

# Les dénombrements d'animaux domestiques, une revue

J.F. Michel <sup>1,2</sup>

## Mots-clés

Recensement du bétail - Elevage - Distribution spatiale - Relevé aérien - Echantillonnage - Méthode - Afrique.

## Résumé

La connaissance des effectifs d'animaux domestiques est capitale, de l'échelle continentale à l'échelle locale, pour pouvoir orienter et appliquer les politiques de développement des productions animales et négocier l'aide internationale. Dans les pays en développement et en Afrique sub-saharienne particulièrement, la connaissance de ces effectifs est imprécise et il est nécessaire de procéder à des dénombrements. Les méthodes d'estimation des effectifs d'animaux ont été développées tardivement et surtout pour l'étude des populations sauvages. La littérature sur le sujet est abondante. Elle est souvent informelle et nettement moins riche en ce qui concerne les populations domestiques. Cet article présente une revue bibliographique des méthodes employées et des opérations effectuées pour dénombrer des populations d'animaux domestiques. Les méthodes de dénombrement sont présentées et leur principe statistique et opérationnel décrit. Les résultats obtenus lors de différentes opérations menées essentiellement en Afrique sub-saharienne sont présentés et discutés. Les principales techniques abordées sont les comptages directs et indirects, au sol et par avion, exhaustifs ou par échantillonnage. Les méthodes du *strip transect* et les méthodes indirectes d'estimation des effectifs par enquête au sol sont largement décrites. Les méthodes de *line transect* et de capture-marquage-recapture sont plus succinctement abordées. Le choix des méthodes et des moyens existants pour dénombrer les animaux domestiques est discuté en fin d'article. De nouvelles voies méthodologiques sont également indiquées.

## ■ INTRODUCTION

La connaissance des richesses en ressources naturelles et animales disponibles semble nécessaire et évidente pour leur gestion et leur développement. A l'origine, les dénombrements d'animaux domestiques ont surtout été établis dans un but de taxation. Plus récemment, avec l'apparition des politiques agricoles nationales, ces dénombrements ont plutôt servi à la mise en place de plans de gestion et d'amélioration des productions et chaque société a tenté d'apporter ses solutions. Dans les pays développés, les systèmes de recensement des animaux domestiques sont fondés sur l'identification et l'enregistrement de chaque individu. Dans les pays en développement et en Afrique sub-saharienne particulièrement, les conditions de mise en place d'un tel système sont absentes, par

manque d'infrastructures et de moyens mais aussi à cause des contraintes liées aux modes d'élevage, notamment les déplacements d'animaux. La connaissance des effectifs d'animaux domestiques reste imprécise et basée sur des informations annexes peu fiables (50). Pourtant elle est capitale, de l'échelle continentale à l'échelle locale, pour pouvoir orienter et appliquer les politiques de développement des productions animales. A l'heure des restrictions des crédits d'aide au développement, de la gestion et du développement durable, la nécessité de disposer d'une information fiable concernant la biomasse animale est plus que jamais d'actualité.

Paradoxalement, les méthodes d'estimation des effectifs d'animaux ont été développées tardivement, essentiellement pour l'étude et la gestion de la faune sauvage. La littérature sur le sujet est abondante et régulièrement complétée (9, 38, 39, 41). Elle est nettement plus récente et moins abondante en ce qui concerne les populations animales domestiques. Très éparpillée, elle est représentée essentiellement par des rapports, plus ou moins formels, d'opérations de recensement menées dans divers pays d'Afrique

1. Cirad-emvt, TA 30/B, Campus international de Baillarguet, 34398 Montpellier Cedex 5, France

2. Cirades, BP 454, 01 Bobo-Dioulasso, Burkina Faso  
Tél./fax : 01 + 226 97 43 42; E-mail : j-francois.michel@cirad.fr

sub-saharienne par des prestataires de service privés, des organismes de coopération ou des organisations non gouvernementales. Il n'existe à notre connaissance aucun ouvrage spécifique sur les comptages d'animaux domestiques et les articles scientifiques publiés sur ce sujet sont rares (4, 15). Le dénombrement des animaux domestiques est considéré comme un cas particulier de celui des animaux sauvages et les techniques utilisées pour évaluer leurs effectifs sont souvent dérivées de celles mises au point pour la faune sauvage. Cependant, le comportement des animaux domestiques et les pratiques d'élevage (conduite au pâturage, logement, transhumance, etc.) engendrent des contraintes particulières qui nécessitent de considérer leur recensement comme un problème à part entière.

Cet article tente, à travers une revue des méthodes employées et des opérations effectuées, de faire une synthèse des méthodes applicables pour dénombrer les animaux domestiques.

## ■ METHODES

### Méthodes de dénombrement direct

#### Dénombrement exhaustif

Le comptage direct, précis et fiable de tous les animaux présents sur une aire donnée nécessite que toute la surface soit examinée et que les animaux soient dénombrés précisément et en une seule fois (23). Le risque de sous-estimation de l'effectif est donc important. Cependant les récepteurs Gps (Global Positioning System), qui donnent des positions précises, et les caractéristiques des animaux domestiques — notamment les bovins, qui se déplacent lentement et qui sont bien visibles — permettent de limiter ce risque.

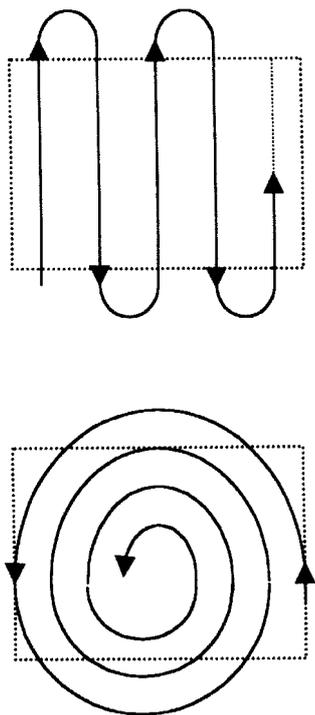


Figure 1 : plans d'exploration d'une zone pour un dénombrement aérien exhaustif.

