



HAL
open science

Dénombrer les populations de chevreuils par l'utilisation du Line transect. Etude de faisabilité

Jean-Michel Gaillard, Jean-Marie Boutin, Guy van Laere

► **To cite this version:**

Jean-Michel Gaillard, Jean-Marie Boutin, Guy van Laere. Dénombrer les populations de chevreuils par l'utilisation du Line transect. Etude de faisabilité. *Revue d'Écologie*, 1993, 48 (1), pp.73-85. hal-03529154

HAL Id: hal-03529154

<https://hal.science/hal-03529154>

Submitted on 17 Jan 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

NOTE TECHNIQUE

DÉNUMBRER LES POPULATIONS DE CHEVREUILS PAR L'UTILISATION DU *LINE TRANSECT*. ÉTUDE DE FAISABILITÉ

Jean-Michel GAILLARD*, Jean-Marie BOUTIN** et Guy VAN LAERE**

Devant la profusion des techniques de dénombrement disponibles pour les grands mammifères (Bourlière, 1969 ; Van Lavieren, 1976 ; Caughley, 1977 ; Seber, 1982, 1986), il devient de plus en plus difficile de choisir les plus adaptées à la situation que l'on étudie. Ceci explique au moins pour partie la grande diversité des techniques appliquées au Chevreuil (*Capreolus capreolus*) : battue totale (Boisaubert *et al.*, 1979), battue sur secteur-échantillon (Von Berg, 1979 ; CEMAGREF, 1984 ; Denis, 1985 ; Blant, 1987), nombreuses techniques dérivées de l'approche du gibier (De Crombrugge, 1969 ; Boisaubert & Stoquet, 1975 ; Boisaubert *et al.*, 1979), indice kilométrique (Vincent *et al.*, 1979 ; Vincent *et al.*, 1991) ou méthodes de capture-marquage-recapture (Strandgaard, 1967 ; Gaillard *et al.*, 1986). Malgré l'abondance de ces travaux consacrés au suivi des populations de chevreuils, cette espèce reste particulièrement difficile à dénombrer (Dzieciolowski, 1976 ; Staines & Ratcliffe, 1987). De nombreuses expériences en témoignent (Strandgaard, 1972) mais celle d'Andersen (1953) reste la plus illustrative : il extermina une population de chevreuils estimée à quelque 70 individus et en trouva 213 !

On doit en fait reconnaître plusieurs causes en interaction dans les problèmes rencontrés lors du dénombrement des populations de chevreuils. Tout d'abord, le caractère ubiquiste de ces animaux par rapport à la couverture végétale entraîne une grande variabilité de la probabilité d'observer un individu, et ce quelle que soit la technique utilisée. La structure en mosaïque du domaine vital, avec alternance de zones de taillis et de zones plus dégagées (Bideau *et al.*, 1983 pour les mâles en forêt ; Vincent *et al.*, 1983 pour les femelles en forêt ; Maublanc, 1985 en plaine) rend par exemple toute stratification fondée sur l'ouverture du milieu inefficace. D'autre part, le dénombrement n'est pas une opération de haute précision et une incertitude de 20 % est une marge minimale. Ceci est dû aux nombreuses hétérogénéités dans la population (classes de sexe et d'âge), dans l'habitat (hétérogénéité spatiale) et dans le temps (effet de la température, de la luminosité ou des précipitations sur les comptages).

* URA CNRS 243, UCB Lyon 1, 43 boulevard du 11 novembre 1918, 69622 Villeurbanne.

** Office National de la Chasse, 85bis avenue de Wagram, B.P. 236, 75822 Paris.

Pour faire face à ces contraintes, il nous apparaît nécessaire d'utiliser des méthodes déjà bien éprouvées sur le plan théorique de l'estimation qui permettent d'associer une incertitude à l'effectif ou à la densité estimée. D'autre part, la méthode doit permettre à l'utilisateur de prendre en compte la spécificité du Chevreuil dans l'application du protocole. Le *line transect*, qui connaît aujourd'hui un essor spectaculaire pour le dénombrement des populations de grands mammifères (ongulés : Zejda, 1984, 1985 ; Alvarez Jimenez, 1988 ; Fandos *et al.*, 1990 ; Primates : Whitesides *et al.*, 1988 ; marsupiaux : Coulson & Raines, 1985) répond à ces critères. Jusqu'à présent, les applications au Chevreuil n'ont concerné que des populations pour lesquelles l'évolution des effectifs au cours du temps restait inconnue. Disposant d'une population dont l'évolution des effectifs est connue depuis plus de dix ans, nous présentons dans ce travail une étude de faisabilité de l'utilisation du *line transect* pour dénombrer les populations de chevreuils.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

