



La technique du rappel au magnétophone pour estimer l'abondance de la perdrix rouge

L'estimation annuelle des effectifs d'une population de perdrix rouges sur un site est incontournable pour une gestion durable de l'espèce. Cependant, avec la déprise agricole, les paysages se modifient et deviennent de plus en plus embroussaillés, ce qui rend difficile voire impossible l'utilisation des méthodes de recensement habituelles. Le comptage au chant permet à présent de s'affranchir de cette contrainte de visibilité, tout en étant économique et utilisable en toutes conditions. Explications.



**FRANÇOISE PONCE-BOUTIN¹, CHRISTIANE JAKOB¹,
SYLVIE CARSUZAA¹, FANNY VILLAIN¹,
JEAN-BERNARD PUCHALA¹, JEAN-CHRISTIAN FAVAS¹,
LUC FRUITET¹, AURÉLIEN BESNARD²**

¹ ONCFS, CNERA Petite faune sédentaire de plaine,
Équipe Perdrix rouge – Tour du Valat, Le Sambuc, Arles.

² BEV-EPHE, UMR 5175 CEFE, Campus CNRS – 1919 route de Mende,
34293 Montpellier cedex 5.

Pourquoi une nouvelle méthode ?

Plusieurs techniques existent pour estimer les densités de perdrix rouge au printemps. La méthode des indices kilométriques en voiture (Ricci, 1989) consiste à recenser tous les oiseaux observés le long d'un circuit long de 3 km pour 100 hectares prospectés en voiture cinq fois au printemps, aux heures les plus favorables. Elle fournit une estimation de la densité. Un protocole équivalent réalisé à cheval ne nécessite que trois répétitions (Mathon, 1991). La méthode des plans quadrillés consiste à noter toutes les observations directes d'oiseaux réalisées lors de la prospection de l'ensemble de la zone à recenser, entre cinq et dix fois au printemps, et de les cartographier (Blondel, 1969). L'interprétation de ces données selon des règles précises fournit un effectif d'oiseaux nicheurs. Lors d'une battue à blanc, la zone est parcourue une seule fois par un groupe d'observateurs disposés en ligne (20 observateurs pour 500 hectares) qui comptent tous les oiseaux différents levés au cours de leur progression (Pépin & Birkan, 1981).

Aucune des méthodes mises au point par le passé n'est adaptée pour recenser les populations de perdrix rouges dans toutes les conditions (**tableau 1**). Or, la déprise agricole et les efforts de gestion font qu'on a de plus en plus besoin d'estimer des densités – parfois fortes – dans des zones où il n'est pas possible de pratiquer l'une de ces techniques (habitats très embroussaillés, difficilement pénétrables). La précision des estimations fournies par ces dernières étant souvent inconnue, il est difficile de comparer les niveaux des populations d'une année à l'autre et d'un site à l'autre.

Principe

Afin de s'affranchir de la contrainte de la visibilité, très variable selon les habitats et source de biais importants, nous nous sommes orientés vers des techniques de comptage au chant (Blondel *et al.*, 1981 ; Ferry & Frochot, 1970 ; Jakob & Ponce-Boutin, 2013), qui consistent en des comptages auditifs sur une série d'unités



Tableau 1 Comparaison des techniques de comptages utilisées pour l'estimation des densités de perdrix rouge.