Généralement et pour des raisons de rapidité, les dénombrements exhaustifs sont faits par avion pour vérifier que la taille de la population est restée constante. Plusieurs plans d'exploration ont été proposés (23) (figure 1) et mis en œuvre. Dans le delta du fleuve Sénégal (3 500 km<sup>2</sup>), le comptage exhaustif des bovins a été effectué par vols circulaires au dessus des dépressions rizicoles dans lesquelles les animaux pâturent en saison sèche froide (44). Au Burkina Faso, des comptages aériens exhaustifs ont été effectués récemment sur une zone de 440 km<sup>2</sup> pour valider un modèle de répartition spatiale des bovins (21). Les bovins ont été positionnés et comptés par balayage rectiligne de la zone, divisée en quatre blocs.

Le principal inconvénient des dénombrements exhaustifs, outre leur coût élevé, est le risque de sous-estimer l'effectif. En effet, même si toute la surface de comptage est explorée et tous les animaux visibles dénombrés, les animaux gardés sous abri ou stationnant sous le couvert végétal restent inaccessibles aux observateurs. Ceci est d'autant plus gênant qu'il est difficile d'évaluer statistiquement ce risque. Les conditions d'application de cette méthode restent donc limitées à de petites zones de pâturage à faible couverture végétale, avec une estimation conjointe au sol de la proportion d'animaux cachés.

#### Echantillonnage d'une surface

L'effectif total des animaux d'une zone est estimé à partir des effectifs dénombrés sur un échantillon de cette zone. Le temps d'enquête et les coûts sont réduits, mais inévitablement la précision de l'effectif dénombré diminue. L'intervalle de confiance de l'estimation de l'effectif augmente. Cependant cet intervalle est calculable.

#### ■ Types d'unités échantillonnées

##### - Quadrats et blocs

Les quadrats sont généralement des rectangles ou des carrés, alors que les blocs sont des polygones variables déterminés selon des caractéristiques du milieu (23). Les animaux sont dénombrés de manière exhaustive dans les unités choisies. Le principal avantage de l'utilisation de ces unités est la possibilité de passer plusieurs fois au-dessus du même endroit et donc de bien explorer la zone. Cependant elles n'ont jamais été utilisées pour les inventaires d'animaux domestiques, certainement à cause des nombreux temps morts nécessaires pour atteindre les quadrats et de la localisation difficile des limites des blocs malgré l'utilisation des Gps.

##### - Bandes de comptage ou *strip transects*

Ces unités d'échantillonnage sont des bandes, de largeur constante ou variable, reposant sur des lignes (transects) traversant la zone de comptage. Généralement cette largeur est constante lors des comptages aériens. Elle est déterminée par la visibilité des animaux. La même technique est utilisable au sol. Il est alors possible de faire varier la largeur de bande en fonction de la densité du milieu.

Classiquement, l'orientation des transects doit être, dans la mesure du possible, perpendiculaire aux lignes d'isodensité des animaux à dénombrer, donc aux axes de déplacement des animaux et à tous les facteurs de milieu pouvant être liés à leur comportement.

Le *strip transect* est quasiment la seule technique utilisée pour les comptages aériens (23). Les temps morts sont minimisés et la navigation nettement plus facile. De plus, la gamme couverte des habitats et des groupes d'animaux est plus importante que pour les quadrats (généralement plus compacts). Les principales difficultés de l'utilisation des bandes résident dans la matérialisation, le contrôle et la précision de la mesure de la surface réellement couverte, mais

aussi dans la localisation et le comptage rapide et fiable des animaux présents dans le transect puisque le survol est unique. Les transects ne sont cependant pas toujours la meilleure unité à adopter. Si le terrain est très accidenté ou si la végétation est très dense, Norton-Griffiths (23) préconise l'utilisation de quadrats ou de blocs, ou même un comptage exhaustif sur toute la zone, ce qui n'est pas toujours réaliste.

#### ■ Types d'échantillonnage

##### - Principes généraux

Quelle que soit l'unité d'échantillonnage utilisée — en supposant les zones de comptages choisies de manière aléatoire — un estimateur sans biais de la taille de la population est constitué par l'extrapolation à toute la zone de l'effectif compté dans la zone échantillonnée, auquel est rattachée une variance qui permettra de calculer l'intervalle de confiance de l'estimation de l'effectif total, avec un certain risque  $\alpha$ . En d'autres termes, il y aura un risque  $\alpha$  pour que l'effectif total réel ne se situe pas dans l'intervalle de confiance de l'effectif estimé. Dans le cas le plus simple d'échantillons de taille égale, les formules sont les suivantes :

estimation de la population totale

$$\hat{Y} = N \cdot \bar{y} \quad (1)$$

variance estimée de la population

$$\text{Var}(\hat{Y}) = \frac{N(N-n)}{n} \cdot s_y^2 \quad (2)$$

intervalle de confiance de l'estimation de la taille de la population totale au seuil de risque  $\alpha$

$$IC(\hat{Y})_\alpha = t_{1-\alpha/2} \times \sqrt{\text{Var}(\hat{Y})} \quad (3)$$

où  $n$  est le nombre d'unités échantillonnées (quadrats, blocs, bandes) ;

$N$  le nombre total d'unités dans la zone ;

$y_i$  le nombre d'animaux comptés dans une unité ;

$\bar{y}$  la moyenne des  $y_i$  ;

$s_y^2$  la variance d'échantillon du nombre de bovins ;

et  $t_{1-\alpha/2}$  suit une loi de Student à  $n-1$  degrés de liberté.

Les équations précédentes sont parfois présentées avec l'écart type estimé de la population totale (ou erreur type ou déviation standard), qui correspond à la racine carrée de la variance estimée.

Il paraît intuitif d'augmenter l'intensité d'échantillonnage ( $n/N$ ) pour diminuer la variance estimée (ou l'écart type) et donc diminuer l'intervalle de confiance (ou augmenter la précision) de l'estimation de l'effectif total. Grimsdell et coll. (11) donnent une illustration de cette relation pour des comptages aériens par transects de bovins au Nigeria (22) (figure 2). Le gain de précision engendré par une augmentation de l'intensité d'échantillonnage devient rapidement négligeable par rapport au coût induit. Le seuil de rentabilité se situe vraisemblablement en dessous de 30 p. 100 d'intensité d'échantillonnage, toutes espèces domestiques et toutes conditions de visibilité confondues.

Pour améliorer la précision en diminuant la variance estimée de la population totale, il est possible de diminuer la variance de l'échantillon, à coût constant, en utilisant différentes stratégies d'échantillonnage.

