : Merle noir - *Turdus merula* (photo R. Riols)

Un panel d'études par quadrats dans des forêts de moyenne montagne dans les années 1960 à 1980 donne une densité moyenne de 12 couples/km², dans une fourchette de 2 à 29 couples/km² (2 couples/km² en Chaîne des Puys) [GUELIN et GUELIN 1987]. D'après le STOC, l'espèce est en légère augmentation depuis 2001 en France (+7%, IC : +4 à +10) et en AuRA (+5,5%) [FONTAINE *et al.* 2020].

Avec 5 mâles chanteurs/km² dans la vallée du Fossat (IC à 95% : 2,7 à 9,5 ; estimation de fiabilité très moyenne), la densité y serait donc faible, en conformité avec l'estimation à dires d'expert (5-7 couples/km², Cf. tableau 3-4 au chapitre G ci-dessous). Le Merle est peu présent en forêt de montagne même si l'on considère que le réchauffement climatique pourrait le favoriser. Cette estimation semble au final très cohérente.

11. Échantillon 10 : *Columba palumbus*, 1+2+3, 1+2+3, m (pré-troncature à 200m)

Figure 3-11 : Pigeon ramier - *Columba palumbus* (photo R. Riols)

Un panel d'études par quadrats dans des forêts de moyenne montagne dans les années 1960 à 1980 donne une densité moyenne de 1,6 couples/km², dans une fourchette de 1 à 4 couples/km² (1 couples/km² en Chaîne des Puys) [GUELIN et GUELIN 1987]. Le STOC donne l'espèce en forte augmentation depuis 2001 en France (+100%, IC : 92 à 109) et en AuRA (+98%) [FONTAINE *et al.* 2020], et ce de manière globale, sans distinguer les milieux naturels ou les altitudes.

Avec 4 mâles chanteurs/km² dans la vallée du Fossat (IC à 95% : 2,5 à 6 ; estimation de fiabilité très moyenne), la densité y serait donc forte, en conformité avec l'estimation à dires d'expert (3-5 couples/km², Cf. tableau 3-4 au chapitre G ci-dessous). La comparaison avec la bibliographie est toutefois très hasardeuse puisque ces références sont anciennes et que les populations du Pigeon ramier ont depuis explosé partout, et notamment en montagne. L'espèce reste délicate à inventorier car elle possède des territoires assez vastes et les chanteurs se déplacent beaucoup, ce qui est susceptible d'entraîner des doubles comptages et donc une surestimation.

12. Échantillon 11 : *Poecile palustris*, 1+2, 1+2+3, m (pré-troncature à 120m)

Figure 3-12 : *Mésange nonnette - Poecile palustris* (photo R. Riols)

Un panel d'études par quadrats dans des forêts de moyenne montagne dans les années 1960 à 1980 donne une densité moyenne de 12 couples/km², dans une fourchette de 4 à 25 couples/km² (espèce absente dans le secteur d'étude de la Chaîne des Puys) [GUELIN et GUELIN 1987]. Selon les données du STOC, l'espèce serait en légère augmentation en France, avec +9% (IC : -10 à +32) depuis 2001 [FONTAINE *et al.* 2020], et +9% aussi depuis 1989 [VIGIENATURE STOC TENDANCES], mais en baisse en AuRA (-24,5%) [FONTAINE *et al.* 2020].

Avec 16 mâles chanteurs/km² dans la vallée du Fossat (IC à 95% : 9,8 à 27 ; estimation relativement fiable), la densité y serait donc plutôt forte, même en tenant compte de l'évolution à long terme de l'espèce. L'estimation à dire d'expert est de moitié inférieure (6-7 couples/km², Cf. tableau 3-4 au chapitre G ci-dessous), mais comme pour le Grimpereau des bois, il n'est pas impossible qu'il existe un biais sur l'estimation des populations de cette espèce, très présente sur des points d'écoute particuliers, et peu contactée ailleurs.

13. Échantillon 12 : *Turdus viscivorus*, 1+2, 1+2+3, m (pré-troncature à 175m)

Figure 3-13 : Grive draine - *Turdus viscivorus* (photo R. Riols)

Un panel d'études par quadrats dans des forêts de moyenne montagne dans les années 1960 à 1980 donne une densité moyenne de 9 couples/km², dans une fourchette de 4 à 20 couples/km² (7 couples/km² en Chaîne des Puys) [GUELIN et GUELIN 1987]. L'espèce est donnée pour stable en France par les tendances STOC de long terme : -0,2% (IC : -10 à +10,5) depuis 2001, mais en augmentation de +24% en AuRA depuis la même année [FONTAINE *et al.* 2020] ; à plus long terme, il y aurait un déclin de -20 % depuis 1989 à l'échelle de la France, mais une augmentation modérée de +10% dans les 10 dernières années [VIGIENATURE STOC TENDANCES].

Avec 4 mâles chanteurs/km² dans la vallée du Fossat (IC à 95% : 2,4 à 7,1 ; estimation très moyennement fiable), la densité y serait donc assez faible, en conformité avec l'estimation à dires d'expert (3-4 couples/km², Cf. tableau 3-4 au chapitre G ci-dessous). Comme le Pigeon ramier, la Grive draine occupe des territoires d'assez grande surface et les mâles chanteurs se déplacent régulièrement de la cime d'un arbre à celle d'un autre à distance, ce qui complique son recensement. L'espèce affectionne particulièrement les sapinières, ainsi que les estives des Hautes Chaumes pour se nourrir. Une si faible densité ici pose tout de même question ...

14. Échantillon 13 : *Regulus ignicapilla*, 2+3, 1+2+3, m (pré-troncature à 120m)

Figure 3-14 : Roitelet à triple bandeau - *Regulus ignicapilla* (photo R. Riols)

Un panel d'études par quadrats dans des forêts de moyenne montagne dans les années 1960 à 1980 donne une densité moyenne de 55 couples/km², dans une fourchette de 1 à 152 couples/km² (152 couples/km² en Chaîne des Puys sur un secteur de forêt mixte particulièrement favorable) [GUELIN et GUELIN 1987]. Depuis 2001, la tendance STOC donne l'espèce en forte augmentation en France (+79%, IC : 55 à 107), y compris en région AuRA (+78%) [FONTAINE *et al.* 2020] ; alors qu'à plus long terme, à l'échelle de la France, l'espèce est considérée en déclin modéré (-20 % depuis 1989) [VIGIENATURE STOC TENDANCES].

Avec 38 mâles chanteurs/km² dans la vallée du Fossat (IC à 95% : 19 à 77 ; estimation très moyennement fiable), la densité y serait donc moyenne, voire faible si l'on tient compte de la tendance à l'augmentation de l'espèce sur le long terme ; mais la sapinière n'est pas son biotope de prédilection, ce qui nous incite à trouver cette estimation assez cohérente.

15. Échantillon 14 : *Phylloscopus collybita*, 3, 1+2+3, m (pré-troncature à 150m)

Figure 3-15 : *Pouillot véloce - Phylloscopus collybita* (photo R. Riols)

Un panel d'études par quadrats dans des forêts de moyenne montagne dans les années 1960 à 1980 donne une densité moyenne de 8 couples/km², dans une fourchette de 1 à 17 couples/km² (13 couples/km² en Chaîne des Puys) [GUELIN et GUELIN 1987]. L'espèce semble en légère baisse sur le long terme selon les données du STOC depuis 2001, avec en effet -11% (IC : -14 à -7,5) à l'échelle de la France, et -5% pour la région AuRA [FONTAINE *et al.* 2020].

Avec 8 mâles chanteurs/km² dans la vallée du Fossat, la densité y serait donc moyenne (IC à 95% : 3,5 à 17 ; estimation à considérer avec circonspection). L'estimation à dires d'expert est un peu inférieure (5-7 couples/km², Cf. tableau 3-4 au chapitre G ci-dessous). Cependant, le fait que l'espèce n'ait été contactée qu'en juin lors du 3ème passage biaise probablement la perception vers celle d'une faible abondance globale. Par ailleurs, le Pouillot véloce n'est pas une espèce de sapinière de montagne, et la plupart des contacts concernent les lisières du fond de la vallée : cette densité semble donc finalement cohérente.

16. Échantillon 15 : *Garrulus glandarius*, 1+2+3, 1+2+3, m+a (pré-troncature à 150m)

Figure 3-16 : *Geai des chênes - Garrulus glandarius* (photo R. Riols)

Un panel d'études par quadrats dans des forêts de moyenne montagne dans les années 1960 à 1980 donne des densités toujours proches de 1 couple/km² [GUELIN et GUELIN 1987]. La tendance à long terme estimée à l'aide des données du STOC montre une légère augmentation depuis 2001 en France (+23%, IC : +13 à +34), et à une relative stabilité en région AuRA (+4,4%) [FONTAINE *et al.* 2020].

Avec 8 individus/km² (IC à 95% : 5 à 14 ; estimation de bonne fiabilité, mais un peu entachée par le peu de données à faibles distances), que l'on considère ici comme 4 couples/km² dans l'ENS de la vallée du Fossat, la densité y serait donc forte pour une zone de montagne totalement dépourvue de chênes.

Cette espèce reste très difficile à recenser du fait de sa discrétion absolue en période de reproduction (raison probable du faible nombre de contacts au deuxième passage), ou a contrario de ses chants et parades collectives exubérantes du début du printemps impliquant mâles et femelles se déplaçant sur de grandes distances et pouvant donc faire l'objet de doubles comptages. Les données utilisées ici ne sont cependant pas concernées par ces potentiels doublons, puisqu'elles correspondent pour la plupart à des individus chanteurs (mais sont-ce tous des mâles ?), et qu'on a bien veillé à en supprimer les éventuels groupes bruyants du début de printemps. Mais une incertitude inhérente à l'espèce subsiste, puisqu'on ne peut compter les geais qu'en individus et non en mâles chanteurs, faute de savoir distinguer les émissions sonore des 2 sexes ; peut-être tous les individus cantonnés ne se reproduisent-ils pas ?

G. Estimation des populations dans l'ENS

A partir des densités « à plat » par km² estimées par « distance sampling », on applique un premier coefficient multiplicatif de 3,04 (surface boisée au sein de l'ENS) puis un second de 0,9 (soit -10% de correction à cause des fortes pentes : Cf. Annexe 3 pour la méthode de calcul de ce coefficient), ce qui permet d'obtenir les estimations des populations d'oiseaux dans les 304 hectares boisés de l'ENS.

Les valeurs obtenues sont présentées dans le tableau 3-4 ci-dessous, et on y a ajouté les estimations « à dires d'expert » pour l'ensemble des espèces nicheuses dans l'ENS, Hautes Chaumes exclues, estimations faites par l'auteur des inventaires sur le terrain, selon son intuition et ses impressions d'expert du sujet, ainsi que du site étudié après tant d'heures passées sur place durant l'étude.

Tableau 3-4 : Estimations des populations d'oiseaux au sein de l'ENS à dires d'expert, et par la méthode du « distance sampling » (pour le sous-ensemble des 16 espèces les plus abondantes).

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Estimation pop ENS Min	Estimation pop ENS	Estimation pop ENS Max	Type d'effectif	Estimation à dire d'expert
Mésange noire	<i>Periparus ater</i>	257	345	464	m	>100 cpl
Pinson des arbres	<i>Fringilla coelebs</i>	162	217	291	m	>70 cpl
Rougegorge familier	<i>Erithacus rubecula</i>	179	208	243	m	>60 cpl
Roitelet huppé	<i>Regulus regulus</i>	113	170	255	m	>40 cpl
Fauvette à tête noire	<i>Sylvia atricapilla</i>	86	136	215	m	30-40 cpl
Mésange huppée	<i>Lophophanes cristatus</i>	81	122	186	m	>30 cpl
Grimpereau des bois	<i>Certhia familiaris</i>	62	109	192	m	20-25 cpl
Roitelet à triple bandeau	<i>Regulus ignicapilla</i>	52	104	211	m	>20 cpl
Mésange nonnette	<i>Poecile palustris</i>	27	44	73	m	20 cpl
Troglodyte mignon	<i>Troglodytes troglodytes</i>	20	34	57	m	20-25 cpl
Grive musicienne	<i>Turdus philomelos</i>	18	28	42	m	20 cpl
Geai des chênes	<i>Garrulus glandarius</i>	14	23	39	m+a	?
Pouillot véloce	<i>Phylloscopus collybita</i>	9	21	48	m	15-20 cpl
Merle noir	<i>Turdus merula</i>	7	14	26	m	15-20 cpl
Grive draine	<i>Turdus viscivorus</i>	7	11	19	m	10 cpl
Pigeon ramier	<i>Columba palumbus</i>	7	11	17	m	10-15 cpl
Pic épeiche	<i>Dendrocopos major</i>					> 3 cpl
Grimpereau des jardins	<i>Certhia brachydactyla</i>					> 3 cpl
Bergeronnette des ruisseaux	<i>Motacilla cinerea</i>					3-4 cpl
Buse variable	<i>Buteo buteo</i>					2-3 cpl
Pic noir	<i>Dryocopus martius</i>					2-3 cpl
Mésange à longue queue	<i>Aegithalos caudatus</i>					2-3 cpl
Bouvreuil pivoine	<i>Pyrrhula pyrrhula</i>					2-3 cpl
Sittelle torchepot	<i>Sitta europaea</i>					> 2 cpl
Tarin des aulnes	<i>Carduelis spinus</i>					> 2 cpl
Épervier d'Europe	<i>Accipiter nisus</i>					1-2 cpl
Grosbec casse-noyaux	<i>Coccothraustes coccothraustes</i>					1-2 cpl
Mésange charbonnière	<i>Parus major</i>					> 1 cpl
Bondrée apivore	<i>Pernis apivorus</i>					1 cpl
Autour des palombes	<i>Accipiter gentilis</i>					1 cpl
Chouette hulotte	<i>Strix aluco</i>					1 cpl
Corneille noire	<i>Corvus corone</i>					1 cpl
Accenteur mouchet	<i>Prunella modularis</i>					0-2 cpl
Rougequeue à front blanc	<i>Phoenicurus phoenicurus</i>					0-2 cpl
Coucou gris	<i>Cuculus canorus</i>					0-1 cpl
Cincle plongeur	<i>Cinclus cinclus</i>					0-1 cpl
Bergeronnette grise	<i>Motacilla alba</i>					0-1 cpl
Pouillot siffleur	<i>Phylloscopus sibilatrix</i>					0-1 cpl
Bec-croisé des sapins	<i>Loxia curvirostra</i>					0-1 cpl
Mésange boréale	<i>Poecile montanus</i>					non détectée
Chouette de Tengmalm	<i>Aegolus funereus</i>					non détectée
Chevêchette d'Europe	<i>Glaucidium passerinum</i>					non détectée

Discussion et conclusion

Cet inventaire réalisé en forêt de montagne où domine la sapinière apporte des données nouvelles et pertinentes, jusque-là très peu disponibles en Auvergne. Les méthodes de collecte et d'analyse des données constituent une première régionale dans ce type d'habitat. Malgré cela, nous avons tenté de comparer les densités obtenues à celles estimées par d'autres études menées en France avec d'autres techniques de recensement (quadrats), souvent anciennes et concernant généralement de petites surfaces dans des milieux riches, en essayant de tenir compte des évolutions à long terme données par le STOC.

Le choix de faire un assez grand nombre de points d'écoutes (25 sur 300 ha) pour disposer d'un jeu de données suffisant à l'analyse des espèces les plus abondantes par « distance sampling » s'est heurté aux problèmes d'accessibilité des versants de la vallée : ainsi plusieurs points se sont révélés trop proches les uns des autres et ont dû être exclus de certaines analyses pour limiter les doubles comptages.

Les densités des 16 espèces les plus abondantes estimées par « distance sampling » apparaissent le plus souvent fiables (8 / 16) ou moyennement fiables (3 / 16) statistiquement, et cohérentes avec ce qu'ont estimé les études comparables citées en référence (10 / 16 cohérentes ou très cohérentes, 3 / 16 moyennement cohérentes), avec quelques surprises cependant par comparaison à ce que le terrain permettait d'imaginer a priori. Les problèmes de fiabilité statistique des estimations sont souvent dus au faible nombre de données exploitables (le seuil d'exploitabilité choisi - 20 individus contactés - est sans doute un peu faible). Quant aux doutes exprimés sur la cohérence de certaines estimations (lorsqu'elles sont fiables statistiquement), ils peuvent s'expliquer de manière différentes selon les espèces :

- certaines espèces sont plutôt liées au lisières (Pouillot véloce, Fauvette à tête noire) ou assez localisées (Troglodyte, Grimpereau des bois, Mésange nonnette) : l'échantillon est peut-être trop limité pour permettre des estimations fiables pour ces espèces à la répartition assez hétérogène,
- certaines espèces semblent poser plus de problèmes que les autres pour l'évaluation (déjà difficile en forêt persistante) des distances de contact (Grimpereau des bois, pour son chant aigu, Pigeon ramier et Grive draine pour leurs chants qui portent loin et leurs grands territoires) : cette imprécision ne peut que se propager aux valeurs de densité estimées (intervalles de confiances élargis).

D'autres recensements permettraient sans nul doute d'affiner ces estimations : c'est dans ce but qu'on été réalisés en 2024 sur le même site des transects, en lieu et place de points d'écoute ; les transects présentent en effet l'intérêt d'enregistrer un nombre plus important de données et d'améliorer la précision de la localisation des oiseaux par triangulation ; les problèmes d'accessibilité et de cheminement restent cependant entiers ... et la réflexion ouverte ...

Quant aux espèces moins nombreuses et / ou non analysables par « distance sampling », une estimation à dires d'expert a été proposée. La rareté de plusieurs d'entre elles (Bécasse des bois, Pic épeiche, Sittelle torchepot, Grimpereau des jardins, Mésange charbonnière, Bouvreuil pivoine) voire leur absence (Mésange boréale, Mésange bleue, Chouette de Tengmalm et Chevêchette d'Europe) nous interrogent. Malgré le caractère finalement encore très montagnard de cette vallée, en témoignent l'absence jusqu'à début mai des passereaux insectivores, ou encore la rareté d'espèces habituellement très communes à plus basse altitude, le réchauffement climatique semble

pourtant déjà bien à l'œuvre avec la probable disparition de la Mésange boréale par exemple, ainsi que celle du Merle à plastron [CLAMENS 2019] des lisières supérieures.