SITE ET POPULATION ÉTUDIÉE

La population de chevreuils de la Réserve Nationale de Chasse de Chizé a servi de support à l'étude de faisabilité du *line transect* pour dénombrer leurs populations. La réserve de Chizé est localisée au sein de la forêt domaniale de même nom, dans la région Poitou-Charentes, à moins de 50 km de l'océan Atlantique. Cette position lui confère un climat de type océanique caractérisé par des hivers doux et un enneigement assez faible. Ce site de 2 610 ha de forêt est entièrement clos par un grillage imperméable au Chevreuil. La forêt est essentiellement constituée par une hêtraie-chênaie calcicole. Comme l'ensemble de la forêt domaniale, la réserve de Chizé est divisée en parcelles forestières de dix sept hectares en moyenne. Afin d'augmenter la capacité d'accueil du milieu pour le Chevreuil, une dizaine de prairies de un hectare ont été créées. La population de chevreuils de ce site est intensivement suivie par capture-marquage-recapture (CMR) depuis 1978. Chaque année, des captures au filet sont organisées en hiver (décembre à mars) et permettent la capture de 200 à 350 chevreuils en une dizaine de journées. Un certain nombre de ces animaux sont exportés pour le repeuplement d'autres régions (entre 100 et 250 individus), les autres étant relâchés après avoir été individuellement marqués. En plus d'une régulation artificielle du nombre d'individus, ceci permet de disposer d'une population avec plus des deux tiers d'individus marqués. L'évolution de l'effectif de cette population sur les 14 dernières années peut alors être estimée (Gaillard *et al.*, 1986 ; Fig. 1). Le nombre de chevreuils de plus de 1 an en mars a ainsi fluctué fortement durant la période d'étude, avec un pic en 1983 et une diminution constante des effectifs depuis cette date. L'échantillonnage par *line transect* de la population a pris place en 1987 et 1989, soit à 2 moments différents de la phase de diminution des effectifs (Fig. 1).

MÉTHODE

Puisque l'objectif de ce travail est de déterminer la faisabilité de l'échantillonnage par *line transect* des populations de chevreuils, l'adéquation maximale entre théorie de la méthode et protocole utilisé pour le Chevreuil doit être recherchée.

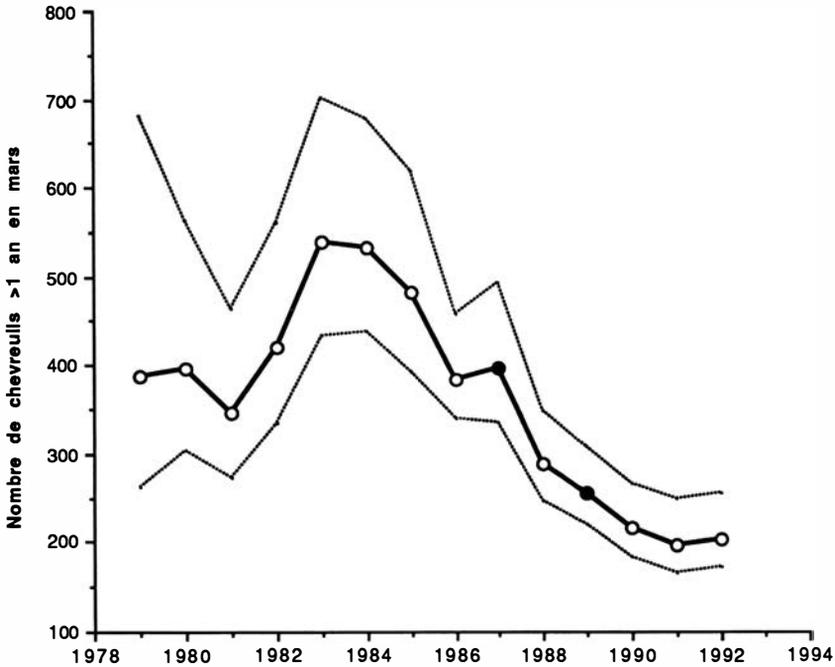


Figure 1. — Estimation de l'effectif de la population de chevreuils en mars dans la réserve de Chizé entre 1979 et 1992. Les estimations d'effectif sont obtenues à partir des probabilités de capture estimées grâce au modèle de Cormack-Jolly-Seber (Lebreton *et al.*, 1992). Seuls les chevreuils de plus de un an sont pris en compte. Le test de faisabilité du line transect a été réalisé en 1987 et 1989 (ronds noirs).

Théorie du *line transect*

L'échantillonnage des populations animales à partir de transects recouvre un vaste ensemble de méthodes (Eberhardt, 1978, 1981) qui ont été largement appliquées tant au dénombrement d'objets immobiles (*line intersect* : De Vries, 1979) que mobiles (indice kilométrique : Vincent *et al.*, 1979 ; comptage au phare : McCullough, 1982 ; Harestad & Jones, 1981 ; *line transect* : Anderson *et al.*, 1979). Alors que les premières applications du *line transect* sont anciennes (Leopold, 1933), une théorie complète de la méthode n'a été établie que récemment (Burnham *et al.*, 1980).

Définition du *line transect*

Le principe peut être résumé comme suit (Fig. 2) : un observateur parcourt une ligne de longueur L définie au préalable, en scrutant de part et d'autre de l'axe de marche pour détecter d'éventuels animaux. Dès qu'un individu est aperçu, 3 mesures sont relevées :

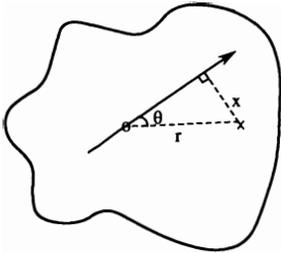
- la distance de l'observateur à l'animal (r)
- la distance perpendiculaire de l'animal à la ligne de marche de l'observateur (x)

— l'angle entre la ligne de marche et la ligne imaginaire reliant l'observateur à l'animal (t).