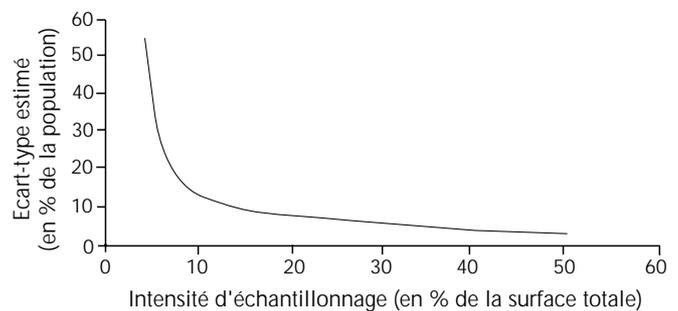


Figure 2 : relation entre l'intensité d'échantillonnage et l'écart type estimé d'une population bovine. (11)

##### - Echantillonnage aléatoire simple

Cette méthode consiste à tirer au hasard les unités d'échantillonnage dans la zone à prospector. Si elle est sans biais, elle n'assure pas forcément une bonne couverture du milieu. Elle est rarement utilisée de manière isolée, mais plutôt après stratification.

##### - Echantillonnage stratifié aléatoire

Cette méthode consiste à diviser la zone à explorer en sous-zones ou strates, les plus homogènes possibles et les plus hétérogènes entre elles vis-à-vis du paramètre étudié. Les unités d'échantillonnage sont ensuite tirées au hasard dans chaque strate, en nombre variable, selon la méthode de l'échantillonnage représentatif ou de l'allocation optimale. L'effectif total et la variance estimée de l'effectif, dans le cas d'un échantillonnage aléatoire de surfaces de tailles inégales, sont calculés selon la méthode du quotient (7) souvent citée sous le nom de « méthode n° 2 de Jolly » (14) :

estimation de la population totale

$$\hat{Y} = \hat{R} \cdot Z \quad \text{où} \quad \hat{R} = \frac{\sum_i y_i}{\sum_i z_i} \quad (4)$$

variance estimée de la population

$$\text{Var}(\hat{Y}) = \frac{N(N-n)}{n} \cdot \left( s_y^2 - 2\hat{R}s_{yz} + \hat{R}^2 s_z^2 \right) \quad (5)$$

où  $Z$  est la surface de la zone de dénombrement ;

$z_i$  la surface d'une unité d'échantillonnage ;

$s_y^2$  la variance d'échantillon du nombre de bovins ;

$s_z^2$  la variance de la surface des unités échantillonnées ;

$s_{yz}$  la covariance du nombre de bovins et de la surface des unités échantillonnées.

Dans le cas d'un échantillonnage stratifié, la variance totale est obtenue en sommant les variances par strate, calculées pour chaque strate de la même manière que précédemment.

Les dénombrements par *strip transects* avec un échantillonnage aléatoire stratifié ont été mis en œuvre dans les années soixante-dix, essentiellement en Afrique de l'Est, sur une superficie totale de plus de 3,5 millions de km<sup>2</sup> (48). En général la zone est divisée en strates, sur cartes et par un vol préliminaire à haute altitude, selon des critères de milieu. Ces strates sont souvent des unités agro-écologiques. Les transects sont ensuite tirés au sort et orientés perpendiculairement à l'axe écologique principal de chaque strate.

Tableau I

Caractéristiques de quelques dénombrements de bovins par la technique des vols systématiques de reconnaissance

Localisation	Caractéristiques des vols							
	Superficie de la zone (km <sup>2</sup> )	Taille du maillage (km)	Altitude (pieds)	Vitesse (nœuds)	Largeur de bande × 2 (m)	Intensité d'échantillonnage (%)	Comptages au sol	Précision (%) (bovins)
Kenya <sup>1</sup> 1977	500 000	10 x 10	300	np	225	2,2	non	8
Kenya <sup>2</sup> 1978	500 000	5 x 5	300	np	225	4,5	non	7
Sénégal <sup>2</sup> 1982	30 000	10 x 10	500	115	390	3,9	non	22
Ethiopie <sup>3</sup> 1983	15 500	5 x 5	600	100	600	12	non	14
Ethiopie <sup>4</sup> 1990	7 500	5 x 5	500	115	500	10	non	32
Mali <sup>5</sup> 1987	100 000	9 x 9 ; 18 x 18	800	np	800	9 ; 4,5	oui	15
Soudan <sup>6</sup> 1990	125 000	10 x 10 ; 20 x 20	800	np	800	8 ; 4	oui	25
Nigeria <sup>7</sup> 1989	59 000	5 x 5	800	np	800	16	oui	8
Nigeria <sup>7</sup> 1989	18 000	5 x 5	800	np	800	16	oui	29 ; 9
Tchad <sup>8</sup> 1991	60 000	10 x 10	800	np	1 000	10	oui	16
Tchad <sup>9</sup> 1993	148 000	5 x 5 ; 20 x 20	900	np	1 100	20 ; 5,5	oui	12

Sources : <sup>1</sup> 43 ; <sup>2</sup> 40 ; <sup>3</sup> 13 ; <sup>4</sup> 12 ; <sup>5</sup> 29 ; <sup>6</sup> 32 ; <sup>7</sup> 30 ; <sup>8</sup> 34 ; <sup>9</sup> 35. np : non précisé

Au Soudan (46, 47) lors d'un recensement national, 684 strates ont été déterminées et 6 223 transects ont été réalisés. L'intensité d'échantillonnage a varié entre 2 et 10 p. 100 selon les strates, soit environ 4 p. 100 de la surface du pays. Le nombre de bovins sur tout le territoire a été estimé à 15,37 millions (soit une densité de 6,2 bovins par km<sup>2</sup>) avec une précision de 8,5 p. 100.

L'échantillonnage stratifié améliore la précision de l'estimation de l'effectif par rapport à un échantillonnage aléatoire simple, mais il est plus coûteux à cause du nombre de temps morts entre transects, de leurs orientations différentes et de la multiplication des strates. De plus, la précision des résultats par strate est médiocre : ils n'ont qu'une valeur de comparaison entre strates pour déterminer des grandes tendances de peuplement. Ces comparaisons sont gênées par l'irrégularité géographique des strates. Par ailleurs, il faut être sûr que les critères de stratification sont fiables et vont réduire la variance de l'estimation des effectifs car il ne sera pas possible d'effectuer une autre stratification après-coup, à moins de regrouper des strates. Les auteurs évitent ce problème en multipliant (à l'excès ?) les strates, donc le coût. Aujourd'hui, cette méthode n'est plus utilisée que dans sa forme *a posteriori* (en regroupant des transects voisins, de densités homogènes). Elle a été délaissée au profit de l'échantillonnage systématique.