Remerciements

Merci à Jean-Claude Corbel du PNR Livradois-Forez pour son aide aux préparatifs de terrain (carte des sentiers, repérage d'accessibilité sur le terrain).

Merci à François Guélin, bénévole à la LPO DT Auvergne, pour nous avoir accompagné dans nos échanges et nos questionnements, et pour la validation du protocole mis en place dans cette étude.

Merci aux relecteurs Alex Clamens, Jean-François Carrias et Jean-Pierre Dulphy, pour les améliorations proposées, et en particuliers pour leurs conseils de réorganisation du rapport d'étude au PNR Livradois-Forez dont cet article est issu.

Quant aux auteurs, en dehors de la rédaction de cet article partagée à 4 mains :

- Romain Riols, chargé de missions au service connaissance et préservation de la biodiversité de la DT LPO Auvergne, a mené à bien l'ensemble du travail de préparation des inventaires (définition du protocole, cartographie, planification) ainsi que la réalisation de ces inventaires sur le terrain,
- Jean-Philippe Meuret, bénévole à la LPO DT Auvergne, a effectué le travail de préparation finale des données de terrain, les analyses pour l'estimation des densités par « distance sampling », le dépouillement des résultats associés et la mise en forme de cet article à partir du rapport d'étude au PNR Livradois-Forez.

Bibliographie

[BLONDEL *et al.*] BLONDEL J., FERRY C. et FROCHOT B., 1970. La méthode des Indices Ponctuels d'Abondance (I.P.A.) ou des relevés d'abondance par « stations d'écoute ». *Alauda* 38, 1970 : 55-71.

[CLAMENS 2019] CLAMENS A., 2019. Évaluation des populations auvergnates de Merle à plastron (*Turdus torquatus*) : résultats de l'enquête régionale 2017-2018. *Le Grand Duc*, 87 : 11-20.

[BUCKLAND *et al.* 1993] BUCKLAND S.T., ANDERSON D.R., BURNHAM K.P. and LAAKE J.L. 1993. Introduction to Distance Sampling : Estimating Abundance of Biological Populations. Chapman & Hall, London, UK.

[BUCKLAND *et al.* 2001] BUCKLAND S.T., ANDERSON D.R., BURNHAM K.P., LAAKE J.L., BORCHERS D.L. and THOMAS L. 2001. Introduction to Distance Sampling. Oxford University Press, Oxford, UK.

[GUELIN *et al.* 1987] GUELIN F. et GUELIN R., 1987. L'avifaune nicheuse d'une pessière-hêtraie de la Chaîne des Puys. *Le Grand Duc*, 30 : 1-11.

[GUELIN *et al.* 2018] GUELIN F., CARRIAS J.-F., CLAMENS A., MEURET J.-P. et SAULAS G., 2018. Évaluation des populations de passereaux communs nicheurs d'un plateau agricole du

Puy-de-Dôme (France) par la méthode du « distance sampling ». *Alauda* 86 4294 (4), 2018 : 279-298.

[GUELIN *et al.* 2020] GUELIN F., LEROY T., CLAMENS A., JALLAGEAS C., 2020. Étude des oiseaux nicheurs subalpins d'une vallée du massif du Sancy (63) par la méthode de cartographie des territoires. Résultats du printemps 2019. *Le Grand Duc*, 88 : 53-74.

[GUELIN et LALLEMANT 2022] GUELIN F. et LALLEMANT J.-J., 2022. Recensement par quadrat de l'avifaune nicheuse d'une plaine agricole avec fossés humides de Limagne clermontoise (63) au printemps 2021. *Le Grand Duc*, 90 : 9-21.

[FONTAINE *et al.* 2020] FONTAINE B., MOUSSY C., CHIFFARD CARRICABURU J., DUPUIS J., CORROLEUR E., SCHMALTZ L., LORILLIERE R., LOIS G., GAUDARD C. 2020. Suivi des oiseaux communs en France 1989-2019 : 30 ans de suivis participatifs. MNHN - Centre d'Ecologie et des Sciences de la Conservation, LPO BirdLife France - Service Connaissance, Ministère de la Transition écologique et solidaire. 46 p. Disponible sur www.vigienature.fr/sites/vigienature/files/atoms/files/syntheseoiseauxcommuns2020_final.pdf.

[LALLEMANT 2012] LALLEMANT J.J., 2012. L'avifaune remarquable de l'ENS de la vallée du Fossat. Rapport LPO Auvergne, 19 p.

[LOVATY 2025a] LOVATY F., 2025. La Grive musicienne *Turdus philomelos* dans une pessière-sapinière du Livradois-Forez (Massif Central - France). *Alauda*, 93 : 137-144.

[LOVATY 2025b] LOVATY F., 2025. Recensement de la Mésange noire *Periparus ater* dans une pessière-sapinière du Livradois-Forez. *Le Grand Duc*, 94 : 53-58.

[MEURET et GUELIN 2023] MEURET J.-P. et GUELIN F., 2023. L'avifaune de plateaux agricoles granitiques au sud de Clermont-Ferrand - Estimation des populations d'oiseaux nicheurs communs au printemps 2019 par la méthode du distance sampling et comparaison de plusieurs méthodes et durées d'inventaire. *Le Grand Duc*, 91 : 27-83.

[NATURALIST] Faune-France.org. NaturaList : une véritable révolution ! Une application pour smartphone de saisie de données sur le terrain www.faune-france.org/index.php?m_id=20015 (consulté le 15/01/2024), éditée par BioloVision SARL www.bioloVision.net permettant d'alimenter la base de données faune-france.org, gérée par la LPO et de très nombreuses associations naturalistes partenaires.

[PULP] Un module écrit en langage Python 3 www.python.org (consulté le 15/01/2024) pour formaliser et résoudre des systèmes linéaires d'équations ou d'inéquations. Disponible sur pypi.org/project/PuLP (consulté le 20/01/2024).

[PYAUDISAM] PyAuDiSam, alias « **P**ython **A**utomated **D**istance **S**ampling ». Un module et un programme écrit en langage Python 3 www.python.org pour l'automatisation des analyses par « distance sampling » via MCDS et de leur dépouillement : pypi.org/project/pyaudisam, github.com/denmedius/pyaudisam (consultés le 15/12/2025).

[RIGAUX 2010] RIGAUX P., 2010. L'Avifaune de l'ENS de la vallée du Fossat. Rapport LPO Auvergne, 26 p.

[THOMAS *et al.* 2010] THOMAS L., BUCKLAND S.T., REXSTAD E.A., LAAKE J.L., STRINDBERG S., HEDLEY S.L., BISHOP J. R.B., MARQUES T.A., and BURNHAM K.P. 2010. Distance software: design and analysis of distance sampling surveys for estimating population size. *Journal of Applied Ecology* 47: 5-14. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2009.01737.x. Disponible sur besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1365-2664.2009.01737.x (consulté le 20/01/2024).

[VERITE 2021] VERITE M., 2021. Etude de l'avifaune nicheuse de la Réserve Naturelle Nationale des Sagnes de la Godivelle en 2019. *Le Grand Duc*, 89 : 11-18.

[VIGIENATURE EPOC] VigieNature : Le protocole EPOC (Estimation des Populations d'Oiseaux Communs) de la LPO (Ligue pour la Protection des Oiseaux) et du MNHN (Museum National d'Histoire Naturel) de points d'écoutes de 5mn. Disponible sur www.vigienature.fr/fr/actualites/epoc-suivi-complementaire-stoc-oiseaux-jardins-3763 (consulté le 15/01/2024).

[VIGIENATURE STOC TENDANCES] : VigieNature : Suivi Temporel des oiseaux Communs - Résultats par espèce. Disponible sur <https://www.vigienature.fr/fr/resultats-especes-3367> (consulté le 20/01/2024).

[WIKIPÉDIA KDE] Wikipédia. Estimation de densité par noyau (Kernel Density Estimator en Anglais), ou méthode de Parzen-Rosenblatt. Disponible sur fr.wikipedia.org/wiki/Estimation_par_noyau (consulté le 20/01/2024).

[WIKIPÉDIA LENTILLE SYMÉTRIQUE] Wikipédia. Lentille. Calcul de son aire dans le cas symétrique. Disponible sur [fr.wikipedia.org/wiki/Lentille_\(géométrie\)#Aire](https://fr.wikipedia.org/wiki/Lentille_(géométrie)#Aire) (consulté le 20/01/2024).

[WIKIPÉDIA OPTIMISATION LINÉAIRE] Wikipédia. Optimisation linéaire. Disponible sur fr.wikipedia.org/wiki/Optimisation_linéaire (consulté le 20/01/2024).

Annexe 1. Vérification, nettoyage, et sélection des données de terrain

1. Vérification et nettoyage des données

Les données brutes de terrain, recueillies par un seul observateur expérimenté, n'ont nécessité quasiment aucun nettoyage et aucune correction « technique » a posteriori :

- malgré un dysfonctionnement de l'appli. lors d'un point d'écoute, la trace GPS n'en a pas été affectée (pas de correction),
- un point d'écoute, de durée effective correcte d'au moins 4mn selon les données enregistrées, avait une date de fin incorrecte (corrigée à la main),

Sur le plan des conditions obligatoires pour que les données des points d'écoute soient exploitables par « distance sampling », il n'y a eu aucun « déchet » :

- points d'écoute de durée de 4, 5 ou 6 minutes (en fait, les secondes du chronomètre n'étant pas accessibles, ce sont donc des EPOCs durant entre 4mn 0s et 6mn 59s, durée un peu large, mais pragmatique, qui permet à l'observateur parfois débordé de finir la saisie complète de son EPOC, et « récupère » certains EPOCs arrêtés quelques secondes trop tôt),
- listes « complètes » : notation de toutes les espèces contactées (1 point d'écoute correspond à 1 « liste », encore appelée « formulaire », dans Naturalist, et rassemble toutes les données du point d'écoute),
- listes « localisées précisément » (la position réelle de chaque oiseau contacté est relevée par pointage sur carte / photo. satellite),
- trace GPS enregistrée et utilisable (parfois, de rares listes exhibent par exemple 2 traces entièrement différentes selon les données, mais ce n'est pas arrivé ici).

Dans leur très grande majorité, les points d'écoute ont été effectués par bonne conditions météo, et aux heures recommandées par le protocole EPOC (entre 30mn et 4h après le lever du jour) ; cependant,

- un petit nombre a été effectué en fin de matinée, entre 11h et 12h, la météo et l'activité soutenue des chanteurs justifiant parfaitement ces « entorses » au protocole,
- environ 10% ont été effectués sous un vent modéré à fort gênant l'écoute.

Tous ces points aux limites du protocole ont été **conservés** pour les analyses.

D'autres vérifications ont été menées sur les listes et leurs données, essentiellement sur les distances de contact (observateur - oiseau), afin de détecter des aberrations ou défauts moins évidents de respect du protocole EPOC « avec localisation précise des contacts » :

- distances individuelles aberrantes (> 1500 m) : sur un point seul d'écoute, une seule donnée de ce type a été détectée, et éliminée (distance > 3000 m !),
- distance moyenne des contacts par liste < 1000 m (au dessus, il y a forcément un gros problème d'enregistrement de la trace) : aucun cas relevé,
- écart-type des distances de contact > 1 m (en dessous, signe que tous les contacts ont été localisés au même endroit, et donc que très probablement, les contacts n'ont pas été positionnés précisément en réalité) : aucun cas relevé,
- distance moyenne des contacts < 300 m ou écart-type des distances de contact $> 20\%$ de la distance moyenne des contacts (les listes à distance moyenne forte, et écart-type de distances proportionnellement faible sont suspectes d'un gros problème d'enregistrement de la trace, tous les contacts étant localisés très loin du point moyen de la trace) : aucun cas relevé

N.B. Les distance observateur - oiseau ont été calculées en 2 temps, sur chaque point d'écoute :

1. estimation de la géolocalisation de l'observateur : elle est faite à partir de la trace GPS enregistrée par l'appli. Naturalist, en utilisant « un estimateur de densité par noyau » [WIKIPÉDIA KDE] qui permet d'éliminer les éventuels points GPS aberrants qui apparaissent parfois dans une trace (ce qu'une simple moyenne des points de la trace ne permet pas),
2. calcul de la distance euclidienne après projection Lambert 93 des coordonnées de l'observateur et de chaque oiseau contacté (approximation conique de la surface terrestre, de référence en France et en Europe).

Par ailleurs, certaines vérifications plus ornithologiques ont été effectuées, en cohérence avec l'objectif d'estimer les densités d'oiseaux nicheurs, mais sans détecter la moindre donnée à éliminer :

- aucune donnée de groupes de célibataires en fin d'hivernage / parades précoces / ... (ex: Geai des chênes, autres corvidés, étourneaux, ...),
- aucune donnée de nichées avec juvéniles probables mais non comptés.

c. Sélection des espèces et des passages à analyser

Nous avons sélectionné les espèces cibles selon les critères suivants (et donc éliminé les autres de l'étude) :

- espèces connues pour, ou fortement soupçonnées d'être, nidificatrices dans la réserve,
- nombre total de mâles ou d'individus adultes contactés ≥ 20 , tous passages cumulés [GUELIN *et al.* 2018] [MEURET et GUELIN 2023],
- espèces adaptées à l'extrapolation par « distance sampling » : répartition supposée homogène partout (= pas trop localisées), déplacements quotidiens limités (domaine vital réduit), ...

Pour chaque espèce, en effet, le type d'effectif analysé - mâles seuls, ou tous adultes - a été choisi selon les critères suivants :

- les mâles seuls pour les espèces à chants mâles bien marqués et fréquents, ou pour lesquelles les femelles sont nettement moins détectables que les mâles,
- tous les adultes dans les autres cas : espèces à chants peu fréquents ou peu différenciables entre sexes, espèces sans dimorphisme sexuel évident, ...

Ce qui donne une liste de 16 espèces d'intérêt a priori exploitables (espèces surlignées en vert dans le tableau A1-1 ci-dessous).

Mais une première analyse temporelle des données de terrain a montré logiquement d'assez grandes disparités dans les périodes de présence / activité facilement détectable des espèces ciblées ; l'expérience de la phénologie de ces espèces, mais aussi les doutes sur cette phénologie pour certaines espèces, à des altitudes finalement peu étudiées en Auvergne [GUELIN et GUELIN 1987] (presque aucune donnée de Fauvette à tête noire ou de Pouillot véloce début mai !) nous ont donc conduit :

- à choisir d'écarter certains passages pour certaines espèces,
- mais aussi à décider ... de ne pas choisir tout de suite, pour tester différentes sélections de passages lors des analyses

(en vert pour les passages « assurés », et en orange pour ceux qu'ils convenait de tester aussi, dans le tableau A1-1 ci-dessous).

Tableau A1-1 : *Espèces potentiellement nicheuses, avec les nombres totaux d'individus contactés par passage : en vert (à gauche) les espèces retenues, en vert et orange (à droite) les passages retenus (respectivement dans tous les tests, et dans certains tests)*

Espèce		Passage 1	Passage 2	Passage 3	Total
Periparus ater	Mésange noire	155	201	81	437
Fringilla coelebs	Pinson des arbres	103	117	196	416
Erithacus rubecula	Rougegorge familier	17	108	159	284
Turdus philomelos	Grive musicienne	80	74	69	223
Troglodytes troglodytes	Troglodyte mignon	22	49	60	131
Turdus merula	Merle noir	22	45	63	130
Regulus regulus	Roitelet huppé	34	38	36	108
Sylvia atricapilla	Fauvette à tête noire	0	10	93	103
Columba palumbus	Pigeon ramier	29	32	39	100
Certhia familiaris	Grimpereau des bois	39	34	21	94
Lophophanes cristatus	Mésange huppée	38	29	20	87
Turdus viscivorus	Grive draine	39	38	9	86
Poecile palustris	Mésange nonnette	35	10	10	55
Garrulus glandarius	Geai des chênes	21	11	18	50
Regulus ignicapilla	Roitelet à triple bandeau	9	19	13	41
Phylloscopus collybita	Pouillot véloce	0	3	23	26
Dryocopus martius	Pic noir	11	4	6	21
Motacilla cinerea	Bergeronnette des ruisseaux	0	5	7	12
Certhia brachydactyla	Grimpereau des jardins	3	5	3	11
Sitta europaea	Sittelle torchepot	1	2	4	7
Carduelis spinus	Tarin des aulnes	2	0	4	6
Dendrocopos major	Pic épeiche	3	2	0	5
Cuculus canorus	Coucou gris	0	3	1	4
Phylloscopus sibilatrix	Pouillot siffleur	0	0	3	3
Prunella modularis	Accenteur mouchet	2	0	0	2
Buteo buteo	Buse variable	0	1	1	2
Corvus corone	Corneille noire	0	1	1	2
Accipiter nisus	Épervier d'Europe	0	0	1	1
Coccothraustes coccothraustes	Grosbec casse-noyaux	1	0	0	1
Aegithalos caudatus	Mésange à longue queue	0	0	1	1
Total		666	841	942	2449

d. Sélection géographique des données

Mais le « distance sampling » impose également une autre contrainte : les points d'écoute ne doivent pas impliquer de double comptage des oiseaux ciblés ; pour limiter au maximum ce biais, en dehors de la courte durée des points d'écoute (5mn), il convient d'éviter un trop grand recouvrement des « rayons de détection » de ces points d'écoute.

L'ENS étant de surface limitée, et les sites des points d'écoute assez proches les uns des autres, nous avons ainsi été contraint :

- de tronquer les jeux de données en distance, c'est à dire en éliminant les contacts au-delà d'une certaine distance (contacts susceptibles d'être renouvelés quelques minutes plus tard lors des points d'écoutes sur les sites trop proches),
- d'éliminer des EPOCs vraiment trop proches de leurs voisins (la troncature en distance ne suffisant pas, ou réduisant déraisonnablement les jeux de données) : car les contraintes du terrain (distances au chemins, relief, chaos granitiques, difficulté pour retrouver les sites d'écoute, ...) ont fait que finalement, quelques EPOCs ont été effectués à distance du site initialement prévu.