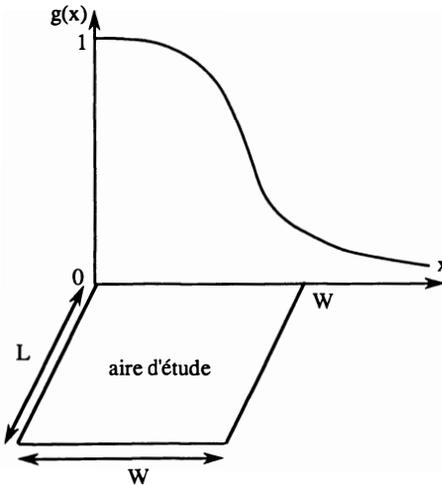
Puisqu'il existe une relation trigonométrique simple entre les 3 mesures ($x = r \sin(t)$), le relevé des 3 mesures permet en pratique de détecter des erreurs éventuelles (Anderson *et al.*, 1979). Aucune limite de largeur de la bande d'observation n'est imposée à l'observateur. Ce sont les distances mesurées qui servent à établir la largeur effective du transect (Burnham & Anderson, 1984) qui permettra d'estimer la densité à l'aide de l'estimateur général :

$$D = n/(2 Lw) \quad (1)$$

où



- : axe de marche de l'observateur
- o : observateur
- x : objet à dénombrer
- x : distance perpendiculaire
- r : distance radiale
- θ : angle de fuite



- x : distance perpendiculaire
- $g(x)$: courbe de détection des objets à dénombrer en fonction de x permettant de définir l'aire d'étude
- W : largeur effective du transect

Figure 2. — Principe de l'échantillonnage par *line transect*.

n : nombre de contacts
L : longueur du transect
w : largeur effective du transect.

L'estimation de la densité se fait donc en deux étapes : la largeur effective est d'abord déterminée à partir de la distribution des distances perpendiculaires, puis la densité est calculée en utilisant l'équation (1). Bien qu'une trentaine de modèles de *line transects* soient disponibles aujourd'hui, tous reposent sur ce principe (mais voir Zahl, 1989 pour un modèle plus général).

Conditions d'application du *line transect*

Cinq conditions générales d'application sont requises :

1. tout individu se trouvant sur l'axe de marche est détecté
2. l'observateur n'influe pas sur la position des animaux
3. les détections sont des événements indépendants
4. les mesures sont précises
5. aucun individu n'est échantillonné plus d'une fois.

Ceci confère deux avantages au *line transect* :

— contrairement à ce qui est souvent supposé (e.g. Seber, 1973), aucune condition sur la répartition spatiale des animaux n'est nécessaire. L'agrégativité des animaux augmente la variance de l'estimation, mais ne biaise pas les estimations ;

— un animal non compté n'introduit pas de sous-estimation systématique de la densité s'il se trouve en dehors de l'axe de marche de l'observateur (Burnham *et al.*, 1985). Ceci confère au *line transect* une meilleure efficacité et moins de biais par rapport au « *strip-transect* » (dénombrement sur bande avec comptage exhaustif sur une surface prédéterminée).

Les modèles de *line transects*

Plus d'une trentaine d'estimateurs de densité à partir de *line transects* ont été publiés, certains n'ayant même jamais reçu d'application. On peut distinguer deux grands groupes de méthodes : celles fondées sur la distance radiale et l'angle de fuite, et celles fondées sur la distance perpendiculaire. Comme les premières, généralisées par Burnham (1979) apparaissent aujourd'hui moins performantes (Hayes & Buckland, 1983), nous ne les développerons pas ici.

Dans les méthodes reposant sur les mesures de distances perpendiculaires, 3 types d'estimation correspondant à 3 façons différentes d'estimer la largeur effective, sont reconnus par Eberhardt (1979, 1981) et Burnham *et al.* (1980). Ce sont les méthodes paramétriques, les méthodes « ad-hoc » et les méthodes non-paramétriques.

Le modèle paramétrique le plus simple et le plus ancien consiste à considérer la moyenne arithmétique des distances perpendiculaires comme estimation de la largeur effective. Les modèles paramétriques utilisés par la suite reposent sur la modélisation de la distribution des distances perpendiculaires. Les modèles exponentiel (Gates *et al.*, 1968), demi-normal et quadratique (Gates, 1979) ont

ainsi été largement utilisés. Chacun de ces modèles repose sur une distribution de fréquence particulière. Ces modèles sont donc sujets aux biais si la distribution supposée n'est pas retrouvée dans les données.

La plupart des méthodes « ad-hoc » consistent à tracer l'histogramme des distances perpendiculaires et à rechercher graphiquement la distance à partir de laquelle le nombre d'observations chute brutalement. Ces méthodes sont généralement très anciennes (Kelker, 1945 in Burnham *et al.*, 1980). Même si des extensions de ces premiers modèles sont aujourd'hui disponibles, ces techniques manquent toujours de robustesse et souffrent toutes d'une très grande subjectivité (Burnham *et al.*, 1980).

Les méthodes non-paramétriques, apparues les dernières (Anderson & Pospahala, 1970) semblent actuellement les plus performantes (Buckland, 1982, 1985) grâce à leur grande robustesse (Burnham *et al.*, 1979). A partir de simulation, les modèles les plus performants sont les séries de Fourier (Burnham *et al.*, 1981) et le modèle polynomial (Burnham *et al.*, 1980).