- Echantillonnage systématique aléatoire

Dans cette méthode, les bandes de comptage sont régulièrement espacées, le caractère aléatoire résidant dans le tirage au hasard de la première bande. Les comptages aériens par échantillonnage systématique sont apparus en réponse aux inconvénients de l'échantillonnage stratifié à la fin des années soixante-dix, notamment pour le relevé d'informations sur le milieu. Depuis, la méthode s'est développée (18) et généralisée. Elle reste la seule employée actuellement. Les principaux arguments avancés par ses défenseurs (24), sont :

- la bonne couverture du milieu, donc la liaison facile des densités d'animaux avec les facteurs environnementaux ;

- la facilité de navigation ;

- la possibilité de multiples stratifications *a posteriori*.

Nettement plus souple que l'échantillonnage stratifié aléatoire, cette méthode optimise l'efficacité des vols, particulièrement à petite échelle. La seule contre-indication rédhibitoire à son emploi est l'existence d'une variation régulière des facteurs de milieu (donc potentiellement de présence des animaux) de même espacement que celle des transects (23, 42).

Une variante de cette méthode est actuellement employée dans les comptages d'animaux domestiques, notamment par les britanniques (18). Connue sous le nom de vols systématiques de reconnaissance (VSR, en anglais Systematic Reconnaissance Flights), elle consiste à effectuer un échantillonnage systématique aléatoire classique, puis à diviser chaque transect selon un quadrillage de maille variable (tableau I) placé sur la zone à étudier (figure 3). Les animaux et les habitations sont comptés dans la surface échantillonnée alors que d'autres caractères sont relevés de manière qualitative sur l'ensemble du carré survolé (couverture végétale, caractéristiques du sol, points d'eau, etc.). L'effectif total et les variances des animaux et des habitations sont estimés pour l'ensemble de la zone. En toute rigueur, les méthodes classiques de calcul de la variance estimée ne sont plus applicables lorsqu'il existe une structure spatiale des objets dénombrés, ce qui est presque toujours le cas. Néanmoins, la méthode « Jolly 2 » est appliquée en approximation. Une deuxième méthode de calcul de

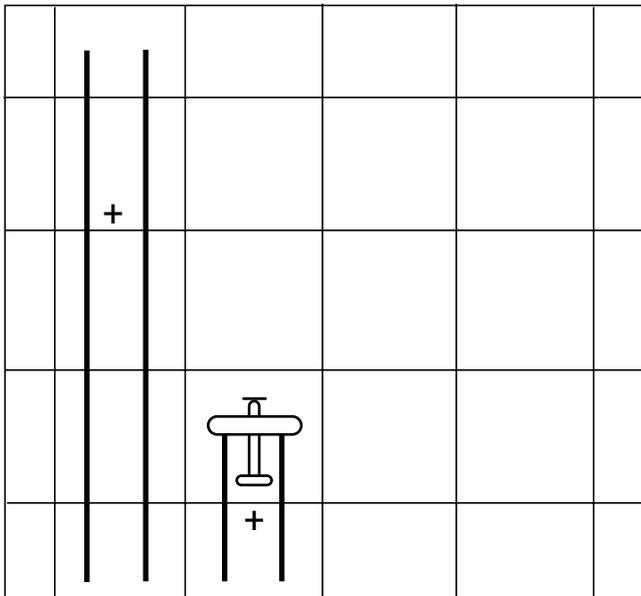


Figure 3 : vols systématiques de reconnaissance. (35)

la variance estimée de la population totale, mise au point par Marriott et Wint (18), prend la valeur de l'effectif compté dans chaque carré comme unité :

$$\widehat{Var}(\hat{Y}) = \frac{\sum [4y_{i,j} - (y_{i-1,j} + y_{i+1,j} + y_{i,j+1} + y_{i,j-1})]^2}{20n^*} \quad (6)$$

où  $i, j$  sont les coordonnées d'un carré de la grille ;

$y$  est le nombre de bovins comptés dans un carré ;

$n^*$  le nombre de carrés de la grille ayant 4 voisins (dans les sens nord-sud et est-ouest).

La variance obtenue est plus faible qu'avec la méthode « Jolly 2 » sauf s'il existe une forte agrégation des éléments dénombrés.

L'avantage de cette technique de comptage est qu'elle permet de dresser des cartes de répartition des animaux pouvant être mises en relation avec de nombreuses autres informations, cartographiées selon le même modèle. Ce type de représentation permet de visualiser les grandes tendances de répartition des diverses informations acquises. Mais les résultats par carrés ont une valeur limitée puisque aucune variance estimée de l'effectif par carré n'est calculée. Ce fait mérite d'être rappelé avant de lire de telles cartes (48).

Les dénombrements aériens par échantillonnage systématique sont intéressants pour leur facilité technique. Ils fournissent des résultats exploitables par des techniques d'analyses statistiques et cartographiques classiques. Il est possible de déterminer des relations entre effectifs d'animaux et caractères de milieu, à l'échelle d'un VSR ou en regroupant plusieurs opérations couvrant diverses zones bioclimatiques (50). Les résultats obtenus sont solides et intéressants pour analyser et prévoir les effectifs d'animaux domestiques à partir des données anthropologiques ou mésologiques. Cependant, leur emploi ne se conçoit qu'à l'échelle d'un pays ou d'une sous-région continentale.

### Echantillonnage d'une ligne

La méthode reposant sur l'échantillonnage d'une ligne, ou *line transect*, a surtout été développée pour les comptages terrestres d'animaux sauvages. La littérature sur le sujet est abondante (1, 9, 38, 39, 41). Cette méthode est peu employée pour l'inventaire des animaux domestiques. Aucune largeur de bande n'est fixée à l'avance contrairement à la méthode du *strip transect*. Un observateur se déplace sur une ligne droite choisie aléatoirement et note, dès qu'il aperçoit un individu, la distance à l'animal  $r$ , l'angle  $\theta$  entre la ligne de marche et la position de l'animal (et par déduction la distance perpendiculaire  $X$  (1)) (figure 4).