Cependant, là encore, nous avons fait face à une difficulté : quelle distance de troncature choisir ? Car en dehors des espèces à chant discret (Roitelets, Mésange huppée : aucune distance de contact n'a atteint 100m dans l'enquête), la plupart des espèces s'entendent au-delà de 150m, voire 200m, voire encore plus (exemple : Grive draine, Pigeon ramier, Pinson des arbres ...).

Nous avons donc effectué des troncatures avec éliminations d'EPOCs trop proches en conséquence, pour différentes distances, et les jeux de données obtenus ont montré des effectifs parfois très différents, qui laissaient augurer des impacts importants sur les résultats d'analyse par « distance sampling » (en valeur de densité, et en qualité statistique) (Cf. tableau 2-2 des effectifs - au chapitre « Résultats » plus haut - et figure A1-1 ci-dessous de répartition spatiale des EPOCs après cette sélection) :

- troncature à 120m : on supprime manuellement le passage 3 du point 17 et les 3 passages du point 31, car recouvrant au-delà de 30% leurs voisins respectifs 18 et 30, soit 12 EPOCs,
- troncature à 150m : on supprime manuellement, pour la même raison, les mêmes 12 EPOCs des points 17 et 31 que pour la troncature à 120m, ainsi que les 3 passages des points 26 et 35 (recouvrement au-delà de 30% de leurs voisins respectifs 25, 27 et 32, 36), soit 18 EPOCs, pour un total de 30,
- troncature à 175m : on supprime manuellement les 3 passages des points 14 (recouvrement > 30 % de ses 4 voisins 1, 11, 13, 15) et 21 (pour « contrer » l'automate qui l'aurait préféré au point 20, pourtant « meilleur » d'un point de vue couverture), soit 18 EPOCs ; et on élimine automatiquement 4 autres points recouvrant à + de 20% au moins l'un de leurs voisins (rayon d'exclusion ~ 120m), soit 36 EPOCs supplémentaires, pour un total de 54,
- troncature à 200m : on supprime manuellement, pour la même raison, les mêmes 18 EPOCs des points 14 et 21 que pour la troncature à 175m (recouvrement > 40% d'au moins un voisin) ; et on élimine ensuite automatiquement les 3 passages de 6 autres points recouvrant à + de 20% au moins l'un de leurs voisins (rayon d'exclusion ~137m).

N.B. Le critère éliminatoire « anti-doublon » retenu, soit un recouvrement supérieur à 20% en surface d'au moins 1 EPOC voisin, pour un rayon de troncature donné, est un compromis arbitraire entre le besoin de limiter le risque de double-comptage et celui de ne pas trop diminuer la taille des jeux de données, ce qui risquerait d'en rendre certains inexploitable par « distance sampling ».

Pour cette élimination, nous avons procédé en 2 temps pour arriver à nos fins :

- un premier temps « manuel » minimaliste permettant d'éliminer une partie seulement des passages de certains points (ce que le 2ème temps automatique ne permet pas), et en outre certains points que le 2ème temps automatique aurait gardés alors qu'ils nous paraissent oins bons d'un point de vue couverture,
- un deuxième temps automatique pour terminer le travail sans biais ornithologique (alors que le 1er temps manuel peut être soupçonné d'en introduire, puisqu'il dépend de choix humains), à l'aide d'un algorithme d'optimisation [WIKIPÉDIA OPTIMISATION LINÉAIRE] permettant de résoudre le système d'inéquations linéaires imposant que les distances entre points d'écoute soient 2 à 2 supérieures à un seuil constant ... déterminé via la formule de calcul de l'aire d'une lentille symétrique [WIKIPÉDIA LENTILLE SYMÉTRIQUE] (nous avons utilisé la librairie Python d'optimisation [PULP] pour résoudre ce système en conservant un maximum de points).

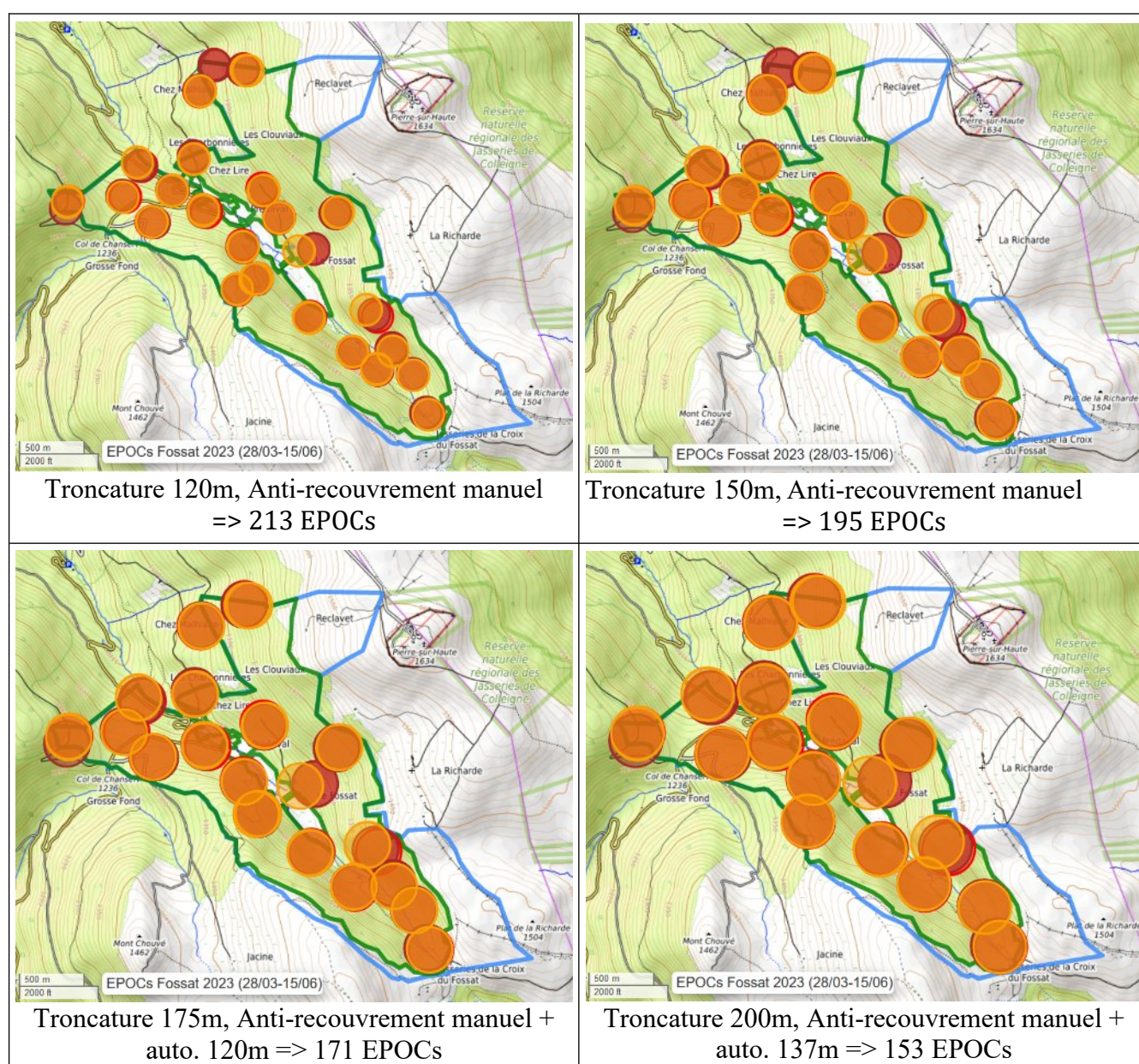


Figure A1-1 : Géolocalisation des EPOCs restant après élimination des voisins trop proches ... pour 4 distances de troncature échelonnées de 120 à 200m (cercles de rayon correspondant ; passage 1 en rouge, passage 2 en brun, passage 3 en orange)
(sur fond opentopomap.org)

Annexe 2. Détail des résultats par échantillon

On trouvera ci-dessous une section par échantillon détaillant les résultats obtenus (indicateurs numériques et graphiques associés aux analyses par « distance sampling » finalement retenues ayant produit ces résultats) et commentant l'exploitabilité du jeu de données, les variantes de passages et pré-troncatures testées, les propositions de l'automate « pyaudisam » et le choix final effectué.

Plus précisément :

- la numérotation de la section est la même que celle des monographies du chapitre Résultats (sous-chapitre F) ci-dessus,
- le titre de la section identifie l'échantillon (l'espèce, pour faire simple) considéré de manière cohérente avec le tableau de résultats 3-3 du chapitre « Résultats » plus haut ; exemple pour la section « Échantillon 0 : Periparus ater, 1+2, 1+2+3, m (pré-troncature à 150m) » :
 - numéro d'échantillon : « 0 »,
 - espèce : « Periparus ater »,
 - passages : « 1+2 »,
 - réplicats : « 1+2+3 »,
 - type d'effectif : « m »,
 - distance de pré-troncature choisie : « (pré-troncature à 150m) »,
- un triple-tableau donne ensuite :
 - « Échantillon et paramètres » à gauche :
 - « Echant », « Espèce », « Passage », « Réplicat » et « Adulte » : rappel de l'échantillon considéré (« Adulte » = « Type d'effectif » et « Passage » = « Passages » dans le tableau de résultats 3-3, « Réplicat » n'y figurant pas car les 3 réplicats ont systématiquement été utilisés, c'est implicite),
 - « NTot Obs » : nombre total d'individus (mâles ou tous adultes) contactés lors de l'enquête sur les points d'écoute retenus (avant troncature en distance éventuelle) ; c'est « Nombre contacts » dans le tableau de résultats 3-3,
 - « Max Dist » : la distance maximale de contact observée (avant troncature éventuelle),
 - « Fn Clé Mod » et « Sér Ajust Mod » : le modèle et la série d'ajustement retenus pour la fonction probabilité de détection selon la distance (fonction clé Half-Normal, Hazard-rate ou Uniform ; série Cosinusoïde ou polynomiale),
 - « Dist Tronc Gche », « Dist Tronc Drte » et « Tranch Dist Mod » : distances de troncature à gauche et à droite, et nombre de tranches de distances (de même largeur) retenues pour la modélisation (par défaut, respectivement aucune, aucune, et automatique par MCDS),
 - « Résultats (1/2) » au centre :
 - « Analyse » : Numéro d'identification de l'analyse (pour traçabilité uniquement),
 - « CodEx » : Code de sortie du moteur de calcul MCDS (1 = aucun problème, 2 = problèmes mineurs),
 - « Effort » : l'effort d'inventaire = produit du nombre de visites sur chaque point par le nombre de points visités ; ici, c'est plus précisément : nombre de passages (entre 1 et 3 selon l'échantillon) x nombre de point visités par passage (entre 17 et 24 selon le passage et la troncature préalable choisie) x 3 réplicats systématiques, soit entre 51 et 213,

- « NObs » : Nombre de contacts retenu pour l'analyse après troncatures éventuelles (en plus des troncatures préalables) selon les paramètres correspondants du tableau de gauche,
- « Taux Obs » : Taux de contacts (%) retenus suite aux troncatures éventuelles,
- « NbPars SérAjust » : Nombre de paramètres de la série d'ajustement retenue lors de la modélisation,
- « AIC » : Critère d'Information d'Akaike (indicateur positif ou nul ; d'autant « meilleur » que petit),
- « Chi2 P » : Valeur P du test du Khi-deux d'adéquation données - modélisation (indicateur de type probabilité, dans [0, 1] ; d'autant « meilleur » que proche de 1, généralement attendu au dessus de 0,05 par les biologistes),
- « KS P » : Valeur P du test de Kolmogorov-Smirnov d'adéquation données - modélisation, plus sensibles aux valeurs extrêmes (indicateur de type probabilité, dans [0, 1] ; d'autant « meilleur » que proche de 1),
- « CoefVar Densité » : Coefficient de variation de la densité estimée, alias DCV (parmi les points d'écoute et passages) multiplié par 100 (c'est un indicateur de dispersion, positif ou nul et sans unité ; d'autant « meilleur » que petit, généralement attendu en dessous de 30%),
- « Qual Equi 3 » : Indicateur combiné « 3 » de « pyaudisam » (combinaison de Chi2 P, KS P, CoefVar Densité, et d'autres : Cf. [MEURET et GUELIN 2023]) utilisé pour l'optimisation et la sélection automatique des meilleures analyses (homogène à une probabilité, dans [0, 1] ; d'autant « meilleur » que proche de 1),
- « Résultats (2/2) » à droite :
 - « Qual Equi 1 », « Qual Equi 2 » : Indicateurs combinés « 1 » et « 2 » de « pyaudisam » (variantes précédentes et moins abouties de « Qual Equi 3 », non utilisées dans l'optimisation ou la sélection automatique),
 - « EDR/ESW » : Rayon estimé Effectif de Détection / Largeur estimée de bande Effective de Détection (en m) (distance au-delà de laquelle on obtient autant de contacts qu'on en a ratés en deçà),
 - « PDetec » : Probabilité de détection estimée,
 - « Densité », « Min Densité », « Max Densité » : Densité estimée (en individus par km²), et intervalle de confiance à 95%.
- ensuite, on trouve les 4 graphiques essentiels permettant de juger de la qualité de l'échantillon et de la modélisation DS finalement retenue :
 - les histogrammes des distances de contact, avec 3 largeurs différentes de tranches de distances,
 - le diagramme quantile - quantile de comparaison modélisation - données de terrain
 - la courbe densité de probabilité de détection modélisée, superposée à l'histogramme des données de terrain, le tout en fonction de la distance ;
 - la courbe intégrale correspondante, modélisée, superposée à l'histogramme des données de terrain, le tout en fonction de la distance.
- enfin, un petit paragraphe donne quelques explications complémentaires sur les raisons du choix de l'analyse retenue, par comparaison aux autres meilleures analyses proposées par l'automate, et aussi aux analyses effectuées avec d'autres variantes de troncature préalable et de sélection de passages ; ainsi qu'un « conclusion » sur le niveau confiance globale à accorder aux résultats obtenus.

1. Échantillon 0 : Periparus ater, 1+2, 1+2+3, m (pré-troncature à 150m)

Échantillon et paramètres		Résultats (1/2)		Résultats (2/2)	
Echant	0	Analyse	5	Qual Equi 2	0,91
Espèce	Periparus ater	CodEx	1	Qual Equi 1	0,94
Passage	1+2	Effort	132	EDR/ESW	71,7
Réplicat	1+2+3	NObs	269	PDetec	0,229
Adulte	m	Taux Obs	99,6	Densité	126,23
NTot Obs	270	NbPars SérAjust	1	Min Densité	94,03
Max Dist	149,73	AIC	2647,6	Max Densité	169,46
Fn Clé Mod	HNORMAL	Chi2 P	0,98		
Sér Ajust Mod	COSINE	KS P	0,9		
Dist Tronc Gche	9	CoefVar Densité	15		
Dist Tronc Drte		Qual Equi 3	0,93		
Tranch Dist Mod	17				

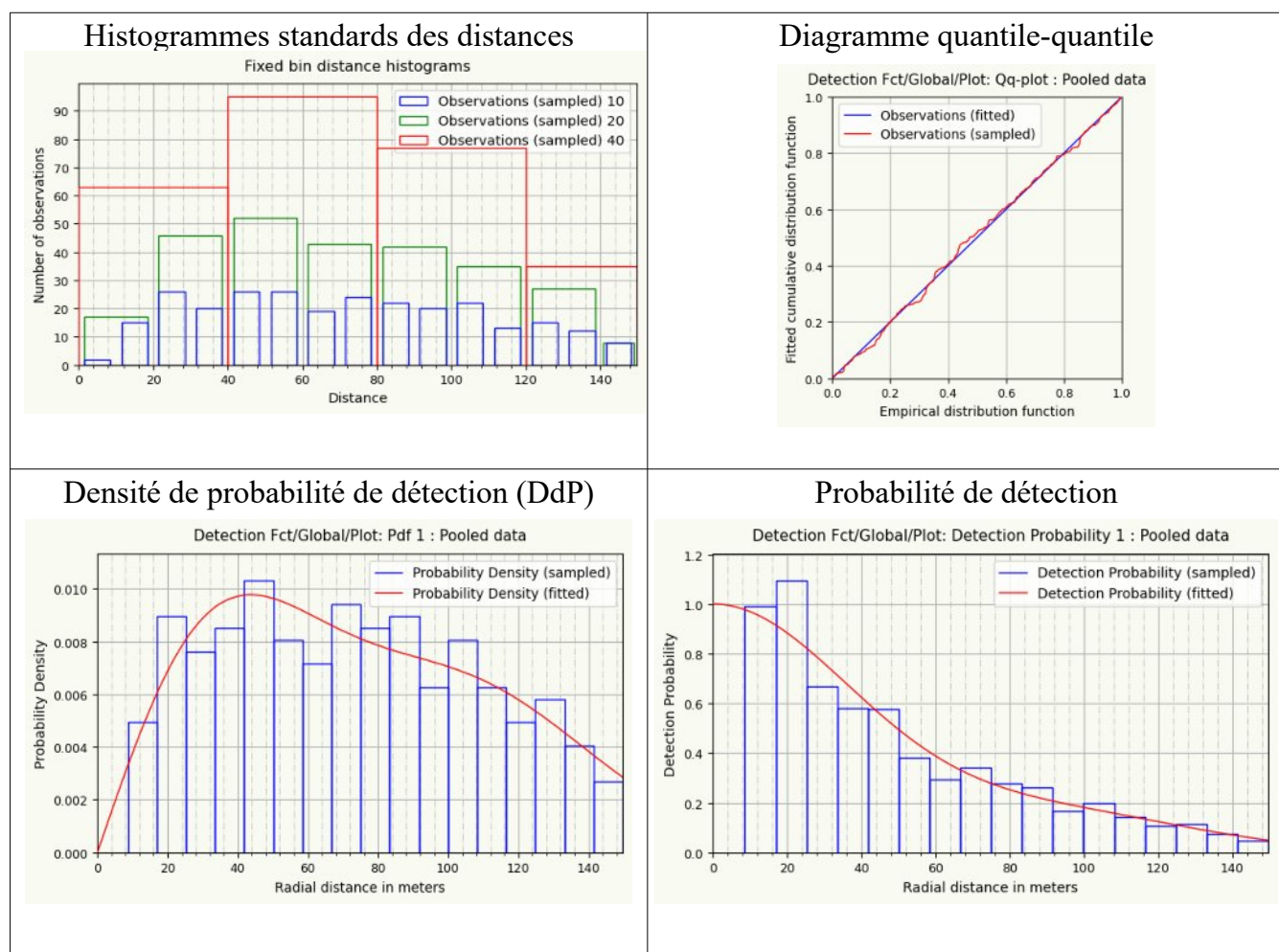


Figure A2-1 : Échantillon 0 : *Periparus ater*, 1+2, 1+2+3, m (pré-troncature à 150m)
Synthèse des données de terrain et diagrammes de qualité de la modélisation

Les meilleures analyses sont assez cohérentes, aux densités estimées peu dispersées (+/-10%), à modélisation quasi-toutes en Half-Normal ; la **modélisation** retenue est de **bonne qualité** et légèrement meilleure que celle à variante de troncature préalable à 120m ; la densité obtenue est également inférieure de 25%, en partie au moins grâce à une troncature plus adaptée à cette espèce au chant portant (queue de la fonction de détection mieux modélisée, meilleur équilibre aux distances plus faibles, histogrammes apparaissant moins tronqués) ; mais l'**intervalle de confiance est large**, en cohérence avec les analyses à troncatures préalables 120m ou 175m ...