Définition d'un protocole applicable au Chevreuil

Pour définir un protocole d'application du *line transect* du Chevreuil, nous avons cherché à optimiser l'adéquation entre les hypothèses inhérentes à la méthode et l'échantillonnage de la population. En milieu forestier, une visibilité totale sur l'axe de marche et le respect de cette ligne de marche ne sont pas acquis par avance. D'un autre côté, il faut que la ligne soit indépendante de la distribution spatiale des individus. Ces deux contraintes empêchent tout parcours à l'intérieur des parcelles (surtout aussi fermées que celles de la réserve de Chizé) et excluent également d'emprunter les chemins carrossables. Un compromis a consisté à établir la ligne de marche sur les layons (zones dépourvues de végétation arbustive ou arborescente séparant deux parcelles forestières). Il est assez difficile de s'assurer du respect de la seconde condition, à savoir que l'observateur ne modifie pas la position des animaux, ou tout au moins, est capable de localiser leur position initiale. Dans le cas d'animaux au repos, ceci peut être facilité dans la mesure où même si l'animal fuit, l'endroit où il était gité restera repérable pour un observateur expérimenté. Pour ce qui est des animaux en activité, la question est plus délicate et seul un maximum de discrétion de la part de l'observateur permettra d'approcher cette condition du modèle. En ce qui concerne l'indépendance entre les détections et l'absence de double-comptages, deux problèmes apparaissent. Tout d'abord, comme il est impossible d'échantillonner la zone d'étude en un seul transect, l'indépendance entre les différents transects devra être assurée. Dans le cadre de cette étude de faisabilité ou peu de transects étaient mis en place, ceci n'a posé aucun problème. D'autre part, il convient de s'assurer de l'indépendance des observations sur un même transect. Le choix de la période d'échantillonnage est alors capitale, et la période la plus propice est celle où les individus sont le plus solitaires, c'est-à-dire en avril-mai quand les femelles s'isolent pour mettre bas (rupture de la liaison mère-jeune) et les mâles commencent à devenir territoriaux (Maublanc *et al.*, 1991). Cependant, c'est à cette période que la végétation devient dense et que la visibilité tend vers un minimum. Comme le nombre de contacts est un paramètre important pour la qualité des estimations (Burnham *et al.*, 1980), il n'est pas envisageable de planifier l'expérimentation à cette époque. La période mars-début avril a été retenue car d'une part c'est la fin des regroupements hivernaux et d'autre part la végétation n'est pas

encore limitante pour l'observation. Cette solution consiste alors à échantillonner non pas des individus, mais des groupes. Dans ce cas, une seule mesure est prise pour le groupe et la taille du groupe est notée. Le choix de la mesure est facilité dans le cas du Chevreuil puisque le groupe occupe généralement une surface assez faible pour être assimilable à un point. L'estimation est donnée en nombre de groupes par unité de surface et la taille moyenne du groupe peut ensuite être utilisée pour transcrire le résultat en densité d'individus. Des problèmes pour l'estimation de la variance (Rao *et al.*, 1981 ; Burnham *et al.*, 1985) n'ont pas encore été résolus. Ceci n'est pas imputable au passage d'une densité exprimée en nombre de groupes par unité de surface à une densité exprimée en nombre d'individus par unité de surface puisque des formules d'approximation de la variance sont disponibles (Mood *et al.*, 1974), mais à la probabilité de détection variable suivant la taille du groupe.

Prise de données

La prise de mesures a été réalisée à l'aide d'un télémètre (mesure de distances) et d'une boussole (mesure d'angles). Tous les relevés ont été réalisés le soir entre 19 et 21 h (sauf 1 relevé en 1989 réalisé le matin) par un seul observateur (JMB) très expérimenté (plus de 2 000 heures d'observation en comptages). En 1987, 6 transects totalisant 33 300 mètres ont été parcourus en 6 jours entre le 30.III et le 8.IV et ont permis 36 contacts. En 1989, 12 transects totalisant 73 900 mètres ont permis 16 contacts en 11 jours entre le 7.III et le 22.III.

Analyse statistique

Les travaux de Burnham *et al.* (1980) et de Buckland (1982, 1985), de même que les applications réalisées sur les Ongulés en Afrique (Bousquet, 1984) nous ont conduit à utiliser le modèle non-paramétrique des séries de Fourier pour tester la faisabilité du *line transect* pour le dénombrement de populations de chevreuils. Ce modèle, très robuste, permet d'obtenir des estimations sans biais dans de nombreuses situations expérimentales (Burnham *et al.*, 1981). Par contre, la précision est moins bonne que pour les modèles paramétriques dans leur domaine d'application et les intervalles de confiance sont plutôt à 90 % qu'à 95 % (Hayes & Buckland, 1983). L'estimation est réalisée en ajustant les distributions de distances perpendiculaires obtenues chacune des 2 années à une série de Fourier dans l'intervalle (0, w) et des règles simples d'arrêt ont été utilisées pour limiter le nombre de coefficients (Burnham *et al.*, 1980). Grâce à la condition 1 (probabilité de détection d'un animal sur la ligne de marche égale à 1), cet ajustement correspond à la modélisation de la courbe de détection des animaux en fonction de la distance. La largeur effective correspondant à cette courbe de détection (largeur x d'une bande qui aurait une probabilité de détection constante égale à 1 entre les distances 0 et x) est alors définie. Tous les calculs ont été réalisés par l'emploi du logiciel TRANSECT (Burnham *et al.*, 1980).