	Battue à blanc	Indice kilométrique d'abondance en voiture	Indice kilométrique d'abondance à cheval	Plan quadrillé	Rappel au magnétophone
Surface recensée par session	500 ha	400 ha	400 ha	50 ha	500 ha
Type d'habitat	tout milieu pénétrable à pied	vignobles et garrigues aménagées	vignobles et garrigues aménagées	tout milieu pénétrable à pied	tout type de milieu
Densités pour lesquelles la méthode est utilisable	toutes	inférieure à 10 couples/100 ha		faible à moyenne densité	toutes
Nombre d'observateurs	20	2	1 cavalier	1	1
Équipement spécifique nécessaire		véhicule, jumelles	cheval		MP3, haut-parleur
Période (région méditerranéenne française)	mars	mi-mars à mi-avril	mi-mars à mi-avril	1 ^{er} mars au 30 avril	1 ^{er} mars au 30 avril
Heures	toute la journée	dans les 3h après le lever du soleil ou avant son coucher	toute la journée	matin ou soir	de 1 heure avant le lever du soleil à 1 h après
Nombre de répétitions nécessaires	1	5	3	entre 5 et 10	3
Conditions météorologiques	pas de forte pluie	pas de forte pluie	pas de forte pluie	pas de forte pluie	pas de forte pluie, force du vent < 20km/h
Effort pour 400 hectares (hors temps d'accès)	20 personnes x 1 journée	5 rép. x 3h x 2 personnes = 30 heures.homme	3 rép. x 5h x 1 personne = 15 heures.homme	8 sessions x 5 rép. x 2,5h x 1 personne = 100 heures.homme minimum	3 rép. x 2h x 1 personne = 6 heures.homme
Particularités	Convivialité, respect indispensable du protocole	Restrictions en matière d'habitat et de plages de densité	Restrictions en matière d'habitat et de plages de densité	Comptage exhaustif mais très coûteux en temps	Méthode universelle, assortie d'un intervalle de confiance

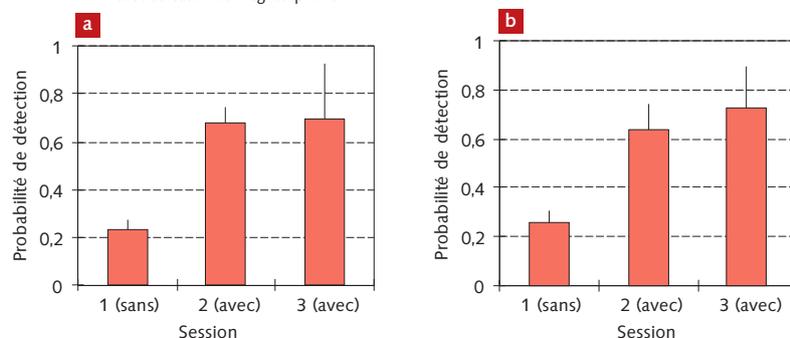
d'échantillonnage circulaires (points d'écoute). Au printemps, le mâle de perdrix rouge chante pour attirer la femelle et défendre son territoire. Un observateur relève tous les oiseaux entendus à partir d'un point central pendant une courte période. Des modèles – comme le N-mixture model (Royle, 2004) basé sur des comptages répétés dans l'espace et dans le temps – estiment simultanément l'abondance moyenne par point, avec un intervalle de confiance, et la probabilité de détection. Pour que ces modèles donnent les meilleurs résultats, il est toutefois nécessaire d'augmenter au maximum la probabilité de détection et d'y intégrer les facteurs mesurables qui jouent sur celle-ci (Besnard, 2009).

Utilisation du rappel au magnétophone pour augmenter la détectabilité

Jakob *et al.* (2010) ont montré que la probabilité de détection d'un mâle chanteur dans les intervalles de temps sans rappel est de 0,23 et 0,26 (deux répétitions), alors qu'elle est deux à trois fois plus élevée au cours des sessions avec usage du magnétophone (valeur supérieure à 0,63 – **figure 1**). La probabilité de détection d'un mâle chanteur sur les huit minutes est estimée à 0,92 avec rappel, alors qu'elle aurait atteint 0,54 et 0,59 respectivement durant les deux répétitions sans utilisation du magnétophone.

Figure 1 Probabilité de détection moyenne (+/- SE) d'un mâle chanteur au cours de deux passages (a et b) réalisés au printemps 2009.

Les sessions de huit minutes diffèrent entre la première sans rappel, et les deuxième et troisième avec utilisation du magnétophone.



La fermeture du milieu influence la détectabilité de la perdrix rouge au chant.



© J.-B. Puchala/ONCFS

Quelles sont les sources de variation de la détectabilité ?