Ce qui commande de rester **assez prudent** avec ce résultat.

2. Échantillon 1 : Fringilla coelebs, 3, 1+2+3, m (pré-troncature à 200m)

Échantillon et paramètres		Résultats (1/2)		Résultats (2/2)	
Echant	1	Analyse	13	Qual Equi 2	0,94
Espèce	Fringilla coelebs	CodEx	1	Qual Equi 1	0,95
Passage	3	Effort	51	EDR/ESW	97,9
Réplicat	1+2+3	NObs	122	PDetec	0,241
Adulte	m	Taux Obs	99,2	Densité	79,39
NTot Obs	123	NbPars SérAjust	0	Min Densité	59,25
Max Dist	199,657	AIC	1235,2	Max Densité	106,36
Fn Clé Mod	HNORMAL	Chi2 P	0,98		
Sér Ajust Mod	POLY	KS P	0,97		
Dist Tronc Gche	20	CoefVar Densité	14,7		
Dist Tronc Drte		Qual Equi 3	0,96		
Tranch Dist Mod	7				

Histogrammes standards des distances

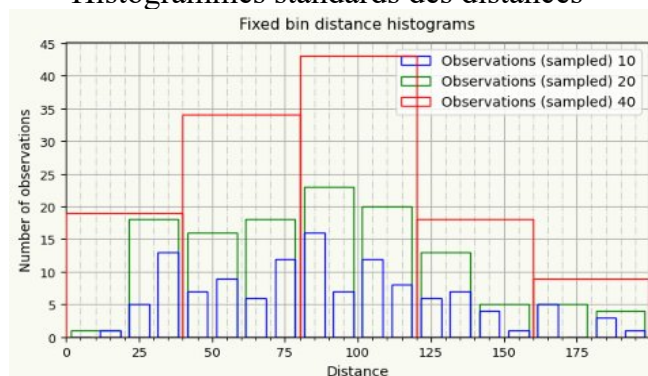
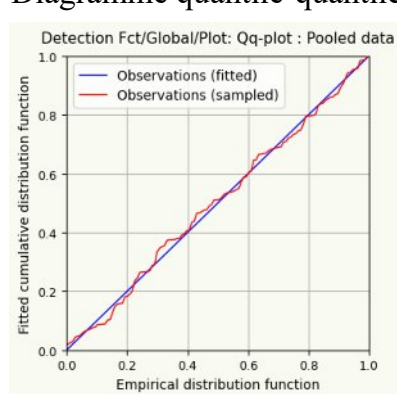


Diagramme quantile-quantile



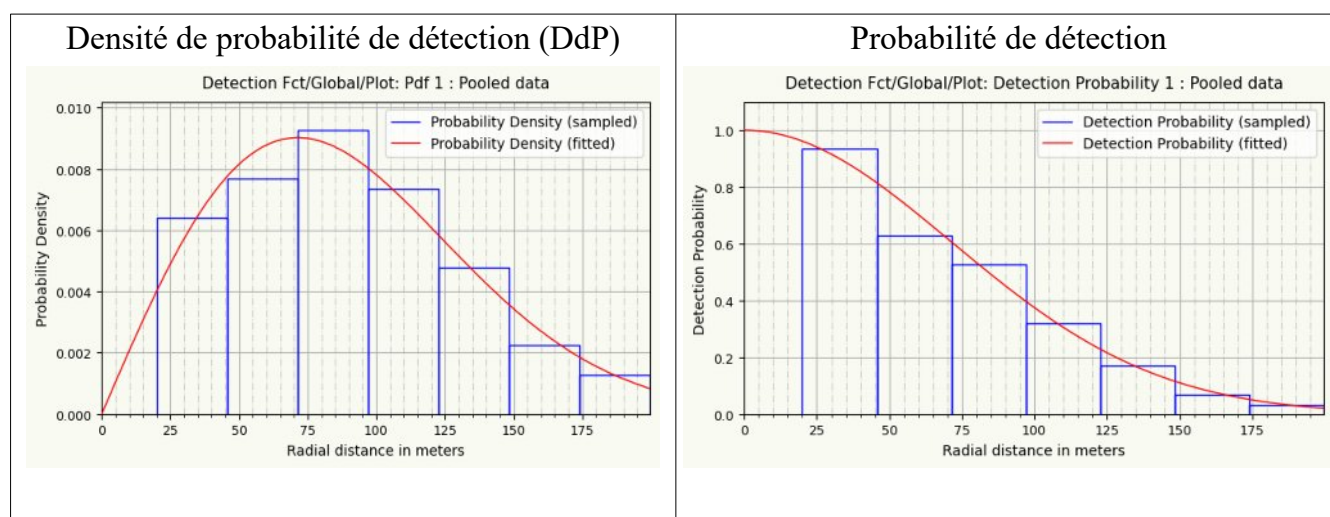


Figure A2-2 : Échantillon 1 : *Fringilla coelebs*, 3, 1+2+3, m (pré-troncature à 200m)
Synthèse des données de terrain et diagrammes de qualité de la modélisation

Les meilleures analyses sont très cohérentes, aux densités estimées très peu dispersées (+/-2%) ; la modélisation retenue est de très bonne qualité ; les densités obtenues avec troncatures préalables à 150m et 175m sont très proches, ainsi que leurs intervalles de confiance.

L'ajout du 2ème passage dans l'échantillon n'apporte pas d'amélioration utile dans la modélisation, tout en abaissant logiquement la densité estimée : nous avons donc choisi de ne pas retenir le 2ème passage, considérant qu'à cette altitude, tous les nicheurs n'étaient pas en place début mai.

On peut donc avoir **confiance** dans les résultats.

3. Échantillon 2 : *Erithacus rubecula*, 2+3, 1+2+3, m (pré-troncature à 150m)

Échantillon et paramètres		Résultats (1/2)		Résultats (2/2)	
Echant	2	Analyse	126	Qual Equi 2	0,89
Espèce	<i>Erithacus rubecula</i>	CodEx	1	Qual Equi 1	0,92
Passage	2+3	Effort	129	EDR/ESW	84,5
Réplicat	1+2+3	NObs	220	PDetec	0,5
Adulte	m	Taux Obs	93,2	Densité	76,08
NTot Obs	236	NbPars SérAjust	1	Min Densité	65,27
Max Dist	145,169	AIC	2002,1	Max Densité	88,68
Fn Clé Mod	UNIFORM	Chi2 P	0,92		
Sér Ajust Mod	POLY	KS P	0,84		
Dist Tronc Gche	21	CoefVar Densité	7,6		
Dist Tronc Drte	119	Qual Equi 3	0,9		
Tranch Dist Mod					

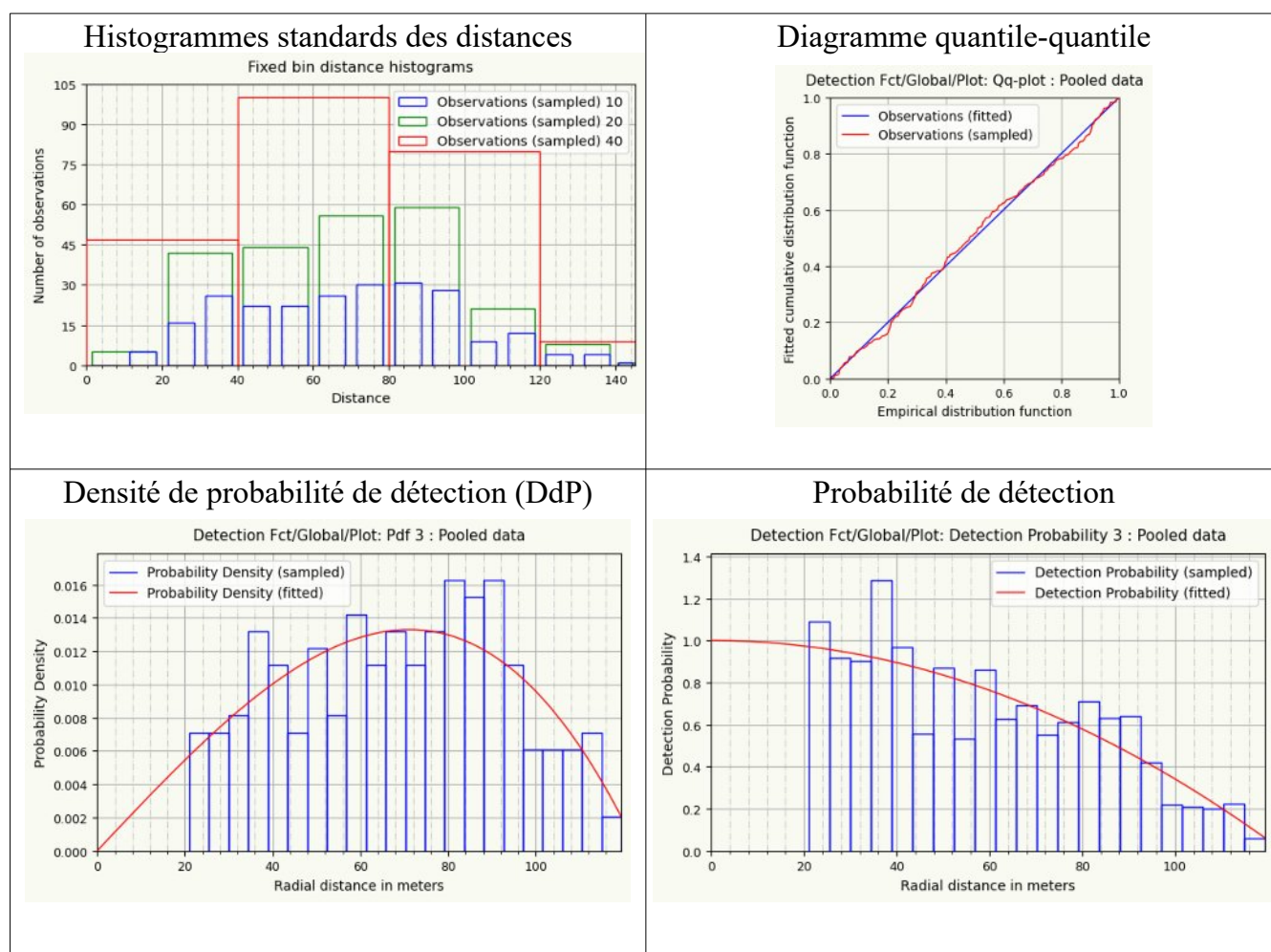


Figure A2-3 : Échantillon 2 : *Erithacus rubecula*, 2+3, 1+2+3, m (pré-troncature à 150m)
Synthèse des données de terrain et diagrammes de qualité de la modélisation

Il y a une certaine hésitation entre les modélisations Half-Normal et Uniform, et donc un peu de dispersion parmi les meilleures analyses (15%), qui reste relativement cohérentes entre elles toutefois ; la modélisation est très légèrement meilleure, et la densité estimée supérieure de 8% par rapport aux analyses à troncature préalable à 120m.

Ce résultat semble donc considéré comme **assez fiable**.

4. Échantillon 3 : *Turdus philomelos*, 1+2+3, 1+2+3, m (pré-troncature à 200m)

Échantillon et paramètres		Résultats (1/2)		Résultats (2/2)	
Echant	3	Analyse	51	Qual Equi 2	0,72
Espèce	<i>Turdus philomelos</i>	CodEx	1	Qual Equi 1	0,72
Passage	1+2+3	Effort	153	EDR/ESW	152,6
Réplikat	1+2+3	NObs	113	PDetec	0,603
Adulte	m	Taux Obs	95,8	Densité	10,09
NTot Obs	118	NbPars SérAjust	0	Min Densité	6,7
Max Dist	199,281	AIC	1176,7	Max Densité	15,2

Fn Clé Mod	HNORMAL	Chi2 P	0,44		
Sér Ajust Mod	COSINE	KS P	0,71		
Dist Tronc Gche		CoefVar Densité	20,5		
Dist Tronc Drte	196	Qual Equi 3	0,73		
Tranch Dist Mod	12				

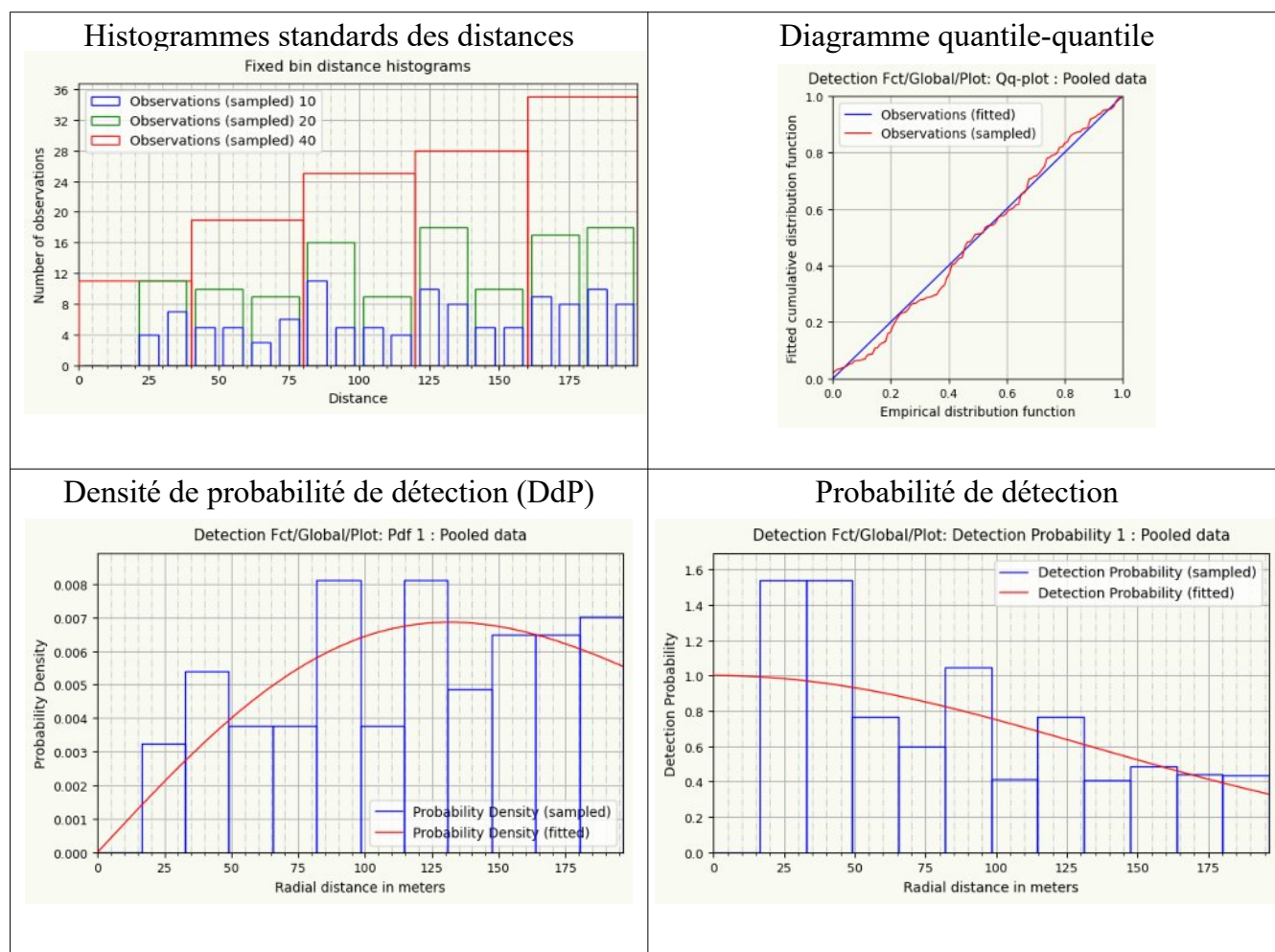


Figure A2-4 : Échantillon 3 : *Turdus philomelos*, 1+2+3, 1+2+3, m (pré-troncature à 200m)
Synthèse des données de terrain et diagrammes de qualité de la modélisation

Quelle que soit la troncature préalable utilisée, les histogrammes sont assez chaotiques et tronqués ; à 200m, logiquement pour cette espèce au chant fort, c'est légèrement meilleur, et les meilleures analyses apparaissent peu dispersée (+/-5%), avec toutefois des DCV légèrement élevés (~20%) ; la modélisation, juste correcte, est cependant nettement meilleure qu'avec la troncature préalable à 175m ; l'intervalle de confiance est assez large logiquement.

Au total, on prendra donc ce résultat avec une **certaine prudence**, d'autant qu'en forêt, l'estimation des grandes distances est difficile.