RÉSULTAT (Tab. I)

La méthode du *line transect* met clairement en évidence la diminution de l'effectif de la population constatée entre 1987 et 1989. En effet, considérant

TABLEAU I

Résultats de l'application du Line transect au dénombrement de la population de chevreuils de Chizé en mars-avril 1987 et 1989.

Caractéristiques de l'application	Échantillonnage 1987	Échantillonnage 1989
Longueur du circuit (en m) (1)	33 300	73 900
Nombre de groupes échantillonnés	36	16
Taille moyenne du groupe	1,250	1,3125
Estimation de la densité exprimée en nombre de groupes/km ² et intervalle de confiance à 95 %	18,61 [9,84 ; 27,39]	6,44 [2,20 ; 10,68]
Estimation du nombre de groupes sur la réserve et intervalle de confiance	495,03 [262 ; 729]	171,30 [59 ; 284]
Estimation de l'effectif et intervalle de confiance (2)	618,79 [328 ; 911]	224,83 [77 ; 373]
Estimation C.M.R. du nombre de chevreuils > 1 an en mars et intervalle de confiance (2)	397 [334 ; 492]	256 [221 ; 309]
Effectif total C.M.R. supposant 30 % de jeunes de 1 an et intervalle de confiance (2)	516 [434 ; 640]	333 [287 ; 402]

(1) Longueur cumulée pour 6 (1987) et 12 (1989) transects : ceci est dû aux trop faibles effectifs détectés par transect.

(2) Intervalle ayant un niveau de confiance inférieur à 95 % restant indéterminé.

l'égalité de la taille moyenne des groupes détectés entre les 2 années ($\epsilon = 0.09$, $P > 0.8$), l'estimation de la densité exprimée en nombre de groupes par kilomètre-carré peut être directement utilisée pour comparer les 2 années. Dans ces conditions, le nombre de groupes estimé en 1989 est significativement inférieur à celui estimé en 1987 ($\epsilon = 3.01$, $P < 0.01$).

Si l'on considère les valeurs numériques, l'estimation du nombre de chevreuils obtenue en 1987 par *line transect* est compatible avec celle dérivée de la méthode capture-marquage-recapture (CMR). En effet, l'estimation CMR prise comme référence ($N = 516$) est comprise dans l'intervalle de confiance de l'estimation par *line transect* (N compris entre 328 et 911) alors que ce dernier a un niveau de confiance inférieur à 95 %. Ceci est également vrai pour l'estimation de 1989 avec un effectif CMR de référence ($N = 333$) appartenant à l'intervalle de confiance de l'estimation par *line transect* (N compris entre 77 et 373).

DISCUSSION

Cette étude de faisabilité du dénombrement des populations de chevreuils par *line transect* apparaît très positive. Ainsi, il s'avère possible d'échantillonner une

population de chevreuils en milieu forestier par cette technique. La méthode est même assez légère puisqu'un observateur seul peut parcourir deux transects en une journée, soit entre 15 % et 30 % de l'échantillonnage analysé dans ce travail. De plus, les résultats obtenus ne fixent aucune limite nette à l'utilisation de cette technique pour le suivi des populations de chevreuil en milieu forestier. D'une part, la méthode a été très sensible à la diminution de la densité entre 1987 et 1989 à Chizé ; d'autre part, les estimations de densité sont apparues en accord avec les estimations CMR utilisées comme référence.

Ceci est encourageant, mais proposer le *line transect* comme nouvelle méthode de dénombrement des populations de chevreuils nous apparaît prématuré. Le fait d'obtenir une bonne concordance entre méthode CMR et *line transect* jusque dans les valeurs numériques des estimations de densité peut être dû pour partie à la faible précision caractérisant nos estimations (borne supérieure de l'intervalle de confiance 3 fois plus élevée que borne inférieure en 1987 ; 5 fois plus élevée en 1989). Si l'on considère maintenant l'estimation moyenne de densité par *line transect* et qu'on la situe dans l'intervalle de confiance de la méthode CMR (plus précise avec une borne supérieure moins de 2 fois plus élevée que la borne inférieure), une bonne concordance persiste pour l'échantillonnage de 1987 (N = 619, compris entre 434 et 640) mais le résultat de l'échantillonnage de 1989 (N = 225) n'est plus en accord avec l'évaluation par CMR (N compris entre 287 et 402). Ceci peut être interprété en terme de nombre de contacts nécessaires pour une estimation valide. Ainsi, moins de 20 contacts (16 en 1989) peuvent ne pas suffire pour estimer la densité par *line transect*. Que Burnham *et al.* (1980) préconisent 60 à 80 contacts supporte cette interprétation. Dans ces conditions, l'intérêt du *line transect* pour dénombrer les populations de chevreuils serait limité à celles de forte densité (au moins supérieure aux 12 individus par kilomètre-carré présents en 1989). Puisque plus de 70 kilomètres n'ont permis de détecter que 16 groupes avec une densité de 12/100 ha, le nombre de kilomètres nécessaire pour contacter 60 groupes devient vite prohibitif. Les résultats préliminaires obtenus pour une population de chevreuils en Espagne (Alvarez Jimenez, 1988) avec 11 individus contactés en 138 kilomètres vont dans le même sens. Cependant, un travail du même type effectué dans les monts cantabriques laisse penser qu'une application du *line transect* au dénombrement de populations de chevreuils de faible densité (3.8/100 ha) est possible (Fandos *et al.*, 1990). Il est difficile d'expliquer ces différences et plus d'applications seront nécessaires pour délimiter le spectre d'utilisation du *line transect* au dénombrement du Chevreuil.