La probabilité de détection varie de manière importante selon l'habitat, la date, l'heure... (Carsuzaa, 1996 ; Pépin & Fouquet, 1992). Ces biais sur les estimations d'effectifs peuvent être négligeables lorsque la probabilité est élevée. Mais ce n'est pas le cas lorsqu'elle est faible comme chez la perdrix rouge.

Plus de 16 000 données pour préciser les conditions d'utilisation

Quelque 16 288 données ponctuelles de comptage, collectées sur quarante sites de 100 à 3 000 hectares situés en région méditerranéenne, ont été rassemblées entre 1992 et 2010, au printemps, en utilisant la méthode des points d'écoute améliorée par l'utilisation de rappel au magnétophone.

Pour chaque site (une unité de gestion cynégétique, communale ou privée), une grille de lignes espacées de 500 mètres a été disposée sur une carte aérienne. Les points d'écoute ont été positionnés aussi près que possible de chaque intersection de la grille, de manière à être accessibles en voiture et distants les uns des autres d'au moins 500 mètres. Une fois établis, ils restent inchangés d'une année à l'autre. Ces points sont rassemblés en circuits par groupes de cinq à dix. Ils font l'objet d'une session d'écoute de huit minutes, entre trois et dix fois chaque printemps. Chaque session est divisée en trois intervalles de temps de 2 minutes 40 secondes, comprenant chacun l'émission de quatre strophes du chant de la perdrix rouge avec un magnétophone ou MP3 équipé d'un haut-parleur d'une puissance de 4W. Après chaque strophe, l'observateur fait un quart de tour ; au total, il réalise trois tours complets. Pour chaque point, le nombre de mâles chanteurs différents entendus durant ces huit minutes est relevé.

En 1992, une première phase de test de la méthode a consisté à réaliser des points d'écoute sur une longue période allant de fin février à fin mai, à diverses heures du matin (autour du lever du soleil) et du soir (autour du coucher du soleil), et à noter systématiquement les conditions climatiques telles que la force du vent, la pluie ou la température. Les observateurs ont été répartis en deux catégories : expérimentés ou non (première année d'observation). L'effet de la densité de végétation a été testé dans une deuxième étape sur 8 000 données ponctuelles, pour lesquelles a été déterminé un indice de fermeture du milieu (IFM) composé de trois classes : habitat ouvert (visibilité sur 240° et plus), intermédiaire (visibilité s'étendant de 120 à 240°) ou très fermé (visibilité inférieure à 120°).

La probabilité de détection de la perdrix rouge est influencée par la date, l'heure (différence entre le matin et le soir), la force du vent, la fermeture du milieu et, plus faiblement, par la température (figure 2). Par contre, elle n'est pas affectée par une pluie faible ou l'expérience de l'observateur. Il faut préciser que, suite aux premières analyses réalisées sur le jeu de données (Carsuzaa, 1996), le protocole spécifiait d'éviter les jours de forte pluie.

Cette étude permet de sélectionner les créneaux de dates et heures pendant lesquels la détectabilité est maximale et d'éviter les conditions défavorables (fort vent, forte pluie, soir) pour la mise au point du protocole définitif. De plus, dans le cadre ainsi établi, le modèle final prend en compte et corrige les variations de détectabilité en fonction de la date (pic de détectabilité fin mars-début avril), l'heure (la détectabilité diminue de la fin de la nuit aux premières heures du jour) et l'indice de fermeture du milieu.

Conversion des densités obtenues par les diverses méthodes de comptage

En quarante six occasions, trois autres méthodes de comptages ont été utilisées simultanément aux comptages par rappel au magnétophone (même année, même site) : l'indice kilométrique d'abondance en voiture, la battue à blanc et la technique des plans quadrillés (voir plus haut). Il existe une bonne corrélation ($r > 0,8$) entre les estimations d'abondance par rappel au magnétophone calculées avec le modèle et les densités obtenues par les méthodes des plans quadrillés ou des indices kilométriques