5. Échantillon 4 : Troglodytes troglodytes, 2+3, 1+2+3, m (pré-troncature à 175m)

Échantillon et paramètres		Résultats (1/2)		Résultats (2/2)	
Echant	4	Analyse	174	Qual Equi 2	0,74
Espèce	Troglodytes troglodytes	CodEx	1	Qual Equi 1	0,79
Passage	2+3	Effort	114	EDR/ESW	124,7
Réplicat	1+2+3	NObs	69	PDetec	0,546
Adulte	m	Taux Obs	94,5	Densité	12,39
NTot Obs	73	NbPars SérAjust	1	Min Densité	7,31
Max Dist	170,98	AIC	690,5	Max Densité	21
Fn Clé Mod	UNIFORM	Chi2 P	0,87		
Sér Ajust Mod	POLY	KS P	0,81		
Dist Tronc Gche	18	CoefVar Densité	25,9		
Dist Tronc Drte	169	Qual Equi 3	0,72		
Tranch Dist Mod					

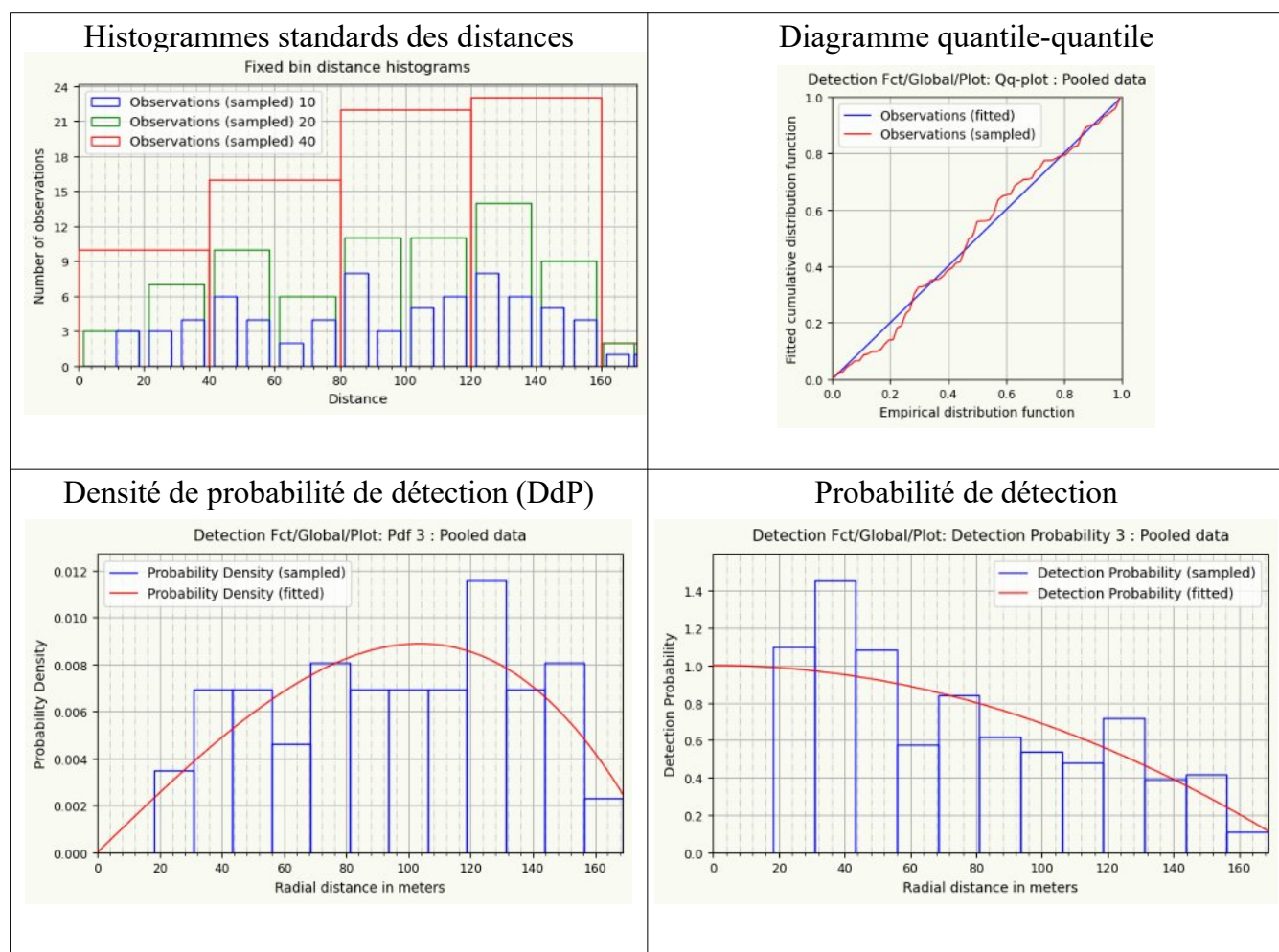


Figure A2-5 : Échantillon 4 : Troglodytes troglodytes, 2+3, 1+2+3, m (pré-troncature à 175m)

Synthèse des données de terrain et diagrammes de qualité de la modélisation

Les histogrammes ne sont pas très réguliers, mais les densités des meilleures analyses se révèlent peu dispersées ($\pm 10\%$) et cohérentes, surtout en modélisation Uniform (peu Half-Normal) ; les DCV sont cependant élevés (25%) ; la modélisation est juste correcte, et légèrement meilleure qu'avec une troncature préalable à 150m, pour une densité proche (inférieure de 10%). Ce résultat est donc à considérer avec **prudence** donc (l'intervalle de confiance est d'ailleurs large).

6. Échantillon 5 : *Sylvia atricapilla*, 3, 1+2+3, m (pré-troncature à 175m)

Échantillon et paramètres		Résultats (1/2)		Résultats (2/2)	
Echant	5	Analyse	209	Qual Equi 2	0,84
Espèce	<i>Sylvia atricapilla</i>	CodEx	1	Qual Equi 1	0,9
Passage	3	Effort	57	EDR/ESW	89,2
Réplicat	1+2+3	NObs	71	PDetec	0,316
Adulte	m	Taux Obs	100	Densité	49,86
NTot Obs	71	NbPars SérAjust	1	Min Densité	31,59
Max Dist	158,712	AIC	695,4	Max Densité	78,7
Fn Clé Mod	UNIFORM	Chi2 P	0,99		
Sér Ajust Mod	COSINE	KS P	0,9		
Dist Tronc Gche		CoefVar Densité	22,2		
Dist Tronc Drte		Qual Equi 3	0,85		
Tranch Dist Mod	11				

Histogrammes standards des distances

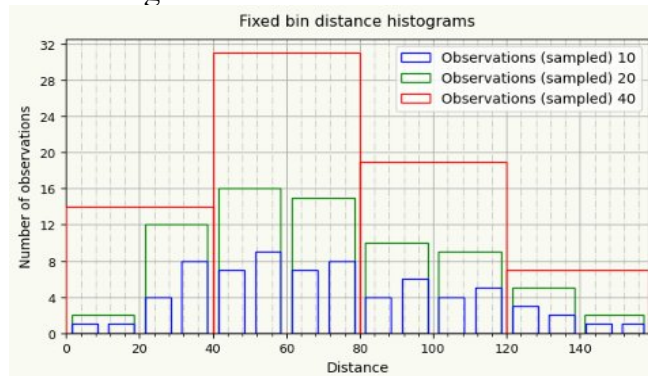
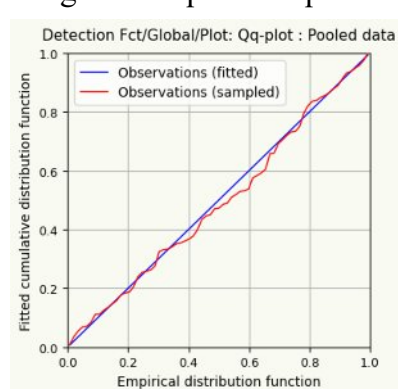


Diagramme quantile-quantile



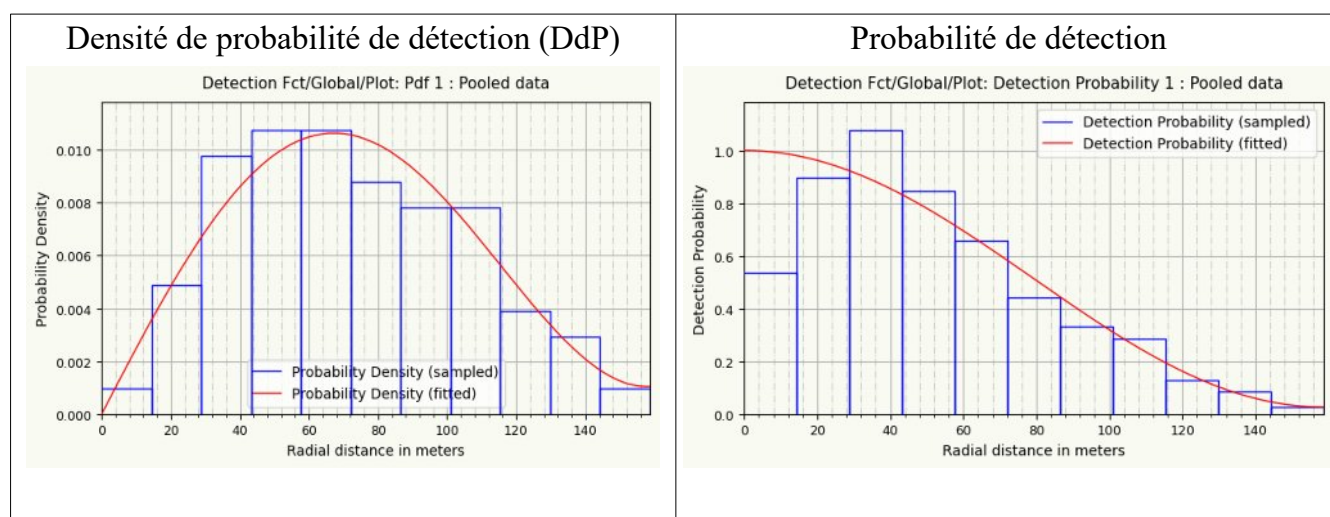


Figure A2-6 : Échantillon 5 : *Sylvia atricapilla*, 3, 1+2+3, m (pré-troncature à 175m)
 Synthèse des données de terrain et diagrammes de qualité de la modélisation

Avec des histogrammes relativement réguliers, les meilleures analyses sont logiquement peu dispersées, toutes en modélisation Half-Normal ; les DCV sont un peu élevés (22%) mais corrects ; la modélisation est d'assez bonne qualité, légèrement meilleure qu'avec la troncature préalable à 150m, et la densité obtenue plus faible de 5%.

Ce résultat semble **plutôt fiable**.

7. Échantillon 6 : *Regulus regulus*, 1+2+3, 1+2+3, m (pré-troncature à 120m)

Échantillon et paramètres		Résultats (1/2)		Résultats (2/2)	
Echant	6	Analyse	299	Qual Equi 2	0,82
Espèce	<i>Regulus regulus</i>	CodEx	1	Qual Equi 1	0,84
Passage	1+2+3	Effort	213	EDR/ESW	44,2
Réplicat	1+2+3	NObs	81	PDetec	0,26
Adulte	m	Taux Obs	95,3	Densité	62,08
NTot Obs	85	NbPars SérAjust	0	Min Densité	41,3
Max Dist	98,8837	AIC	696,3	Max Densité	93,33
Fn Clé Mod	HNORMAL	Chi2 P	0,89		
Sér Ajust Mod	POLY	KS P	0,89		
Dist Tronc Gche		CoefVar Densité	20,5		
Dist Tronc Drte	87	Qual Equi 3	0,83		
Tranch Dist Mod	10				

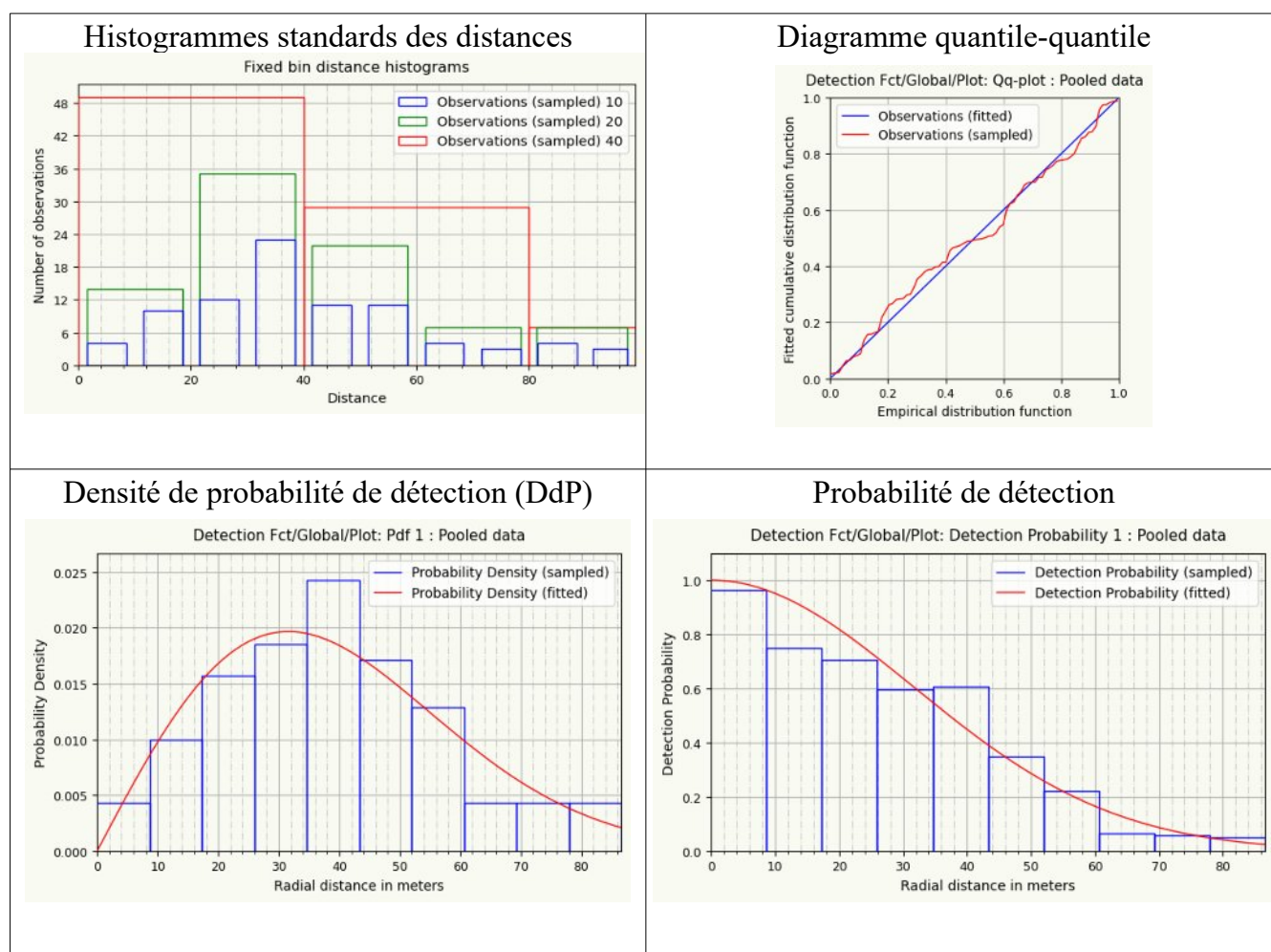


Figure A2-7 : Échantillon 6 : *Regulus regulus*, 1+2+3, 1+2+3, m (pré-troncature à 120m)
Synthèse des données de terrain et diagrammes de qualité de la modélisation

Les meilleures modélisations sont d'assez bonne qualité, grâce à des histogrammes relativement équilibrés ; il y a cependant hésitation à 50/50 entre les modèles Half-Normal et Hazard-Rate, d'où une assez forte dispersion des meilleures densités (+/-30%) ; les DCV sont également corrects, mais légèrement élevés (20%) ; face à cette hésitation, nous avons tranché pour le modèle Half-Normal, plus « naturel » à notre avis pour cette espèce peu farouche (pas de déficit de données aux courtes distances) ; la faible distance maximale de contact pour cette espèce rend inutile les troncatures préalables à plus de 120m.

Ce résultat nous inspire **confiance**.