L'emploi du *line transect* pour dénombrer les populations de chevreuils nécessite la couverture complète de la zone d'étude. C'est à cette condition que la densité moyenne des différents transects pourra être considérée comme représentative de l'effectif. En effet, la répartition des grands mammifères dans l'espace n'est qu'exceptionnellement aléatoire (Waser & Wiley, 1980) et dès lors, la densité n'a plus de relation générale avec l'effectif. Dans le cas extrême d'un gradient, la densité d'une population peut varier de 1 à 5 suivant le sens du gradient pour un effectif de population constant ! L'échantillonnage stratifié (Scherrer, 1983) permet souvent d'atténuer ce problème (e.g. Siniff & Skoog, 1964) bien que les critères de stratification soient toujours plus ou moins subjectifs (on privilégie le niveau de densité ou la strate de végétation utilisée par la population). Si la couverture complète de la zone d'étude peut être envisagée pour une population bien circonscrite comme celle de Chizé, il n'en sera pas de même pour le dénombrement de massifs forestiers entiers couvrant plusieurs milliers d'hectares.

Il apparaît donc difficile de dénombrer par *line transect* des populations de chevreuils à faible ou moyenne densité réparties sur de grandes superficies forestières. Par contre, l'utilisation du *line transect* comme indicateur de l'évolution numérique des populations de chevreuils en milieu forestier apparaît prometteuse, comme le montre la forte sensibilité de cette méthode à la diminution d'effectif à Chizé entre 1987 et 1989.

CONCLUSION

Plus d'expérimentations sur le terrain sont encore requises pour savoir si une généralisation de cette méthode à des fins de gestion du Chevreuil est possible. Cette première étude sur une population dont les variations d'effectifs sont connues montre que la faisabilité est importante pour les populations à forte densité (supérieure à 10/100 ha) et que lorsque les conditions d'application d'une méthode bien éprouvée sur le plan théorique de l'estimation sont intégrées dans le protocole expérimental, le modèle aboutit à une évaluation correcte de l'effectif de population (Badia & Gaillard, 1992). La précision dépend ensuite de nombreux facteurs tels que l'intensité d'échantillonnage ou la distribution spatiale des individus dont les effets devront être quantifiés dans des études ultérieures.

SUMMARY

Determining the size of roe deer populations is a difficult task. The methods required have (1) to provide estimates with confidence intervals and (2) be flexible enough to take into account specific features of the species. As line transect sampling fits these requirements, the method was tested on roe deer in the Chizé forest, whose population was of known size, and decreasing. First, the theory and definitions of line transect sampling are presented. Then, assumptions and models are briefly reviewed. A sampling design for roe deer is proposed which satisfies critical assumptions. Lastly, a feasibility test is performed. Population sizes are estimated from line transect sampling during 2 years with different population sizes, using the program TRANSECT. Our population estimates highlight the decrease in population size from 1987 to 1989. However, confidence intervals are very large because too few contacts were made during our sampling (36 in 1987 ; 16 in 1989). To count roe deer using line transect could be difficult when population density is low and/or spread over large areas. Nonetheless, the line transect could be a powerful tool to indicate trends in forest roe deer population size when density is higher than 10/100 ha.

REMERCIEMENTS

Nos remerciements s'adressent à l'Office National de la Chasse et au Ministère de l'Environnement (contrat SRETIE/MERE/91201) pour le financement de cette étude, et plus particulièrement à B. Boisaubert pour l'avoir rendue possible. Nous tenons aussi à remercier F. Bourlière, J. Clobert, D. Delorme, P. Duncan, L. Granjon, A. Loison, M. Maublanc, C. Pélabon et J.P. Vincent pour leurs remarques constructives sur une version initiale du texte.