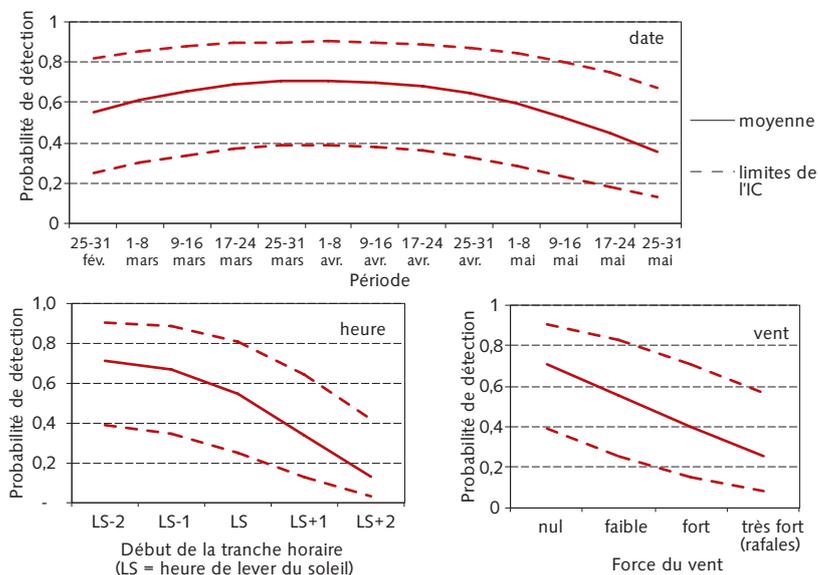


Le matériel utilisé pour émettre le chant : un haut-parleur relié à un MP3.

d'abondance. Les résultats obtenus par l'une de ces méthodes pourront donc être comparés à ceux obtenus par une autre. Par contre, aucune corrélation significative n'a été mise en évidence avec la méthode de la battue à blanc. Cette dernière méthode exige un respect absolu de certaines règles qu'il est parfois difficile de faire appliquer par les nombreux participants nécessaires compte tenu des aléas de son application sur le terrain.

La pente de la droite de régression entre l'abondance fournie par le modèle N-mixture et la densité obtenue par la méthode des plans quadrillés, exhaustive, permet d'estimer la surface recensée autour de chaque point d'écoute à 56,8 hectares (Jakob *et al*, 2014), ce qui correspond à un rayon de détection maximal de 425 mètres, c'est-à-dire que tous les oiseaux susceptibles de répondre au rappel et situés à une distance inférieure sont pris en compte dans l'estimation de l'abondance.

Figure 2 Effets de la date, de l'heure et du vent sur la probabilité de détection. IC = intervalle de confiance.



Vérification sur le terrain

Dans une expérience complémentaire, menée sur cinq sites et cinquante quatre points d'écoute, Villain (2012) a mesuré une distance maximale de détection de 389 mètres. La courbe de la probabilité de détection obtenue montre toutefois que des oiseaux auraient pu être entendus au-delà de 416 mètres (limite au-delà de laquelle la probabilité de détection devient inférieure à 1 %, **figure 3**). Ceci est cohérent avec ce qui a été obtenu avec le modèle N-mixture.

Mise en œuvre

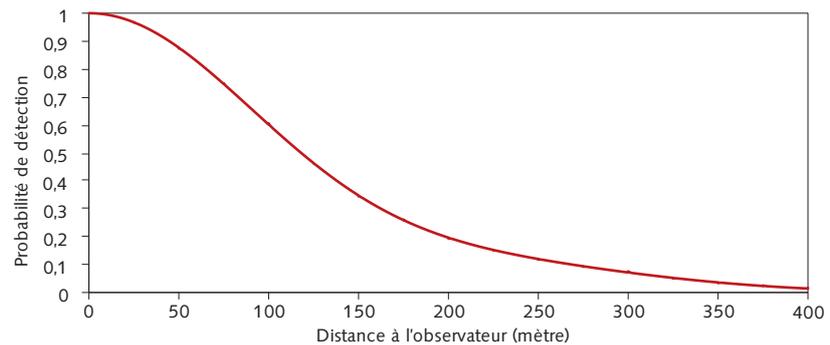
Le protocole définitif de la méthode de comptage des perdrix rouges au printemps par rappel au magnétophone est établi de manière à prendre en compte les résultats exposés précédemment. Il est disponible au téléchargement sur le site de l'ONCFS (**encadré**). Outre la liste du matériel nécessaire et la méthode à suivre, il contient les tableaux pour la récolte des données sur le terrain. Nous n'aborderons ici que les points essentiels à sa mise en œuvre.