8. Échantillon 7 : *Lophophanes cristatus*, 1+2, 1+2+3, m (pré-troncature à 120m)

Échantillon et paramètres		Résultats (1/2)		Résultats (2/2)	
Echant	7	Analyse	23	Qual Equi 2	0,85
Espèce	Lophophanes cristatus	CodEx	1	Qual Equi 1	0,91
Passage	1+2	Effort	144	EDR/ESW	52,1
Réplicat	1+2+3	NObs	55	PDetec	0,381

Adulte	m	Taux Obs	94,8	Densité	44,74
NTot Obs	58	NbPars SérAjust	1	Min Densité	29,49
Max Dist	84,4552	AIC	465,6	Max Densité	67,87
Fn Clé Mod	UNIFORM	Chi2 P	0,99		
Sér Ajust Mod	COSINE	KS P	0,93		
Dist Tronc Gche	15	CoefVar Densité	21		
Dist Tronc Drte	84	Qual Equi 3	0,86		
Tranch Dist Mod	5				

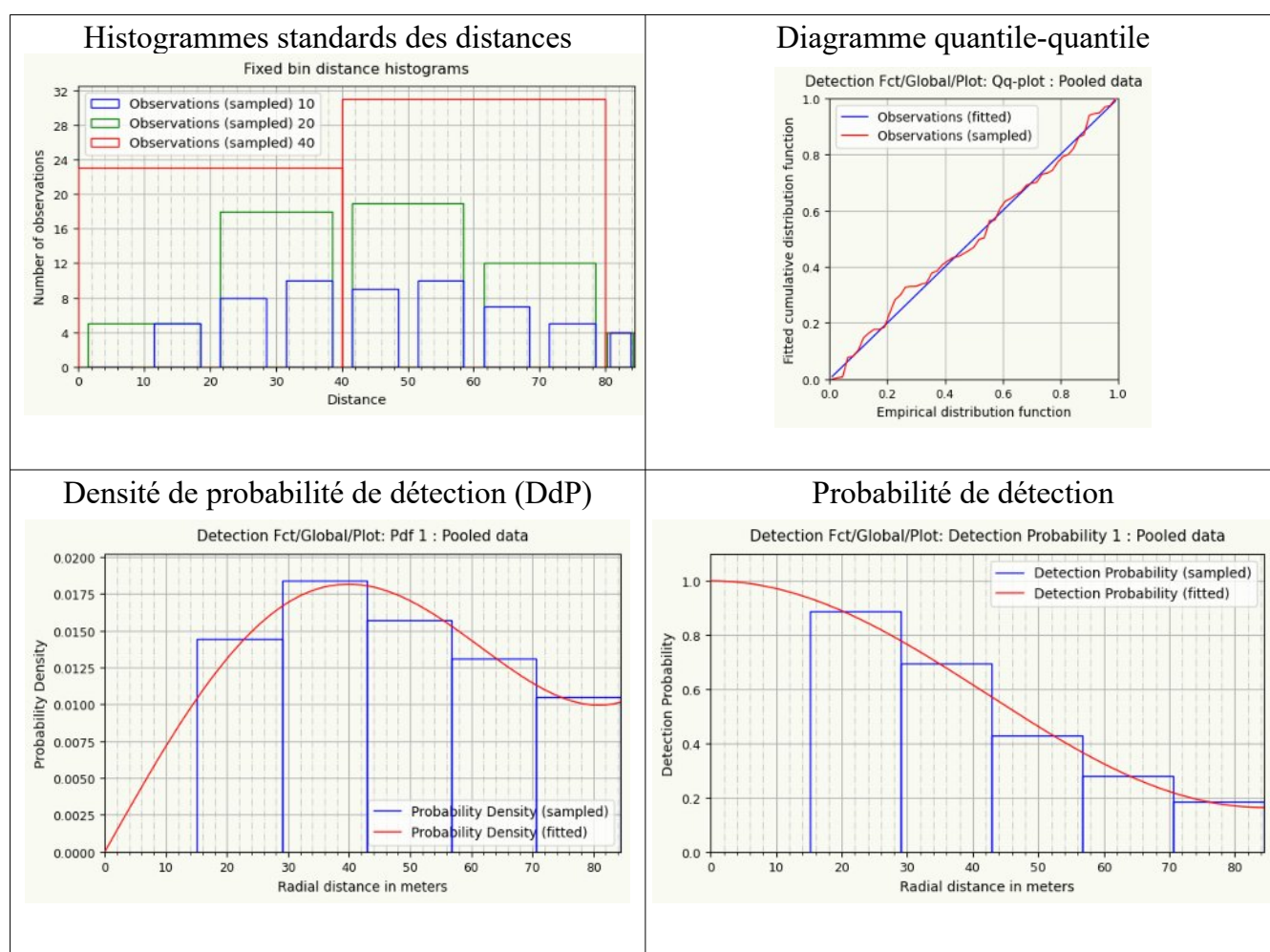


Figure A2-8 : Échantillon 7 : *Lophophanes cristatus*, 1+2, 1+2+3, m (pré-troncature à 120m)
Synthèse des données de terrain et diagrammes de qualité de la modélisation

Les meilleures analyses sont assez cohérentes, et peu dispersées en densité estimée mais plus (+/-10%) qu'avec l'intégration du 3ème passage dans l'échantillon ; les modélisation utilisent quasi-toutes Half-Normal ou Uniform, sans grand impact sur la densité, mais avec des DCV légèrement élevés ($\geq 21\%$) ; l'intégration du 3ème passage améliore légèrement la modélisation, mais diminue logiquement la densité de ~22% : considérant cette espèce comme sédentaire et nicheuse précoce, nous avons choisi d'ignorer ce 3ème passage ; comme pour le Roitelet huppé, les analyses à troncatures préalables à plus de 120m sont inutiles.

Le résultat nous semble **plutôt fiable**.

9. Échantillon 8 : *Certhia familiaris*, 1+2, 1+2+3, m (pré-troncature à 120m)

Échantillon et paramètres		Résultats (1/2)		Résultats (2/2)	
Echant	8	Analyse	67	Qual Equi 2	0,63
Espèce	<i>Certhia familiaris</i>	CodEx	2	Qual Equi 1	0,71
Passage	1+2	Effort	144	EDR/ESW	53,7
Réplicat	1+2+3	NObs	52	PDetec	0,216
Adulte	m	Taux Obs	94,5	Densité	39,84
NTot Obs	55	NbPars SérAjust	2	Min Densité	22,62
Max Dist	119,15	AIC	479,2	Max Densité	70,16
Fn Clé Mod	UNIFORM	Chi2 P	0,45		
Sér Ajust Mod	COSINE	KS P	0,91		
Dist Tronc Gche		CoefVar Densité	28,7		
Dist Tronc Drte	115	Qual Equi 3	0,6		
Tranch Dist Mod	5				

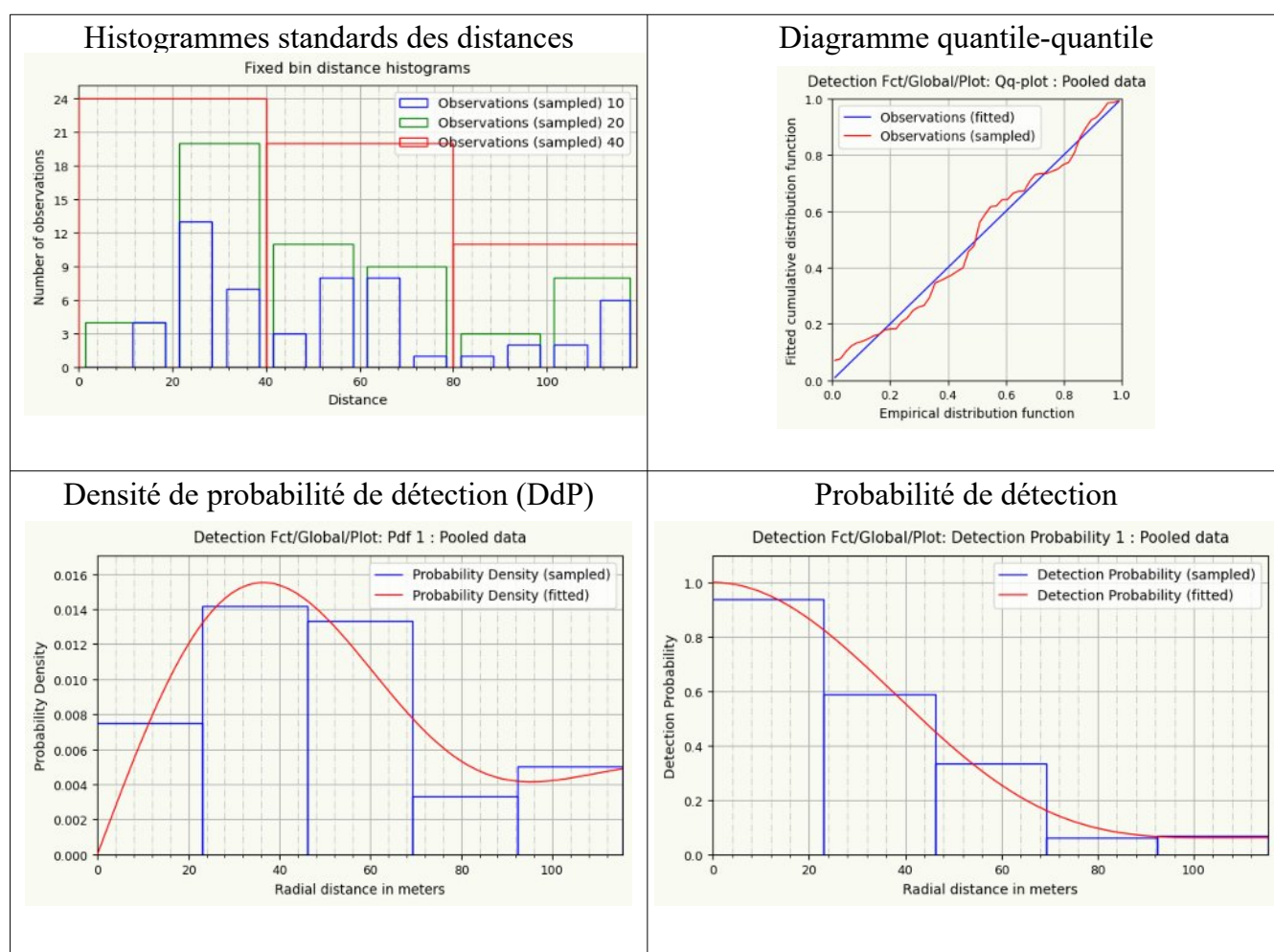


Figure A2-9 : Échantillon8 : *Certhia familiaris*, 1+2, 1+2+3, m (pré-troncature à 120m)
Synthèse des données de terrain et diagrammes de qualité de la modélisation

Les histogrammes sont assez chaotiques, mais les densités obtenues sont peu dispersées (+/- 10%), avec cependant une petite hésitation entre les modèles Half-Normal et Uniform, de la sur-modélisation, et des DCV trop élevés (~28%) ; la modélisation est n'est pas très bonne, et légèrement meilleure en ajoutant le 3ème passage, et la densité estimée logiquement inférieure de 30%, mais comme pour la Mésange huppée, pour les mêmes raisons, nous en sommes restés aux 2 premiers passages ; les analyses à troncature préalable à 150m n'apportent pas d'amélioration.

Le résultat, du fait du DCV élevé et de la modélisation juste correcte, est à considérer prudemment.

10. Échantillon 9 : Turdus merula, 2+3, 1+2+3, m (pré-troncature à 175m)

Échantillon et paramètres		Résultats (1/2)		Résultats (2/2)	
Echant	9	Analyse	297	Qual Equi 2	0,73
Espèce	Turdus merula	CodEx	1	Qual Equi 1	0,79
Passage	2+3	Effort	114	EDR/ESW	153,4
Réplicat	1+2+3	NObs	43	PDetec	0,813
Adulte	m	Taux Obs	100	Densité	5,1
NTot Obs	43	NbPars SérAjust	0	Min Densité	2,73
Max Dist	170,219	AIC	430	Max Densité	9,52
Fn Clé Mod	HNORMAL	Chi2 P	0,77		
Sér Ajust Mod	POLY	KS P	0,94		
Dist Tronc Gche		CoefVar Densité	31,9		
Dist Tronc Drte		Qual Equi 3	0,69		
Tranch Dist Mod	7				

Histogrammes standards des distances

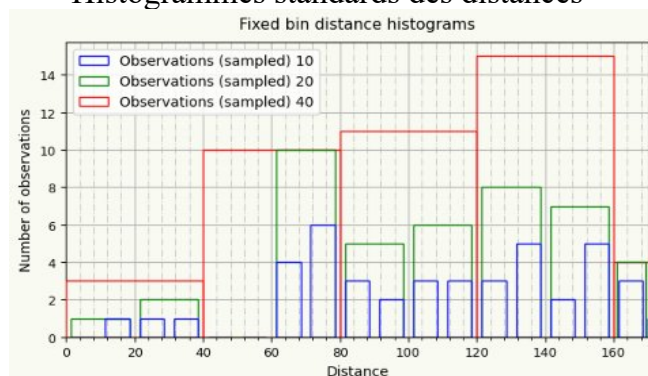


Diagramme quantile-quantile

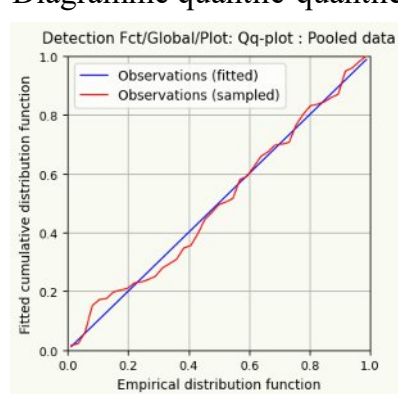




Figure A2-10 : Échantillon 6 : *Turdus merula*, 2+3, 1+2+3, m (pré-troncature à 175m)
Synthèse des données de terrain et diagrammes de qualité de la modélisation

Les histogrammes sont chaotiques et paraissent tronqués, difficilement exploitables (même avec la troncature préalable à 200m); sans surprise donc, les modélisations des « meilleures » sont en majorité de la forme dégénérée plate du modèle Uniform, sans signification réelle ; un quart d'entre elles sortent de ce lot de platitude, mais restent de très mauvaise qualité, avec des DCV forts ($\geq 32\%$).

Ce résultat est donc à considérer avec une **grande prudence**.

11. Échantillon 10 : *Columba palumbus*, 1+2+3, 1+2+3, m (pré-troncature à 200m)

Échantillon et paramètres		Résultats (1/2)		Résultats (2/2)	
Echant	10	Analyse	221	Qual Equi 2	0,63
Espèce	<i>Columba palumbus</i>	CodEx	1	Qual Equi 1	0,64
Passage	1+2+3	Effort	153	EDR/ESW	148,1
Réplicat	1+2+3	NObs	41	PDetec	0,556
Adulte	m	Taux Obs	93,2	Densité	3,89
NTot Obs	44	NbPars SérAjust	1	Min Densité	2,46
Max Dist	198,533	AIC	425,3	Max Densité	6,15
Fn Clé Mod	UNIFORM	Chi2 P	0,56		
Sér Ajust Mod	POLY	KS P	0,53		
Dist Tronc Gche	28	CoefVar Densité	22,5		
Dist Tronc Drte		Qual Equi 3	0,63		
Tranch Dist Mod	4				

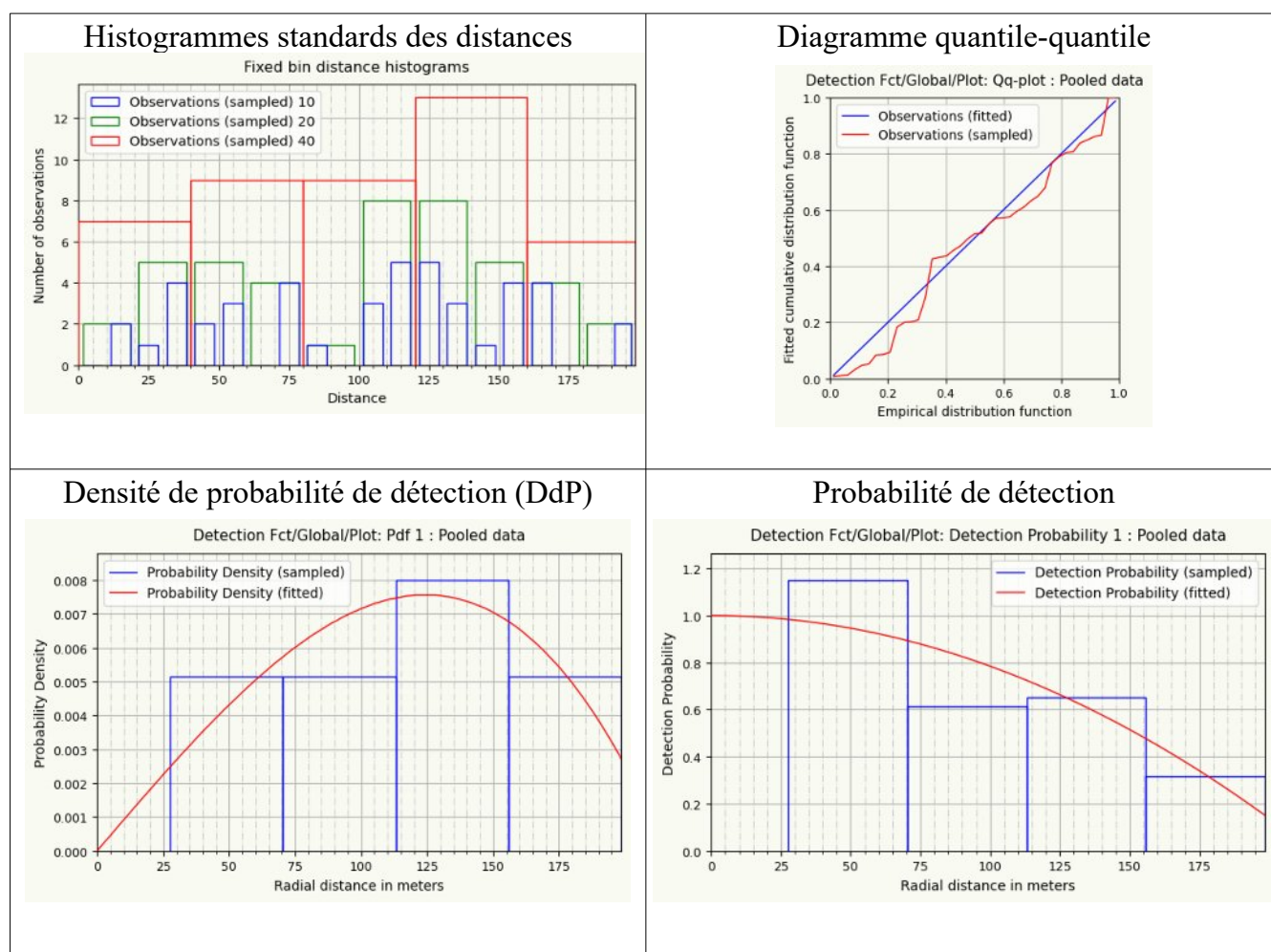


Figure A2-11 : Échantillon 10 : *Columba palumbus*, 1+2+3, 1+2+3, m (pré-troncature à 200m)

Synthèse des données de terrain et diagrammes de qualité de la modélisation

Les histogrammes assez chaotiques donnent logiquement de la dispersion (+/-30%) dans les densités estimées et des modélisations de qualité moyenne, avec des DCV élevés ($\geq 22\%$) ; la troncature préalable à 150m n'améliore pas la modélisation.

Résultat à prendre avec **prudence** donc.