RÉFÉRENCES

- ALVAREZ JIMENEZ, G. (1988). — Problemas asociados a la aplicacion del transecto lineal para el censo de las poblaciones de cervidos en un biotopo mediterraneo (Quintos de Mora, Montes de Toledo). *Ecologia*, 2 : 233-249.
- ANDERSEN, J. (1953). — Analysis of a Danish roe deer population. *Danish Rev. Game Biol.*, 2 : 127-155.
- ANDERSON, D.R. & POSPAHALA, R.S. (1970). — Correction of bias in belt transect studies of immobile objects. *J. Wildl. Manage.*, 34 : 141-146.
- ANDERSON, D.R., LAAKE, J.L., CRAIN, B.R. & BURNHAM, K.P. (1979). — Guidelines for line transect sampling of biological populations. *J. Wildl. Manage.*, 43 : 70-78.
- BADIA, J. & GAILLARD, J.M. (1992). — Modelling and Management. Introduction. In : F. Spitz, G. Janeau, G. Gonzalez & S. Aulagnier (Eds.), *Ongulés/Ungulates 91*, Collection Grenoble IRGM Science, Grenoble : 483-486.
- BIDEAU, E., VINCENT, J.P., QUERE, J.P. & ANGIBAULT, J.M. (1983). — Occupation de l'espace chez le chevreuil (*Capreolus capreolus* L.). I. cas des mâles. *Acta Oecologica (Oecol. Applic.)*, 4 : 163-184.
- BLANT, M. (1987). — Le recensement des chevreuils par battues sur surfaces échantillons. *Diana* : 164-168.
- BOISAUBERT, B. & STOQUERT, M. (1975). — *Recensement de Cervidés*. ONC, Paris.
- BOISAUBERT, B., VASSANT, J. & DELORME, D. (1979). — Contribution à l'étude de la mise au point d'une méthode de recensement applicable à l'espèce chevreuil (*Capreolus capreolus*) vivant en milieu forestier. *Bull. Mens. ONC*, n° Sp. Sc. Tech. : 193-205.
- BOURLIERE, F. (1969). — L'échantillonnage des populations de grands mammifères. In : M. Lamotte et F. Bourlière (Eds.), *Problèmes d'écologie : l'échantillonnage des peuplements animaux des milieux terrestres*, Masson et Cie : 189-206.
- BOUSQUET, B. (1984). — *Méthodes et résultats des inventaires de grands mammifères en vue de leur gestion rationnelle en Haute-Volta*. Thèse de Docteur-Ingénieur en écologie, Université Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier.
- BUCKLAND, S.T. (1982). — A note on the Fourier series model for analyzing line transect data. *Biometrics*, 38 : 469-477.
- BUCKLAND, S.T. (1985). — Perpendicular distance models for line transect sampling. *Biometrics*, 41 : 177-195.
- BURNHAM, K.P. (1979). — A parametric generalization of the Hayne estimator for line transect sampling. *Biometrics*, 35 : 587-595.
- BURNHAM, K.P. & ANDERSON, D.R. (1984). — The need for distance data in transect counts. *J. Wildl., Manage.*, 48 : 1248-1252.
- BURNHAM, K.P., ANDERSON, D.R. & LAAKE, J.L. (1979). — Robust estimation from line transect data. *J. Wildl. Manage.*, 43 : 992-996.
- BURNHAM, K.P., ANDERSON, D.R. & LAAKE, J.L. (1980). — Estimation of density from line transect sampling of biological populations. *Wildl. Monogr.* n° 72.
- BURNHAM, K.P., ANDERSON, D.R. & LAAKE, J.L. (1981). — Line transect estimation of bird population density using a Fourier series. *Studies in Avian Biology*, 6 : 446-482.
- BURNHAM, K.P., ANDERSON, D.R. & LAAKE, J.L. (1985). — Efficiency and bias in strip and line transect sampling. *J. Wildl. Manage.*, 49 : 1012-1018.
- CEMAGREF (1984). — *Méthodes de recensement des populations de chevreuils*. Note Technique n° 51.
- CAUGHLEY, G. (1977). — *Analysis of Vertebrate Populations*. J. Wiley & Sons, Chichester.
- COULSON, G.M. & RAINES, J.A. (1985). — Methods for small-scale surveys of grey kangaroo populations. *Aust. Wildl. Res.*, 12 : 119-125.
- DE CROMBRUGGHE, S.A. (1969). — Modes de recensement du cerf (*Cervus elaphus* L.) en Belgique et portée pratique. *IXth Inter. Congr. IUGB*, Moscow : 295-306.
- DE VRIES, P.G. (1979). — Line intersect sampling statistical theory, applications and suggestions for extended use in ecological inventory. In : R.M. Cormack, G.P. Patil & D.S. Robson (Eds.), *Sampling Biological Populations* : 1-70.