Construction des circuits de points d'écoute

Comme pour toute méthode de comptage, le positionnement des circuits ou des points d'observation doit respecter certaines règles, afin de garantir la fiabilité des résultats. La première est de prendre en compte le fait que les comptages qui vont être réalisés ne seront applicables que pour la partie du territoire recensée ou les zones identiques.

Figure 3 Courbe de probabilité de détection d'une perdrix rouge en fonction de la distance à l'observateur.

D'après Villain, 2012.



En règle générale, deux cas sont possibles :

❶ le territoire est homogène au niveau de l'habitat et de sa gestion cynégétique (même société de chasse). Dans ce cas, les résultats obtenus seront applicables à l'ensemble. Deux stratégies alors : si la zone fait moins de 500 hectares, neuf à dix points d'écoute sont répartis de manière à être distants de 800 mètres environ (500 mètres au minimum) et accessibles par des pistes carrossables. Si sa superficie est supérieure, il est possible, soit d'espacer les points jusque 1 km, soit de ne compter qu'une partie du site et d'extrapoler le résultat obtenu sur une partie du site à son ensemble ;

❷ le territoire est hétérogène. L'hétérogénéité peut se situer au niveau de la gestion cynégétique (par exemple une partie en réserve et une autre chassée) ou de l'habitat (une partie cultivée et l'autre en garrigue par exemple). Dans ce cas, deux stratégies sont possibles. Si chaque secteur ainsi identifié fait plus de 500 hectares, il est conseillé de répartir sur chacun d'entre eux

un minimum de six points d'écoute, de la même manière que décrit ci-dessus pour un territoire homogène. Par contre, il est important d'attribuer le résultat obtenu pour chaque secteur à la surface qu'il occupe. L'autre stratégie est de répartir les points d'écoute sur l'ensemble du territoire, en veillant à ce que le nombre de points sur chaque secteur soit proportionnel à sa surface. Dans ce cas, le résultat trouvé correspondra à la globalité du territoire, sans connaissance de l'abondance pour chaque secteur.

Il est également important que les points, une fois tracés sur carte, soient vérifiés par une visite de terrain pour s'assurer qu'ils sont accessibles sans danger la nuit ou que l'environnement n'est pas trop bruyant par exemple (les déplacer légèrement si nécessaire). Ensuite, une fois fixés, il ne faudra plus les déplacer afin que les comptages soient comparables d'une année sur l'autre.

Il est également recommandé que le premier point d'écoute soit positionné de manière aléatoire, comme devrait l'être également le départ de tout circuit de comptage.

Un mâle répondant à l'émission d'un chant enregistré.



Il est conseillé de se rapprocher de l'équipe Perdrix rouge de l'ONCFS qui, soit établira la carte, soit donnera un contact (FDC, SD, autre) à proximité qui pourra aider pour la réalisation de cette phase délicate. Il faudra alors fournir une carte où seront portées les limites exactes du territoire, celles des éventuels secteurs à distinguer, ainsi que le tracé de toutes les pistes carrossables (*schéma 1*).

Mise en pratique sur le terrain

La phase de mise œuvre sur le terrain, explicitée dans le protocole, fait l'objet d'un film vidéo téléchargeable sur internet (*encadré*). Elle consiste à parcourir, entre le 1^{er} mars et le 30 avril (en région méditerranéenne et basse altitude), un circuit de dix points d'écoute au maximum entre une heure avant le lever du soleil (il fait nuit) et une heure après. Les dates sont décalées pour les sites plus septentrionaux ou en altitude, afin de s'ajuster sur la chronobiologie de l'oiseau (dates d'éclosion). En chaque point, huit minutes de chant de perdrix rouge sont émises avec un MP3 lié à un haut-parleur, et tous les répondeurs différents sont cartographiés et comptabilisés. Quel que soit le haut-parleur utilisé, il faut qu'il soit assez puissant pour reproduire le volume du chant d'une perdrix rouge dans la nature ; mais il ne doit pas être réglé plus fort afin de ne pas gêner l'écoute.