12. Échantillon 11 : *Poecile palustris*, 1+2, 1+2+3, m (pré-troncature à 120m)

Échantillon et paramètres		Résultats (1/2)		Résultats (2/2)	
Echant	11	Analyse	549	Qual Equi 2	0,8
Espèce	<i>Poecile palustris</i>	CodEx	1	Qual Equi 1	0,86
Passage	1+2	Effort	144	EDR/ESW	68,2
Répliat	1+2+3	NObs	34	PDetec	0,34
Adulte	m	Taux Obs	97,1	Densité	16,17
NTot Obs	35	NbPars SérAjust	1	Min Densité	9,8
Max Dist	116,922	AIC	314,1	Max Densité	26,67
Fn Clé Mod	UNIFORM	Chi2 P	0,96		

Sér Ajust Mod	COSINE	KS P	0,98		
Dist Tronc Gche	10	CoefVar Densité	25		
Dist Tronc Drte		Qual Equi 3	0,79		
Tranch Dist Mod	7				

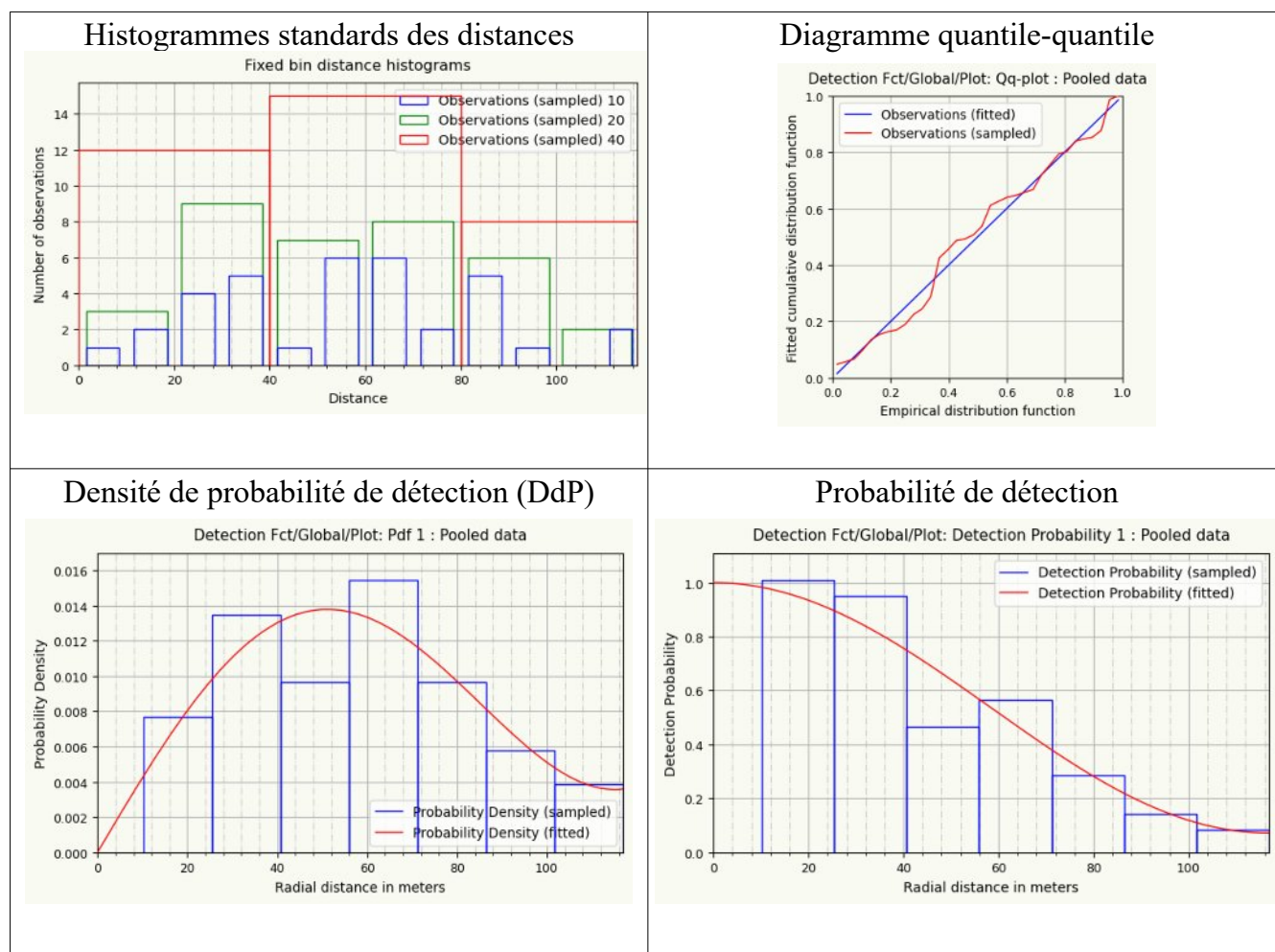


Figure A2-12 : Échantillon 11 : *Poecile palustris*, 1+2, 1+2+3, m (pré-troncature à 120m)
Synthèse des données de terrain et diagrammes de qualité de la modélisation

Les histogrammes sont relativement bien formés, les meilleures analyses sont très cohérentes, et de densités estimées très peu dispersées, quasi-toutes modélisées en Uniform ; cependant, les DCV sont élevés (25%) ; comme pour le Roitelet huppé et la Mésange huppée, les analyses à troncatures préalables à plus de 120m sont inutiles.

Concernant les passages à prendre en compte dans l'échantillon, nous avons hésité, face à la forte baisse de la quantité de contacts aux 2ème et 3ème passage (35 à 10), et finalement considéré que cette espèce sédentaire qui niche tôt, même à ces altitudes, pouvait encore montrer des mouvements fin mars : nous avons donc retenus les 2 premiers passages de manière à moyenner des densités qui auraient probablement été trop fortes avec les seules données du premier passage.

Les résultats semblent donc **relativement fiables**, avec ce **doute** résiduel toutefois.

13. Échantillon 12 : Turdus viscivorus, 1+2, 1+2+3, m (pré-troncature à 175m)

Échantillon et paramètres		Résultats (1/2)		Résultats (2/2)	
Echant	12	Analyse	429	Qual Equi 2	0,72
Espèce	Turdus viscivorus	CodEx	2	Qual Equi 1	0,8
Passage	1+2	Effort	114	EDR/ESW	150,9
Réplicat	1+2+3	NObs	34	PDetec	0,769
Adulte	m	Taux Obs	97,1	Densité	4,17
NTot Obs	35	NbPars SérAjust	0	Min Densité	2,45
Max Dist	172,026	AIC	324,8	Max Densité	7,09
Fn Clé Mod	HAZARD	Chi2 P	0,83		
Sér Ajust Mod	POLY	KS P	0,88		
Dist Tronc Gche	57	CoefVar Densité	26,7		
Dist Tronc Drte		Qual Equi 3	0,71		
Tranch Dist Mod	7				

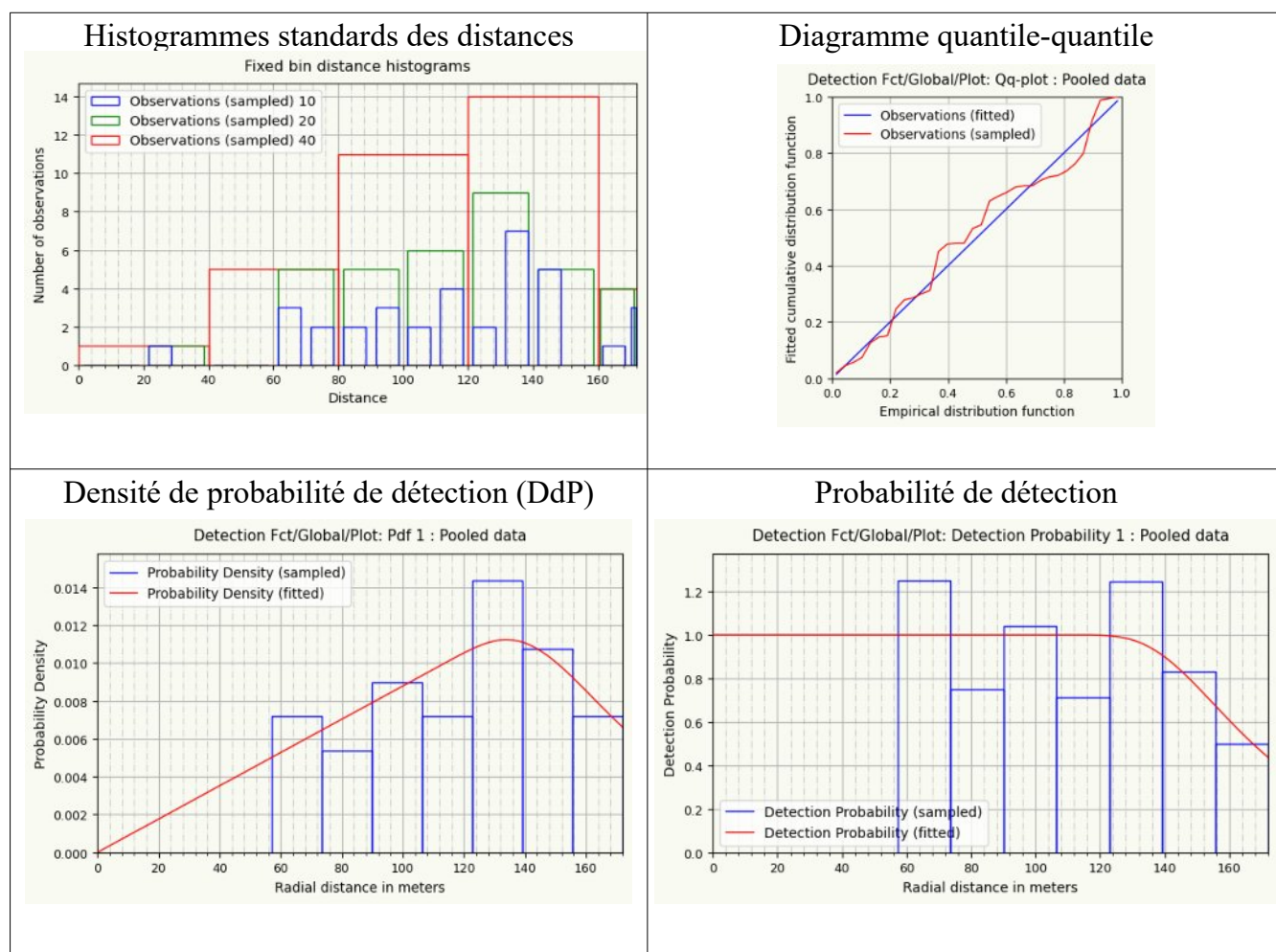


Figure A2-13 : Échantillon 12 : Turdus viscivorus, 1+2, 1+2+3, m (pré-troncature à 175m)
Synthèse des données de terrain et diagrammes de qualité de la modélisation

Malgré des histogrammes chaotiques, les meilleures analyses sont homogènes et à densités peu dispersées, toutes modélisées assez médiocrement en Hazard-Rate à très longue épaule, phénomène assez habituel pour cette espèce farouche (peu de données aux courtes distances) ; les DCV sont toutefois assez élevés (25-27%) ; les troncatures à 120 et 150m ne permettent pas la moindre modélisation acceptable, et c'est à peine mieux à 200m.

On considérera donc ces résultats avec une **certaine méfiance** ...

14. Échantillon 13 : *Regulus ignicapilla*, 2+3, 1+2+3, m (pré-troncature à 120m)

Échantillon et paramètres		Résultats (1/2)		Résultats (2/2)	
Echant	13	Analyse	642	Qual Equi 2	0,5
Espèce	<i>Regulus ignicapilla</i>	CodEx	1	Qual Equi 1	0,55
Passage	2+3	Effort	141	EDR/ESW	40
Réplicat	1+2+3	NObs	27	PDetec	0,304
Adulte	m	Taux Obs	93,1	Densité	38,16
NTot Obs	29	NbPars SérAjust	1	Min Densité	18,84
Max Dist	74,4604	AIC	220,1	Max Densité	77,28
Fn Clé Mod	UNIFORM	Chi2 P	0,79		
Sér Ajust Mod	COSINE	KS P	0,36		
Dist Tronc Gche		CoefVar Densité	35,3		
Dist Tronc Drte	72	Qual Equi 3	0,45		
Tranch Dist Mod					

Histogrammes standards des distances

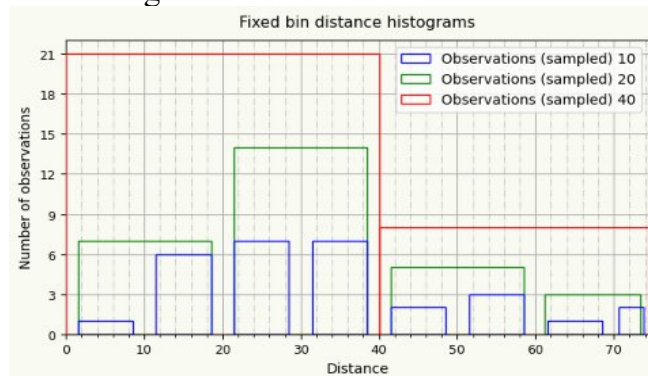
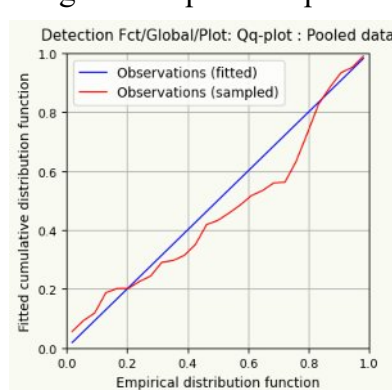


Diagramme quantile-quantile



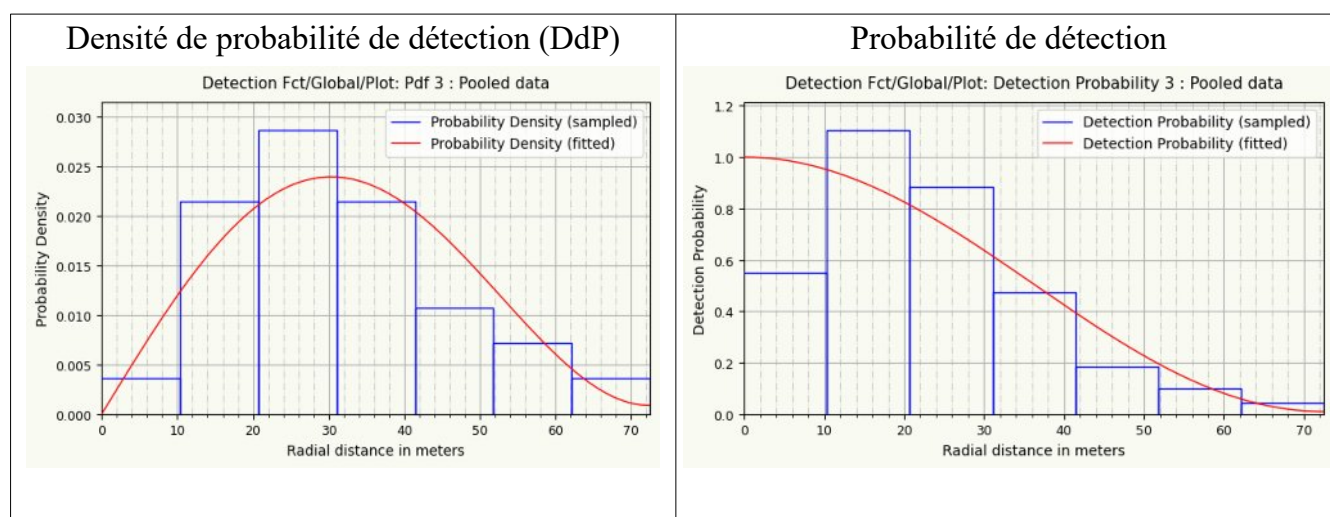


Figure A2-14 : Échantillon 13 : *Regulus ignicapilla*, 2+3, 1+2+3, m (pré-troncature à 120m)
Synthèse des données de terrain et diagrammes de qualité de la modélisation

Les histogrammes sont correctement formés, mais les données assez peu nombreuses ; il y a une forte hésitation entre les modèles Half-Normal, Hazard-Rate et Uniform, et logiquement, les densités sont passablement dispersées (+/-30 ou 40%) ; les DCV sont par ailleurs très élevés (> 40%), hormis pour 2 modélisations Uniform où ils restent trop fort à 35% ; comme pour le Roitelet huppé, la Mésange huppée et la Mésange nonnette, les analyses à troncatures préalables à plus de 120m sont inutiles.

Les résultats sont donc à regarder avec **prudence**.