L'estimateur général de la densité d'animaux est :

$$\hat{D} = \frac{n}{2L\tilde{w}} \quad (7)$$

où  $n$  est le nombre d'individus rencontrés ;

$L$  la longueur du transect ;

$\tilde{w}$  la mesure d'une demi-largeur effective couverte par l'observateur.

Il s'agit d'estimer la largeur réelle couverte par l'observateur, à partir de l'histogramme des distances perpendiculaires de vision mesurées (figure 5). Cette estimation peut s'effectuer directement, en recherchant sur l'histogramme la distance à partir de laquelle le nombre d'observations chute brutalement (méthode « *ad hoc* »), ou en modélisant cet histogramme de probabilité de détection des animaux en fonction de la distance perpendiculaire par des méthodes paramétriques ou non paramétriques - les plus fiables (9).

Les conditions d'application de cette méthode exigent que :

- tout animal présent sur l'axe soit détecté ;
- l'observateur n'influe pas sur la position des animaux ;
- les détections soient des événements indépendants ;
- les mesures soient précises ;
- aucun individu ne soit échantillonné plus d'une fois.

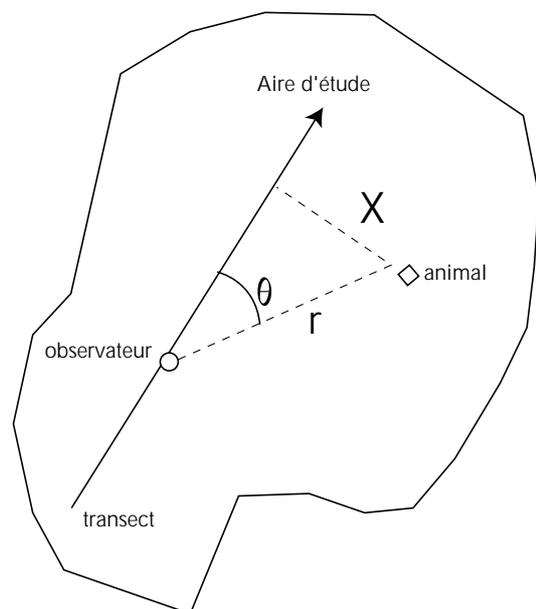


Figure 4 : principe du line transect.

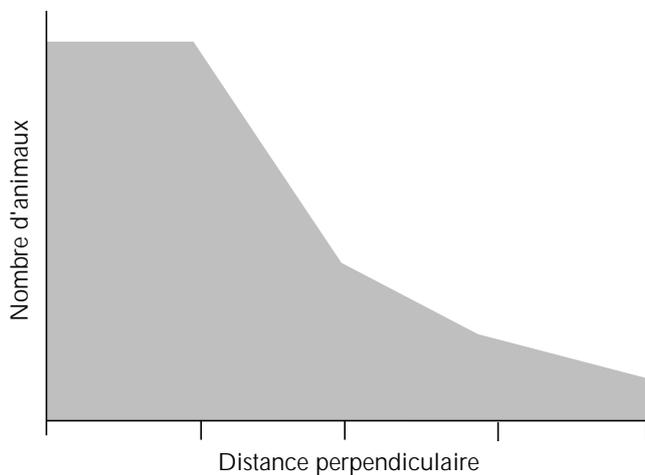


Figure 5 : histogramme des distances perpendiculaires de vision.

Lorsque les animaux sont regroupés, il est possible de changer d'échelle en dénombrant les groupes et en prenant le centre géométrique des troupeaux rencontrés pour mesurer la distance de vision. L'effectif en animaux est ensuite déterminé en multipliant le nombre de groupes par leur taille moyenne (9). L'emploi de cette méthode pose un problème si la probabilité de détection des groupes est variable selon leur taille, ce qui n'est vraisemblablement pas le cas pour les grands animaux domestiques (bovins, camelins, équins), bien visibles individuellement, peu mobiles et ne fuyant pas à l'approche de l'homme. Cependant, dans le cas de très grands troupeaux, il se peut que le centre géométrique soit au-delà de la distance de visibilité, le troupeau n'étant détecté que par ses individus marginaux situés en deçà de cette distance. L'estimation de la surface couverte devient alors problématique. De plus, il faut compter précisément tous les individus des groupes et la précision de ce comptage décroît avec la taille du groupe même si la mobilité des animaux domestiques est souvent faible.

Les caractéristiques des animaux domestiques rendent cette méthode intéressante pour leur dénombrement s'il est possible de faire une stratification sur la taille des groupes et en adaptant la méthodologie aux grands troupeaux. A notre connaissance elle n'a

jamais été appliquée aux animaux domestiques. Cela tient certainement à la condition aléatoire sur les transects (les formules ne sont plus applicables lorsque les transects sont corrélés à la population, il faut donc éviter de suivre les routes) qui rend difficile son application autrement qu'à pied, donc sur de petites zones. Pourtant, elle reste intéressante par sa rapidité de mise en œuvre, son faible coût et la qualité des estimations qu'elle permet d'obtenir (9).

### Méthodes de dénombrement indirect

Les méthodes indirectes de dénombrement ont été développées pour les comptages d'espèces sauvages, lorsque le comptage visuel direct est difficile (milieu fermé, animaux farouches). Elles consistent à dénombrer des indices de présence (traces, fèces, carcasses) et à les relier à un effectif d'animaux par des ratios (nombre d'indices laissés par un animal) (3, 16). Le même principe a été spontanément utilisé pour estimer les effectifs d'animaux domestiques. En effet, pour des raisons d'efficacité, il semble plus facile et plus rapide de dénombrer des points d'eau ou des habitations que des animaux, surtout lorsqu'ils sont petits. Cette méthode a donc été utilisée pour dénombrer des animaux ou pour corriger la sous-estimation due aux animaux cachés par les habitations lors des comptages aériens.

Le modèle général de cette méthode est de la forme :  $Y = a \cdot N \cdot r$

où  $Y$  est l'effectif estimé ;

$N$  le nombre d'éléments d'une information annexe (points d'eau, habitations) ;

$r$  le nombre d'animaux par élément ;

$a$  un facteur de correction, obtenu par calibrage.

Pour calculer la variance de  $Y$ , il convient de distinguer deux cas :

-  $N$ , le nombre total d'unités d'information annexe, est parfaitement connu, comme dans le cas de l'échantillonnage d'une surface. Il est alors possible d'appliquer les formules classiques de la théorie de l'échantillonnage : la variance de  $Y$  est obtenue en multipliant la variance de  $r$  par  $N^2$  ;

-  $N$  est estimé, la variance de  $Y$  dépend alors des variances de  $N$  et  $r$ , et son calcul n'est pas classique ; elle est d'ailleurs rarement mentionnée.