Calcul de l'abondance grâce au modèle

Lorsque l'observateur émet le chant avec le magnétophone, trois situations sont possibles :

- **cas 1** : les perdrix qui répondent et que l'observateur entend – c'est le nombre de répondeurs qu'il note sur sa fiche (oiseau disponible et détecté) ;
- **cas 2** : les perdrix qui répondent et que l'observateur n'entend pas (oiseau disponible et non détecté) ;
- **cas 3** : les perdrix qui sont présentes autour du point d'écoute et qui ne répondent pas (oiseau non disponible).

Ces deux dernières catégories d'oiseaux, non détectées au moment d'un comptage et dont la proportion varie en fonction de la date, l'heure et l'IFM, sont prises en compte par le modèle, basé à ce jour sur 20 000 données. Celui-ci calcule l'effectif de perdrix réellement présentes à partir du nombre d'oiseaux entendus. Il en ressort une abondance, exprimée en nombre moyen de mâles présents par point d'écoute, assortie d'un intervalle de confiance.

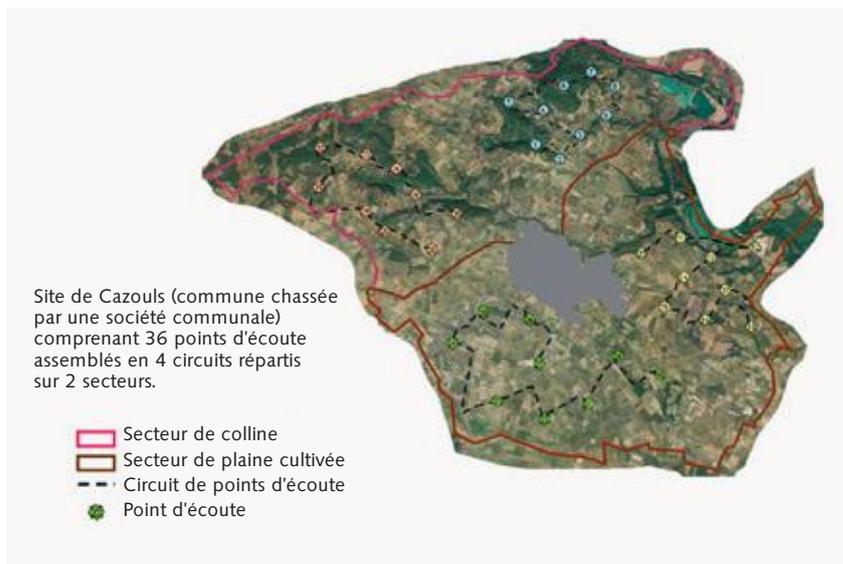
Sur l'exemple des données recueillies par l'Office national des forêts (ONF) et l'ONCFS pour la forêt domaniale du Petit Luberon, dans laquelle des suivis annuels sont

réalisés depuis 1993 (*figure 4*), nous avons voulu comparer les estimations d'abondance obtenues par la somme, sur la totalité des points d'un circuit, du nombre maximal de chanteurs enregistrés sur les trois répétitions (cas 1) et l'abondance obtenue

via le modèle suscitée. En moyenne, sur cet exemple, cette dernière valeur est 3,9 fois supérieure à la première, considérée comme un bon estimateur quand la détectabilité est élevée (Blondel *et al.*, 1981).

Schéma 1 Exemple de représentation cartographique de circuits d'écoute de la perdrix rouge au chant sur un site donné (fond de carte Google earth).

Site = surface chassée par une unité de chasse (société, ACCA, chasse privée...); secteur = partie du site présentant une homogénéité de gestion (lâchers/pas de lâchers, zone en réserve/zone chassée) ou d'habitat (zone cultivée/garrigue...); circuit = ensemble des points d'écoute qui sont parcourus sur le site dans la même matinée; point d'écoute = unité de comptage.