15. Échantillon 14 : *Phylloscopus collybita*, 3, 1+2+3, m (pré-troncature à 150m)

Échantillon et paramètres		Résultats (1/2)		Résultats (2/2)	
Echant	14	Analyse	674	Qual Equi 2	0,51
Espèce	<i>Phylloscopus collybita</i>	CodEx	2	Qual Equi 1	0,57
Passage	3	Effort	63	EDR/ESW	116,9
Réplicat	1+2+3	NObs	21	PDetec	0,856
Adulte	m	Taux Obs	95,5	Densité	7,76
NTot Obs	22	NbPars SérAjust	0	Min Densité	3,45
Max Dist	126,389	AIC	197,6	Max Densité	17,46
Fn Clé Mod	HNORMAL	Chi2 P	0,7		
Sér Ajust Mod	COSINE	KS P	0,54		
Dist Tronc Gche		CoefVar Densité	41,7		
Dist Tronc Drte	126	Qual Equi 3	0,4		
Tranch Dist Mod					

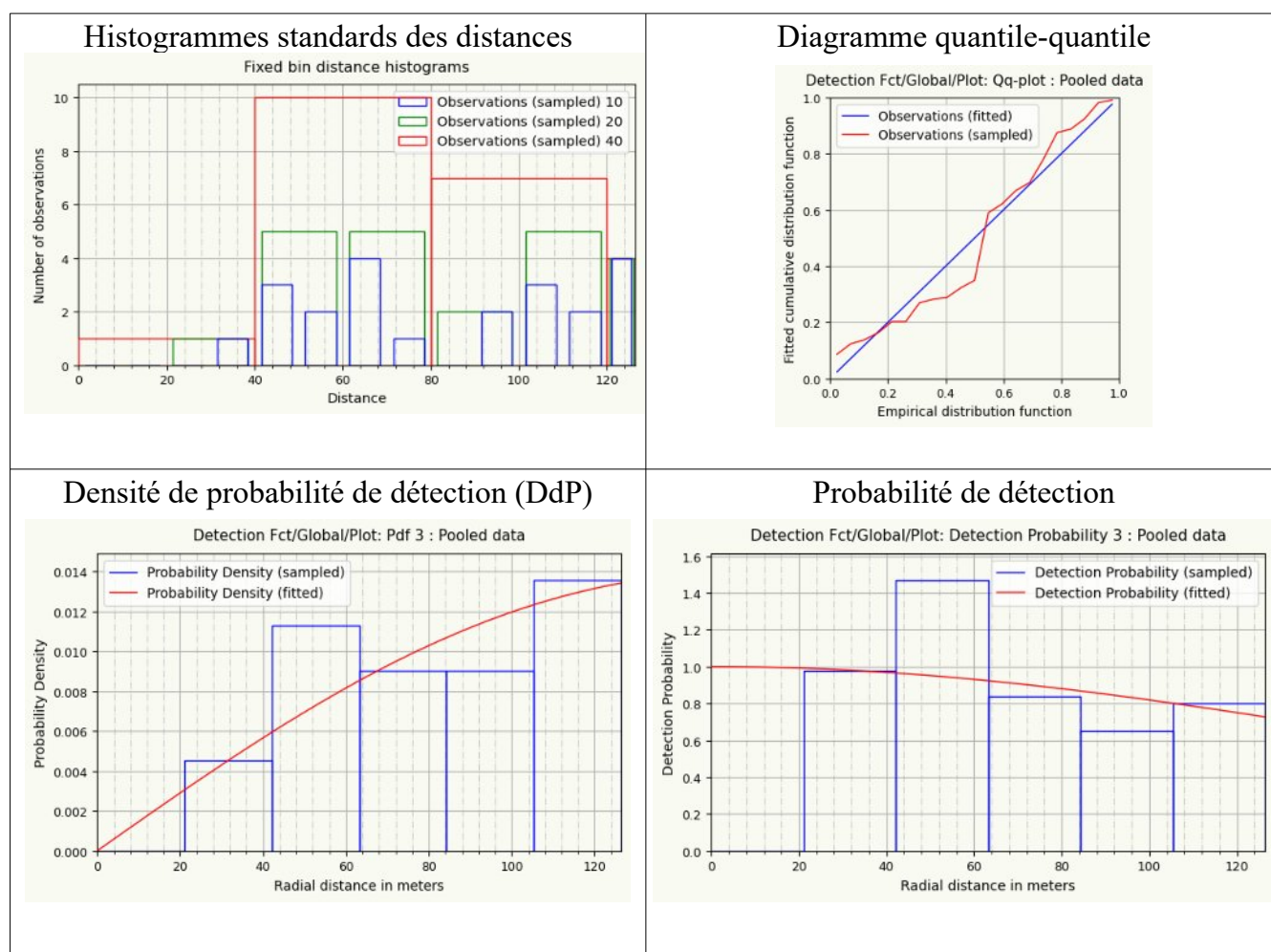


Figure A2-15 : Échantillon 14 : *Phylloscopus collybita*, 3, 1+2+3, m (pré-troncature à 150m)
Synthèse des données de terrain et diagrammes de qualité de la modélisation

Les histogrammes un peu « déplumés » et le faible nombre de données ne peuvent que rendre la modélisation difficile : seule une minorité des « meilleures » analyses sort de la forme plate dégénérée du modèle Uniform, mais avec des DCV encore trop élevés (>40%) ; les densités sont peu dispersées, mais ce n'est pas un gage de qualité ; la variante à troncature préalable de 120m n'améliore logiquement pas les choses (troncature trop courte).

Des résultats à considérer avec **circonspection** donc.

16. Échantillon 15 : *Garrulus glandarius*, 1+2+3, 1+2+3, m+a (pré-troncature à 150m)

Échantillon et paramètres		Résultats (1/2)		Résultats (2/2)	
Echant	15	Analyse	743	Qual Equi 2	0,78
Espèce	<i>Garrulus glandarius</i>	CodEx	1	Qual Equi 1	0,85
Passage	1+2+3	Effort	195	EDR/ESW	80,1
Réplicat	1+2+3	NObs	33	PDetec	0,309
Adulte	m+a	Taux Obs	94,3	Densité	8,4
NTot Obs	35	NbPars SérAjust	1	Min Densité	4,99

Max Dist	144,033	AIC	307,2	Max Densité	14,15
Fn Clé Mod	UNIFORM	Chi2 P	0,89		
Sér Ajust Mod	COSINE	KS P	0,95		
Dist Tronc Gche	36	CoefVar Densité	26,2		
Dist Tronc Drte	144	Qual Equi 3	0,77		
Tranch Dist Mod	9				

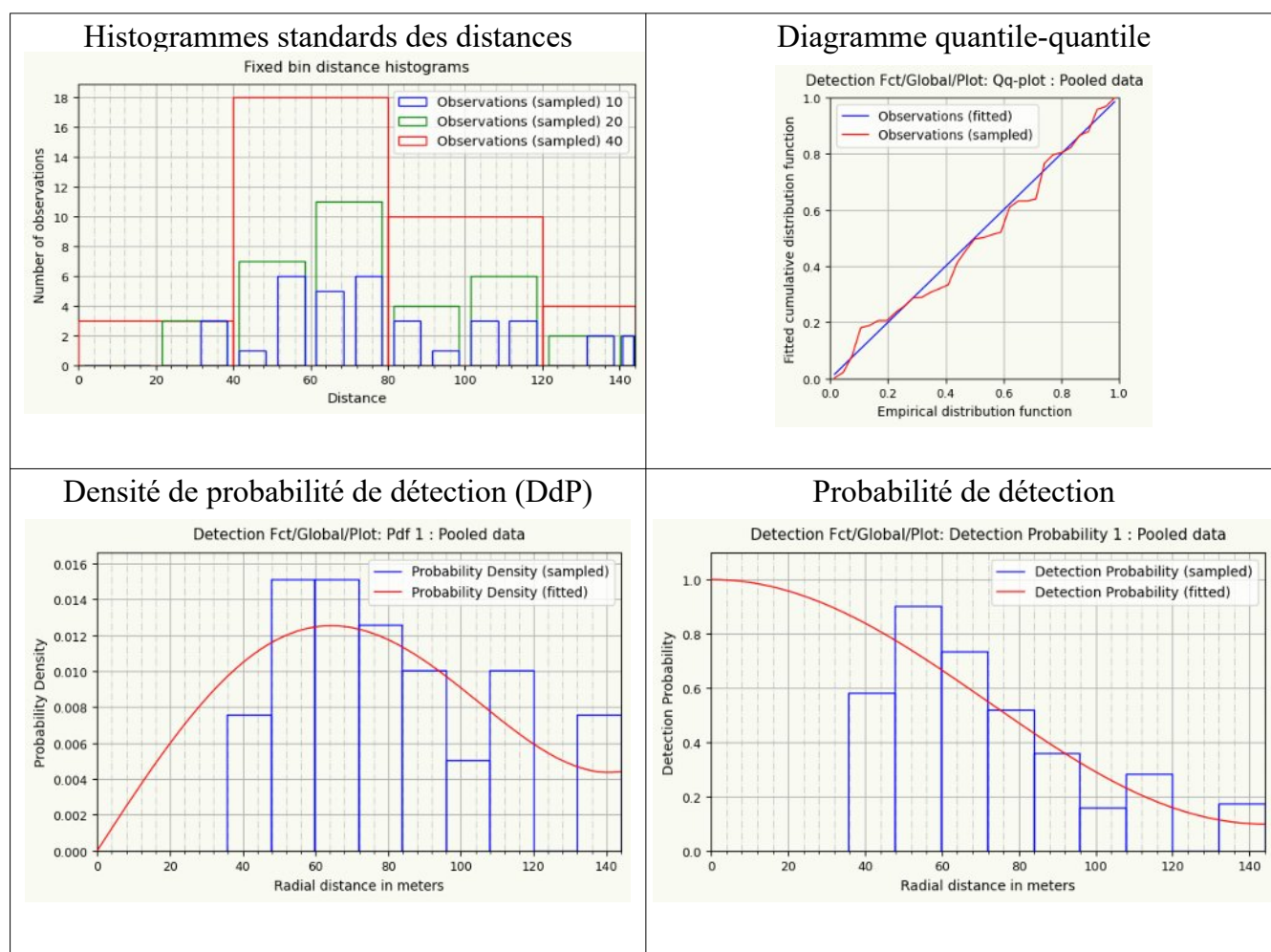


Figure A2-16 : Échantillon 15 : *Garrulus glandarius*, 1+2+3, 1+2+3, m+a (pré-troncature à 150m)

Synthèse des données de terrain et diagrammes de qualité de la modélisation

Les lacunes aux courtes distances des histogrammes - par ailleurs correctement formés - sont logiques pour cette espèce farouche ; les densités estimées sont peu dispersées, malgré une hésitation Uniform / Half-Normal ; mais les DCV sont assez élevés (~25%) ; la modélisation, correcte mais « avec prudence » vu le manque de données proches, est légèrement meilleure qu'avec la troncature préalable à 120m, et la densité retenue plus forte de 15%.

Ces résultats semblent relativement **fiables**, mais **avec prudence** pour le « flou » de modélisation dû au manque de données aux courtes distances.

Annexe 3. Correction des densités pour tenir compte des pentes

Les densités estimées présentées dans le tableau 3-3 du chapitre « Résultats » sont des densités « à plat », ignorant les pentes naturelles fortes du terrain inventorié : les distances observateur - oiseaux calculées et utilisées pour les analyses sont en effet des distances projetées sur l'ellipsoïde terrestre (ou plus précisément son approximation plane du référentiel Lambert 93).

Nous n'avons pas effectué les analyses avec des distances corrigées précisément et individuellement selon la pente locale de chaque point (ce qui serait possible avec un modèle numérique d'altitude de l'ENS avec une résolution suffisante, de l'ordre de 30-50m horizontalement).

En revanche, les pentes assez régulières au sein de l'ENS permettent de considérer comme relativement fiable un **coefficient unique et moyen de correction multiplicative des densités « à plat »** ; nous avons estimé ce coefficient à **~0.9, soit -10%** (après avoir estimé la pente moyenne globale à ~23 degrés (soit ~43%), en tenant compte de la répartition des points d'écoute par rapport aux surfaces respectives estimées des différents secteurs à pentes « presque constante », et en considérant que les contacts sont en moyenne sur chaque point également répartis dans toutes les directions : voir ci-dessous),

Méthode d'estimation de ce « coefficient unique et moyen » :

- si beta est l'azimut du contact = l'angle par rapport à la direction de pente depuis le point d'écoute, dans $[-\pi, +\pi]$, alors :
 $\text{DistanceR elle}(\alpha, \beta) = \text{DistanceAPlat}(\beta) * K(\alpha, \beta)$
avec $K(\alpha, \beta) = 1 + |\cos(\beta)| * (1 / \cos(\alpha) - 1)$
(tel que, par exemple,
 - si $\beta = 0$ ou π (haut ou bas de pente), alors $K(\alpha, \beta) = 1 / \cos(\alpha)$
 - si $\beta = \pm \pi / 2$ (même altitude), alors $K(\alpha, \beta) = 1$
- or l'azimut des contacts (sur l'ensemble des points d'écoute) est uniformément réparti dans toutes les directions, donc on peut admettre un $K(\alpha)$ moyen, égal à :
 $1 + 2 * (1 / \cos(\alpha) - 1) / \pi$
(= intégrale suivant beta de $K(\alpha, \beta)$ sur $[-\pi, +\pi]$, divisée par $2 * \pi$)
- enfin, les densités sont en fait à diviser par le carré de $K(\alpha)$ moyen, puisqu'elles sont surfaciques et que les distances réelles sont plus grandes que les distances «   plat ».
- application : si $\alpha = 23$ degrés,
 - coefficient multiplicateur pour les distances : $K(\alpha) \sim 1,055$
 - **coefficient multiplicateur pour les densités : $1 / K(\alpha)^2 \sim 0,898$... arrondi à 0,9**
- CQFD.

Annexe 4. pyaudisam : logique d'utilisation et fonctionnement

On peut en faire un résumé rapide par comparaison avec la méthode « manuelle » d'analyse de données par « distance sampling » (voir [MEURET et GUELIN 2023] pour encore plus de détails et [PYAUDISAM]).

Méthode « manuelle » via le logiciel « Distance »

Pour obtenir une estimation de densité à partir d'un jeu de données spécifique, nous - analystes « distance sampling » humains - procédons habituellement de la manière suivante (très résumée et simplifiée) :

1. chargement de l'échantillon spécifique prêt à l'emploi (données individualisées et typées : mâle seul ou adulte sans précision) dans un nouveau « projet » du logiciel « Distance » [THOMAS *et al.* 2010], de type « Point Transect »,
2. création d'une nouvelle « analyse », en choisissant (par défaut) le « moteur d'analyse » « CDS - Conventional distance sampling » (autrement dit le logiciel d'arrière plan MCDS, fourni avec le logiciel Distance version 7 et suivantes),
3. paramétrage de l'analyse :
 - modèle type (Half-Normal, Uniform, Hazard-Rate ...) et série d'ajustement (Cosinus ou Polynôme) à utiliser pour modéliser la fonction « probabilité de détection selon la distance de contact »,
 - troncatures éventuelles en distance à gauche et à droite (et nombre de tranches à utiliser pour la modélisation),
4. lancement des calculs,
5. examen des résultats si l'analyse s'est déroulée avec succès, (ou avec des avertissements = réserves statistiques)
 - qualité statistique de l'analyse : on vérifie les valeurs des différents tests statistiques faits par le logiciel, en particulier ceux du Khi2 et de Kolmogorov-Smirnov, ainsi que le critère d'Akaike, et le coefficient de variation DCV de la densité,
 - qualité de la modélisation : on vérifie visuellement le degré de correspondance modèle / données de terrain selon différents points de vues via les graphiques produits par le logiciel : diagramme Quantile-Quantile, courbe / histogramme de probabilité de détection, courbe de densité de probabilité correspondante, mais aussi complexité de la modélisation (principe de sobriété), quantité « d'outliers » écartés (moins il y en a, mieux c'est), préférence pour le modèle Half-Normal en général (plus « naturel » intuitivement), ...
 - valeur et intervalle de confiance de la densité obtenue
6. et on décide globalement si le résultat nous convient (volet « significativité statistique » et volet ornithologique) et si le résultat de cette analyse peut être retenu en conclusion (fin des analyses), ou bien s'il convient de recommencer une nouvelle analyse avec certaines variations dans les paramètres (retour en 2) pour essayer d'améliorer certains critères,
7. et ainsi de suite tant qu'on n'est pas satisfait : il convient alors de noter de manière rigoureuse pour chaque analyse ce qui ne va pas / peut être amélioré et pourquoi afin de s'y retrouver lors du dépouillement final de toutes les variantes examinées !

Méthode automatisée, via le logiciel « pyaudisam »

En comparaison et par contraste, ce logiciel a pour but d'automatiser ce processus manuel consommateur de temps, fastidieux et soumis à de probables erreurs humaines, et ce d'autant plus qu'il y a d'échantillons à analyser et de variantes de paramètres et jeux de données à tester (par exemple, pour la présente étude : 16 espèces x 4 troncatures préalable x au moins 8 ou 10 analyses à chaque fois si on est efficace ... soit 512 à 640 combinaisons) :

1. on lui fournit en entrée ,
 - la totalité des données individualisées (toutes espèces, tous passages, tous réplicats) sélectionnées pour 1 distance de troncature préalable (par ex. 120m)
 - la spécification des différents échantillons à analyser (espèces, passages, réplicats, type d'effectif),
 - la spécification des différents modèles et séries d'ajustement à tester,
 - la spécification des limites autorisées pour les variantes à tester de troncature à gauche, à droite et pour le nombre de tranches de distances (identiques) à utiliser en conséquence pour la modélisation (ces limites sont exprimées en général sous la forme d'un taux maximum « d'outliers » = données tronquées supplémentaires, en plus de la troncature préalable ; par exemple, pour une troncature préalable à 120m, pour un échantillon donné, et un taux d'outliers maximum fixé à 10%, la distance de troncature à droite pourra varier entre 102m et 120m, tandis qu'à gauche ce sera dans l'intervalle [0, 10m], si l'échantillon est tel que les 18m de variation possible à droite correspondent à 5% des données, et les 10m à gauche à 5% aussi),
 - on peut également lui donner des spécifications de troncatures fixées, à intégrer dans le lot de analyses à mener,
2. on lance les calculs : le logiciel va alors mener automatiquement 2 phases :
 - a) pour chacune des variantes possibles de paramètres spécifiées ci-dessus qui comporte une « autorisation de variation dans les limites fixées » (pour les troncatures supplémentaire uniquement), il va utiliser un algorithme d'optimisation qui va lancer autant d'analyses MCDS V6 que nécessaire pour couvrir correctement les domaines de variations autorisés ... et déterminer la « meilleure » selon un critère statistique dit « de qualité combinée » construit en agrégeant les critères numériques produit lors de chaque analyse par MCDS (Khi2, KS, DCV, ...), et d'autres critères simples utilisés habituellement par l'analyste humain ; ce critère « combiné » n'intègre pas directement les critères visuels utilisés par l'analyste humain, bien sûr (mais en partie indirectement via les critères numériques listés ci-dessus) ; cette « meilleure » analyse permet alors de fixer les paramètres (ainsi optimisés donc) laissés libres par les spécifications initiales,
 - b) lorsque toutes les variantes de paramètres d'analyse sont fixées, il exécute simplement une à une chacune de ces variantes (toujours via MCDS)
3. vient ensuite le temps du dépouillement automatisé : « pyaudisam » trie simplement l'ensemble des analyses effectuées sur chaque échantillon par ordre décroissant du critère « de qualité combinée », et n'en garde qu'un certain nombre (une douzaine semble suffisant d'expérience [MEURET et GUELIN 2023]), « les meilleures » dans la suite, pour produire automatiquement un rapport présentant l'essentiel des indicateurs (numériques et graphiques, voir liste ci-dessus) nécessaire à un analyste humain pour comparer ces « meilleures » analyses entre elles,
4. vient ensuite un temps de vérification et de décision humaine : il s'agit d'examiner le rapport produit en 3, pour chaque échantillon, et de décider finalement laquelle, parmi « les meilleures » analyses sélectionnées par l'automate, est celle qui sera finalement retenue :

est-ce la « meilleures des meilleures » pour l'automate, la 1^{ère} de la liste, ou bien une autre parmi les N (ici 12) meilleures, choisie par l'analyste humain sur d'autres critères que ce « seul » indicateur « de qualité combinée » ? (l'automate singeant le processus itératif « manuel » décrit ci-dessus, il peut se heurter aux mêmes difficultés de choix que l'analyste humain, par exemple lorsque des modélisation Half-Normal et Hazard-Rate donnent des résultats statistiquement aussi bons ; et puis n'étant pas parfait, et n'intégrant pas l'analyse des graphiques produits par MCDS, il pourra passer à côté de problèmes que l'analyste humain verra aisément).