Les exemples d'application de cette méthode sont nombreux.



Figure 6 : une concession classique en Afrique subsaharienne (30).

### Estimation à partir des concessions

Une concession est une unité d'habitation formée par un ensemble de constructions où cohabitent un ou plusieurs ménages (2) de même lignée (20) (figure 6). L'avantage de cette unité est son identification facile sur le terrain. Les animaux sont dénombrés, à vue ou par enquête, soit sur un échantillon de concessions et l'effectif total est alors obtenu par extrapolation (recensement national des animaux domestiques au Burkina Faso en 1988) (2), soit de manière exhaustive (zone agropastorale du Burkina Faso) (19, 20).

Le principe de cette méthode peut paraître séduisant. Cependant les sources d'imprécision et les inconvénients sont nombreux. En effet, le nombre d'enquêteurs peut être une source importante de biais, les dénombrements à vue sont imprécis si les animaux sont groupés et enfin la peur des taxes peut inciter les propriétaires à soustraire des animaux aux enquêteurs. L'exemple du dénombrement national effectué au Burkina Faso (2) est éloquent : 345 personnes et 72 véhicules ont été mobilisés. Les auteurs rapportent des écarts entre les déclarations des éleveurs et les comptages visuels de 31 p. 100 pour les bovins et de 60 p. 100 pour les petits ruminants. De plus, deux problèmes statistiques surviennent : soit les concessions sont dénombrées de manière exhaustive sous peine de sous-estimation des effectifs, soit le nombre total de concessions est estimé (2) et la variance du nombre d'animaux dépend de la variance des concessions et du nombre d'animaux par concession. Cette variance n'est d'ailleurs pas mentionnée par les auteurs qui rapportent pourtant des imprécisions estimées entre 5 et 6 p. 100 pour les principales espèces domestiques au niveau national. Son calcul formel est en fait très délicat et les chiffres avancés sont des estimations empiriques et invérifiables. L'idéal serait de pouvoir dénombrer les concessions de manière fiable et rapide, par exemple sur une image satellite. Les premiers essais effectués sur le terrain pour valider des concessions supposées détectées sur une image Spot au Burkina Faso sont en cours.

L'inconvénient majeur de ce type d'inventaire est qu'il se fonde sur les animaux détenus dans chaque concession. La variabilité extrême du nombre d'animaux par concession est la principale source d'imprécision. Sur la base du recensement exhaustif effectué au Burkina Faso (19, 20), une simulation d'échantillonnage de surface montre que l'erreur commise dans l'estimation du nombre total de bovins dans la zone atteint 100 p. 100 de l'effectif réel pour 20 p. 100 de la zone échantillonnée ; elle est encore de plus de 50 p. 100 pour la moitié de la zone échantillonnée. Les dénombrements terrestres basés sur les habitations semblent donc très imprécis.

### Estimation à partir des toits

Les toits des habitations sont utilisés comme unités de dénombrement indirect des animaux domestiques, notamment dans les enquêtes aériennes, pour estimer le nombre d'animaux cachés dans les habitations (18, 28, 43, 46). Le nombre d'habitations est estimé lors des vols de comptage selon la même technique que pour les animaux. Une enquête au sol est ensuite effectuée sur un échantillon d'habitations. Le nombre d'animaux cachés par toit est estimé et le nombre total d'animaux cachés est obtenu en multipliant ce ratio par le nombre total de toits. Pour améliorer les estimations, les toits sont stratifiés selon leur type (tôle, paille, argile, etc.) et le nombre d'animaux cachés par toit est mis en relation avec les facteurs de milieu (couvert végétal, points d'eau) et la localisation géographique par analyse de variance. Le nombre d'animaux cachés est ensuite extrapolé en fonction de ces analyses (18, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35).

L'intervalle de confiance de l'estimation du nombre total d'animaux cachés dépend d'une double variance (sur le nombre de toits et sur le nombre d'animaux par toit). Il est rarement indiqué. C'est regrettable car, selon les espèces, le nombre d'animaux cachés peut représenter une forte proportion des animaux présents (jusqu'à 11 p. 100 des bovins et 99 p. 100 des équins) (34) et donc fortement modifier les résultats obtenus lors des comptages aériens. Enfin, il convient de définir précisément l'unité « toit » pour savoir quels toits compter et s'assurer que les toits sont identifiés de la même manière au sol et en avion pour éviter tout risque de biais.

Etant données ces difficultés, cette méthode ne peut se concevoir qu'en complément à un comptage aérien et non comme un dénombrement à part entière.

### Estimation à partir des habitants

Le principe d'établir un ratio du nombre d'animaux par éleveurs et de le multiplier par le nombre d'éleveurs dans la population pour obtenir le nombre total d'animaux a été utilisé en Haïti (26) et à Madagascar (37) lors d'enquêtes nationales sur le cheptel. Le nombre d'éleveurs étant estimé par sondage, la variance finale dépend de la variance du nombre d'éleveurs et de celle du nombre d'animaux par éleveur. Aucune information n'est donnée sur la précision des estimations dans ces deux opérations. Les principaux inconvénients de cette méthode sont les mêmes que pour la méthode basée sur les concessions. De plus, la notion d'éleveur est toujours imprécise. A Madagascar, le nombre plus important de troupeaux identifiés lors du recensement agricole de 1985 que lors du recensement du cheptel en 1987 illustre bien le fait que les agriculteurs, pourtant détenteurs d'animaux, sont souvent omis lors des études sur le cheptel. Cette méthode est donc peu intéressante pour dénombrer des animaux domestiques puisqu'à la variabilité — souvent très forte, voir ci-dessus — du nombre d'animaux détenus dans les habitations, s'ajoute l'incertitude sur le nombre de personnes détenant du bétail.

### Estimation à partir des animaux

Cette méthode n'est pas une méthode de dénombrement *stricto sensu*. Elle est utilisée pour déterminer au sol les proportions d'ovins et de caprins dans les troupeaux de petits ruminants, en général indifférenciables les uns des autres depuis un avion (18, 46). Les enquêteurs suivent une ligne droite et comptent les proportions de chaque espèce dans tous les troupeaux qu'ils rencontrent. Comme pour les animaux cachés, ces proportions sont analysées en fonction des caractères du milieu par analyse de variance, afin d'affiner l'application des ratios aux effectifs de petits ruminants déterminés lors du recensement aérien.