Encadré

Le réseau de sites perdrix rouge

L'idée de développer un réseau de sites d'observation des populations de perdrix rouge a pu se concrétiser grâce à la méthode des comptages au magnétophone, qui permet des comparaisons dans le temps et l'espace, y compris avec les autres méthodes disponibles. Ce réseau étant en pleine croissance (126 sites suivis en 2013 – Ponce-Boutin, 2014), des outils ont été développés et mis à disposition sur le site internet de l'ONCFS (*voir ci-après*), afin de gagner en efficacité et de fournir au plus vite les résultats des comptages pratiqués. Une première approximation est faite lors de la saisie, puis les résultats définitifs obtenus via le modèle sont envoyés fin juin par site à chaque partenaire.

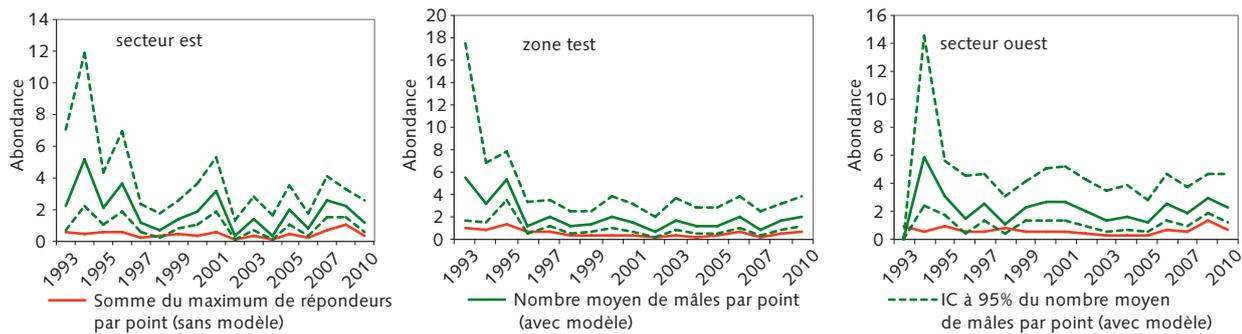
Un package complet pour le suivi de l'espèce

Les outils suivants sont accessibles librement à l'adresse <http://www.oncfs.gouv.fr/Reseau-Perdrix-rouge-ru555> :

- tous les protocoles de suivi des populations de perdrix rouge (estimations des densités au printemps, du succès de la reproduction en été) ;
- le fichier contenant les huit minutes de chant à télécharger sur MP3 ;
- des outils de saisie pour rentrer directement les données brutes de comptages, se terminant par une première estimation du résultat ;
- un outil simple pour calculer le prélèvement à la chasse possible en fonction des résultats de comptages ;
- les présentations faites lors de la dernière réunion du réseau ;
- les lettres annuelles du réseau ;
- les publications.

Pour rejoindre le réseau, contacter : francoise.ponce-boutin@oncfs.gouv.fr

Figure 4 Comparaison de l'estimation de la densité calculée à partir de comptages par rappel au magnétophone sur le site du Luberon en utilisant ou non le modèle N-mixture.



De l'abondance à l'effectif et la densité

Le modèle fournit une estimation du nombre moyen de mâles (M) présents par point d'écoute sur un secteur. Pour obtenir le nombre total de perdrix (N), il suffit d'extrapoler ce résultat à la surface (en hectares) du secteur (S) soit :

$$N = 0,0352 \times M \times S.$$

La conversion en densité, exprimée en nombre de couples pour 100 hectares, s'obtient comme suit :

$$D = (50 \times N) / S$$

En conclusion

Avec cette nouvelle méthode, nous disposons maintenant d'un outil économique et utilisable en toutes conditions. Par contre, comme tout autre protocole de comptage, elle nécessite un strict respect de ses conditions d'utilisation, qui garantissent la fiabilité des résultats obtenus.