- DENIS, M. (1985). — Quelques méthodes pratiquées pour l'estimation de l'effectif d'une population de chevreuils (*Capreolus capreolus* L.). *XVIIth Inter. Congr. IUGB*, Brussels : 979-989.
- DZIECIOLOWSKI, R. (1976). — Roe deer census by pellet-group counts. *Acta Theriol.*, 21 : 351-358.
- EBERHARDT, L.L. (1978). — Transect methods for population studies. *J. Wildl. Manage.*, 42 : 1-32.
- EBERHARDT, L.L. (1979). — Line transect based on right-angle distances. *J. Wildl. Manage.*, 43 : 768-774.
- EBERHARDT, L.L. (1981). — Comments on transect methodology. In : Miller, F.L. & Gunn, A. (Eds.), *Symposium on Census and Inventory Methods for Populations and Habitat* : 17-39.
- FANDOS, P., FERNANDEZ, A., FERNANDEZ, J.M. & PALOMERO, G. (1990). — *Censo de corzos en un sector de la reserva nacional de caza de Saja : Liebana. Informe por la diputacion regional de Cantabria*, Universidad de Cantabria.
- GAILLARD, J.M., BOISAUBERT, B., BOUTIN, J.M. & CLOBERT, J. (1986). — L'estimation d'effectifs à partir de capture-marquage-recapture : application au chevreuil (*Capreolus capreolus*). *Gibier Faune Sauvage*, 3 : 143-158.
- GATES, C.E. (1979). — Line transect and related issues. In : Cormack, R.M., Patil, G.P. & Robson, D.S. (Eds.), *Sampling Biological Populations* : 71-154.
- GATES, C.E., MARSCHALL, W.H. & OLSON, D.P. (1968). — Line transect method of estimating grouse population densities. *Biometrics*, 24 : 135-145.
- HARESTAD, A.S. & JONES, G.W. (1981). — Use of nightcounts for censuring black-tailed deer on Vancouver Island. In : Miller, F.L. & Gunn, A. (Eds.), *Symposium on Census and Inventory Methods for Populations and Habitat* : 83-96.
- HAYES, R.J. & BUCKLAND, S.T. (1983). — Radial distance models for the line transect method. *Biometrics*, 29-42.
- LEBRETON, J.D., BURNHAM, K.P., CLOBERT, J. & ANDERSON, D.R. (1992). — Modeling survival and testing biological hypotheses using marked animals : a unified approach with case studies. *Ecol. Monogr.*, 62 : 67-118.
- LEOPOLD, A. (1933). — *Game Management*. Chas. Scribner's Sons, New York.
- MAUBLANC, M.L. (1985). — *Organisation spatiale et sociale d'une population de chevreuils en agro-système d'open-field, comparaison avec le milieu forestier*. Thèse de Doctorat, Université de Paris 6.
- MAUBLANC, M.L., CIBIEN, C., GAILLARD, J.M., MAIZERET, C., BIDEAU, E. & VINCENT, J.P. (1991). — Le chevreuil. *Rev. Ecol. (Terre Vie)*, Suppl. 6 : 155-183.
- McCULLOUGH, D.R. (1982). — Evaluation of night spotlighting as a deer study technique. *J. Wildl. Manage.*, 46 : 963-973.
- MOOD, A.M., GRAYBILL, F.A. & BOES, D.C. (1974). — *Introduction to the Theory of Statistics*. Mc Graw Hill Series in probability and statistics.
- RAO, P.V., PORTIER, K.M. & ONDRASIK, J.A. (1981). — Density estimation using line transect sampling. *Studies in Avian Biology*, 6 : 441-444.
- SCHERRER, B. (1983). — Techniques de sondage en écologie. In : Frontier, S. (Ed.), *Stratégies d'échantillonnage en écologie* : 63-162.
- SEBER, G.A.F. (1973). — *The Estimation of Animal Abundance and Related Parameters*. Griffin, London.
- SEBER, G.A.F. (1982). — *The estimation of Animal Abundance and Related Parameters*. 2nd Ed. Griffin, London.
- SEBER, G.A.F. (1986). — A review of estimating animal abundance. *Biometrics*, 42 : 267-292.
- SINIFF, D.B. & SKOOG, R.O. (1964). — Aerial censuring of caribou using stratified random sampling. *J. Wildl. Manage.*, 28 : 391-401.
- STAINES, B.W. & RATCLIFFE, P.R. (1987). — Estimating the abundance of red deer (*Cervus elaphus* L.) and roe deer (*Capreolus capreolus* L.) and their current status in Great Britain. *Symp. Zool. Soc. Lond.*, 58 : 131-152.
- STRANDGAARD, H. (1967). — Reliability of the Petersen method tested on a roe deer population. *J. Wildl. Manage.*, 31 : 643-651.
- STRANDGAARD, H. (1972). — The roe deer (*Capreolus capreolus*) population at Kålo and the factors regulating its size. *Danish Rev. Game Biol.*, 7 : 1-205.

- VAN LAVIEREN, L.P. (1976). — *Méthodes d'inventaire des populations de grands mammifères d'Afrique*. Rapport F.A.O.
- VINCENT, J.P., BIDEAU, E. & MAIRE, F. (1979). — Vers une nouvelle méthode de recensement du chevreuil. *Bull. Mens. ONC*, n° Sp. Sc. Tech. : 207-226.
- VINCENT, J.P., GAILLARD, J.M. & BIDEAU, E. (1991). — Kilometric index as biological indicator for monitoring forest roe deer populations. *Acta Theriol.*, 36 : 315-328.
- VINCENT, J.P., BIDEAU, E., QUERE, J.P. & ANGIBAULT, J.M. (1983). — Occupation de l'espace chez le chevreuil (*Capreolus capreolus* L.). II. cas des femelles. *Acta Oecologica (Oecol. Applic.)*, 4 : 379-389.
- VON BERG, F.C. (1979). — Zähltreiben zum Erfassen von Wilddichten. *Allg. Forstzitschr.*, 44/45 : 1200-1202.
- WASER, P.M. & WILEY, R.H. (1980). — Mechanisms and evolution of spacing in animals. In : Marler, P. & Vanderbergh, J.G. (Eds.), *Handbook of Behavioral Neurobiology*, 3 : 159-223.
- WHITESIDES, G.H., OATES, J.F., GREEN, S.M. & KLUBERDANZ, R.P. (1988). — Estimating primate densities from transects in a west african rain forest : a comparison of techniques. *J. Anim. Ecol.*, 57 : 345-367.
- ZAHL, S. (1989). — Line transect sampling with unknown probability of detection along the transect. *Biometrics*, 45 : 453-470.
- ZEJDA, J. (1984). — Road strip transects for estimating field roe deer density. *Folia Zoologica*, 33 : 109-124.
- ZEJDA, J. (1985). — Field transects for roe deer census. *Folia Zoologica*, 34 : 209-215.