Ce principe de ratio comme méthode de dénombrement pourrait être envisagé en utilisant les taux d'exploitation, les proportions de veaux non sevrés ou les taux de couverture vaccinale lorsque ceux-ci sont connus de façon fiable. Le comptage consisterait alors à estimer le nombre total d'animaux dans une zone à partir du nombre d'animaux vendus ou abattus, de veaux non sevrés ou d'animaux vaccinés, puis à appliquer le ratio adéquat. Ces données sont souvent disponibles, notamment les données des grandes campagnes de vaccination, ou plus facile à obtenir qu'un dénombrement complet de tous les animaux.

Enfin, citons les méthodes d'effort de capture ou de capture-marquage-recapture, largement appliquées en écologie (41) mais jamais aux animaux domestiques. Elles pourraient pourtant être utilisées pour suivre les évolutions d'effectifs d'animaux dans une zone. Leur transposition au monde domestique pourrait consister à vacciner (marquer) les animaux une première fois (capture), puis à

estimer l'évolution de la population en dénombrant le taux d'animaux non vaccinés lors d'une deuxième vaccination (recapture). Les conditions d'application d'une telle méthode sont à définir précisément pour éviter les erreurs dues par exemple à des animaux introduits ou sortis de la zone entre les vaccinations, ou à des taux différents de couverture vaccinale. C'est une piste intéressante et encore inexplorée.

#### Estimation à partir des points d'eau

En fin de saison sèche les points d'abreuvement sont généralement peu nombreux. Il semble logique de vouloir estimer les effectifs d'animaux à partir de ces points, faciles à dénombrer. La technique consiste soit à déterminer l'aire d'influence d'un point d'eau et estimer le nombre d'animaux venant s'y abreuver pour définir leur densité, comme cela a été fait au Sénégal (27), soit à évaluer par enquête le nombre d'animaux par point d'eau, puis calculer l'effectif total d'animaux dans une zone en affectant ce ratio à l'ensemble des points d'eau de la zone, comme au Tchad (45). Il est possible, pour améliorer la précision des estimations d'effectifs, de stratifier les points d'eau selon leur importance, mesurée d'après divers critères (nombre d'abreuvoirs, nombre de trous, dispositifs d'exhaure) (45). Néanmoins, les sources de biais et d'imprécision restent nombreuses : la notion d'aire d'influence ou de zone desservie par un point d'eau est floue et variable au cours du temps. Il faut savoir combien de points d'eau différents sont fréquentés par les mêmes animaux. Il faut aussi rester assez longtemps au point d'eau pour dénombrer tous les individus qui le fréquentent en évitant de compter plusieurs fois les mêmes animaux ; on les compte donc lors de leur arrivée (27). Effectuer des hypothèses simplificatrices sur ces facteurs de variation des effectifs augmente l'imprécision et entraîne des biais. L'étude et le contrôle de ces facteurs alourdit les protocoles d'enquête et de traitement des données. De plus, comme pour les comptages à partir d'un échantillonnage d'habitats, la précision de l'estimation du nombre total d'animaux dans une zone est difficile à calculer. Cette précision a été estimée à 5 p. 100 au Sénégal, mais la rigueur de cette estimation est discutable.

Cette méthode de comptage est délicate à mettre en œuvre. Toutefois, dans les zones où la contrainte d'abreuvement est forte et à condition de contrôler au mieux les sources de biais, l'estimation du nombre d'animaux peut être assez précise.

#### Remarques méthodologiques

Les méthodes indirectes de dénombrement, notamment à partir des concessions, des toits et des points d'eau, sont séduisantes par leur faible coût et leur relative rapidité. Cependant, les sources d'imprécision sont nombreuses et délicates à quantifier. Il convient de les contrôler au maximum pour obtenir une estimation précise.

Le problème central dans la mise en œuvre de ces méthodes est le calcul, souvent omis par les auteurs, de la variance de l'effectif total estimé qui devient difficile lorsque les unités d'information annexe sont elles-mêmes estimées puisque la variance, double, porte sur  $N$  et  $r$ . Il semble pourtant possible de la calculer en adaptant la méthode exposée par Barnes et coll. (3) pour estimer cette variance sur un protocole de dénombrement des éléphants à partir des fèces par la technique du *bootstrap*. Cette technique consiste à considérer l'ensemble des données comme une population dans laquelle un échantillonnage avec remise est effectué un grand nombre de fois. Chaque échantillon permet de calculer la valeur du ou des paramètres étudiés. Dans le cas des comptages indirects il faut calculer, par *bootstrap*,  $m$  fois la valeur de  $N$  et  $r$  puis choisir au hasard une valeur de  $N$  et  $r$  parmi ces  $m$  valeurs et calculer la valeur de  $Y$ . La répétition  $m$  fois de cette opération (Monte Carlo) permet d'obtenir une estimation de la variance de  $Y$ .

## Méthodes d'exploration

### Enquêtes terrestres

L'avantage important des dénombrements terrestres réside dans la faible vitesse de déplacement et la possibilité de s'arrêter. Ils permettent également de recueillir des informations précises sur le milieu et auprès des éleveurs. Toutefois, il est important de signaler que le recensement au sol des animaux regroupés est souvent difficile. Le mouvement des animaux, le masquage des petits individus (les veaux notamment) font que le comptage est souvent malaisé. Un écart maximum de 10 p. 100 environ autour de la vraie valeur a été relevé en comparant les résultats obtenus par comptage des bovins regroupés dans un parc puis par comptage individuel à la sortie du parc (20). De plus, les enquêtes terrestres sont longues, ce qui implique que la zone à explorer soit petite ou que le nombre d'enquêteurs soit grand avec le risque de biais que cela comporte. Par ailleurs, il est difficile de mesurer et contrôler la surface explorée. A ce titre, la méthode du *strip transect* paraît peu réaliste au sol, dans la mesure où aucun repère visuel fixe ne permet de figurer la bande de comptage et donc de décider si les animaux sont présents ou non dans cette bande. Un moyen de contourner ce problème consiste à fixer une distance maximale de visibilité pour chaque type de milieu traversé et d'utiliser cette distance pour déterminer la surface explorée. La distance maximale de visibilité est souvent déterminée en faisant marcher une personne habillée en kaki perpendiculairement à l'axe de déplacement des observateurs et de noter la distance à laquelle elle disparaît. Pour des observations nocturnes cette distance est déterminée en fixant un réflecteur dans le dos de la personne qui marche (8). La méthode du *line transect* n'a pas cet inconvénient mais elle reste dédiée à des zones restreintes. Enfin, l'utilisation de véhicules est limitée par les contraintes d'accès au milieu, quelle que soit la méthode choisie : elle est envisageable seulement dans des zones ouvertes et peu accidentées. De plus, les dénombrements à partir des routes sont biaisés (23). Les enquêtes au sol présentent donc de nombreux inconvénients pour les comptages directs d'animaux et sont rarement employées en tant que telles. En revanche, elles sont souvent utilisées pour les dénombrements indirects, comme méthode unique ou en complément des comptages aériens pour estimer le nombre d'animaux cachés.