Remerciements

Nous souhaitons remercier ici toutes les personnes qui ont participé à cette étude depuis 1992, tant les opérateurs de terrain que les gestionnaires et les propriétaires qui nous ont ouvert leurs domaines, le plus souvent dans le cadre du réseau Perdrix rouge. Une partie de l'étude a été réalisée dans le cadre de conventions avec la FDC 34 et la FRC LR. Merci également aux nombreux agents, vacataires, stagiaires de l'ONCFS qui ont apporté leur aide au recueil de données et/ou à leur analyse, plus particulièrement Francis Berger, Laura Dami, Cyril Eraud, Jérôme Letty, Tanguy Le Brun, Nicolas Mathevet, Jean-François Mathon, Sandrine Navarre, Florent Patural, Christophe Pin, Bruna Romanini, Denis Roux et Laurent Tatin.

Ce travail a été rendu possible grâce au soutien et l'aide constante de François Biadi puis de François Reitz, ainsi que grâce à la Fondation Tour du Valat. ■

Le positionnement des circuits ou points d'écoute doit respecter certaines règles, afin de garantir la fiabilité des résultats.



© F. Ponce-Boutin / ONCFS

Bibliographie

- Besnard, A. 2009. Estimation d'effectifs, passez la méthode au crible. *Espaces naturels* 26 : 23-26.
- Blondel, J. 1969. Méthodes de dénombrement des populations d'oiseaux. In: M. Lamotte & F. Bourlière (éd.). *Problèmes d'écologie : l'échantillonnage des peuplements animaux des milieux terrestres*. Masson : 97-151.
- Blondel, J., Ferry, C. & Frochot, B. 1981. Point counts with unlimited distance. *Studies in Avian biology* 6: 414-420.
- Carsuzaa, S. 1996. Validation d'une méthode de recensement des Perdrix rouges au printemps par utilisation de chants préenregistrés. Rapport DESS, Univ. Montpellier II.
- Ferry, C. & Frochot, B. 1970. L'avifaune nidificatrice d'une forêt de Chênes pédonculés en Bourgogne : étude de deux successions écologiques. *Terre & Vie* 24 : 153-250.
- Jakob, C. & Ponce-Boutin, F. 2013. Recent tools for population abundance estimation adjustment and their use in long-term French red-legged partridge survey. *Avocetta* 37: 77-82.
- Jakob, C., Ponce-Boutin, F. & Besnard, A. 2014. Coping With Heterogeneity to Detect Species on a Large Scale: N-Mixture Modeling Applied to Red-Legged Partridge Abundance. *Journal of Wildlife Management* 78(3): 540-549.
- Jakob, C., Ponce-Boutin, F., Besnard, A., & Eraud, C. 2010. On the efficiency of using song playback during call count surveys of red-legged partridges (*Alectoris rufa*). *European Journal of Wildlife Research* 56: 907-913.
- Mathon, J-F. 1991. Une méthode de dénombrement des couples de perdrix rouge (*Alectoris rufa*) au printemps par indice kilométrique d'abondance obtenu à partir de circuits équestre (I.K.A.E.Q.). *Bull. Mens. ONC* 154 : 20-24.
- Pépin, D. & Birkan, M. 1981. Comparative total and strip-census estimates of hares and partridges. *Acta Oecologica* 2: 151-160.
- Pépin, D. & Fouquet, M. 1992. Factors affecting the incidence of dawn calling in red-legged and grey partridges. *Behav. Process* 26: 167-176.
- Ponce-Boutin, F. (coord.). 2014. La Perdrix rouge en région méditerranéenne. *Bulletin du réseau des sites "Perdrix rouge et biodiversité"*, n° 11, janvier 2014.
- Ricci, J.-C. 1989. Une méthode de recensement des perdrix rouges (*Alectoris rufa* L) au printemps par indice kilométrique d'abondance (IKA PRV) dans le midi-méditerranéen. *Gibier Faune Sauvage* 6 : 145-158.
- Royle, J.A. 2004. N-mixture models for Estimating Population size from spatially replicated counts. *Biometrics* 60: 108-115.
- Villain, F. 2012. Distance de détectabilité au chant de la Perdrix rouge (*Alectoris rufa*) : un outil pour convertir une abondance en densité. Parcours IEGB, Faculté des sciences, Montpellier.