### Enquêtes aériennes

Les enquêtes aériennes ont été généralisées et standardisées après-guerre, d'abord pour dénombrer la faune sauvage (25), puis les animaux domestiques (48). Généralement, les dénombrements d'animaux se font en avion léger (l'hélicoptère, très cher, est peu utilisé) à une altitude généralement inférieure à 1 000 pieds (303 m). La méthode utilisée pour délimiter la surface au sol consiste à placer des repères sur les haubans de l'aile (figure 7, a et b). L'observateur compte alors les objets situés dans cet intervalle (23, 25). Il convient de définir au préalable la largeur de la bande de comptage au sol  $W$  et l'altitude de vol  $H$ , selon la visibilité des animaux. L'écartement des repères (généralement des ficelles ou des rubans) est déterminé au sol et la largeur de comptage réelle est ensuite validée par survol et comptage de marques placées au sol. Cette technique n'est utilisée que pour les comptages directs par *strip transect*. Elle est délaissée pour les dénombrements exhaustifs et les comptages sur blocs ou quadrats, ce qui est regrettable car elle permet de contrôler la surface vue au sol.

Les principaux avantages des enquêtes aériennes sont leur rapidité et la possibilité de s'affranchir des contraintes d'accès au milieu. Il est possible d'explorer de grandes surfaces en peu de temps. Cependant, les sources d'erreurs sont nombreuses et doivent être contrôlées pour obtenir des résultats fiables. Elles sont dues à tous les facteurs qui influent sur la visibilité des animaux ou des objets

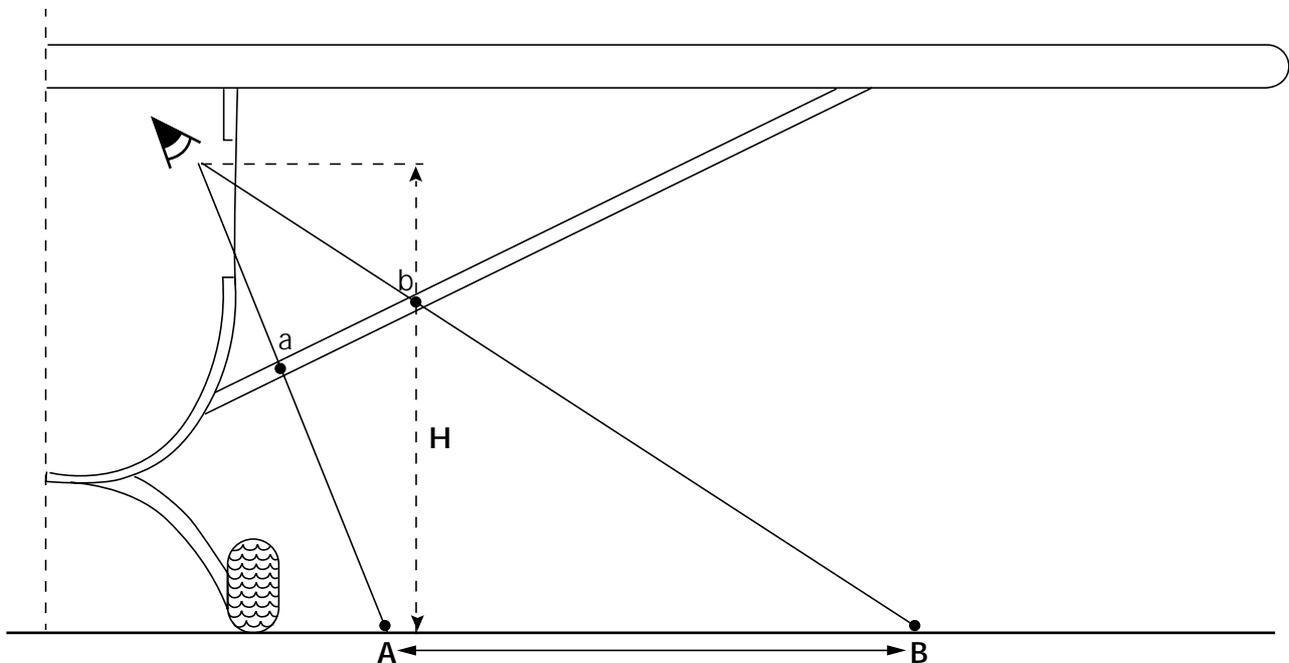


Figure 7 : détermination de la largeur de bande de comptage. (23)

à dénombrer (10) : l'altitude de vol, la largeur de la bande de comptage au sol, l'angle de vision, la vitesse de l'avion, la densité du milieu, la taille des animaux, leur mode d'élevage, la taille des groupes d'animaux, leur réaction au passage de l'avion, l'expérience des observateurs, la fatigue, l'heure de la journée et la luminosité. L'impact de ces sources d'erreur sur l'estimation de l'effectif total peut être important. Watson et coll. (49) ont noté près de 10 p. 100 de différences dans le repérage de leurres entre observateurs expérimentés et inexpérimentés. La sous-estimation due au couvert végétal a été évaluée au Soudan à plus de 17 p. 100 (46). Il semble donc important de limiter ces sources d'erreur, sinon de les mesurer pour en tenir compte, en adoptant des caractéristiques de vol adaptées (tableau I) et en photographiant les groupes d'animaux. Malgré tout, les enquêtes aériennes favorisent la sous-estimation des animaux, sauf pour les espèces très visibles en milieu ouvert. Watson et Tippett (48) rapportent, sur onze années d'expérience en Afrique, des erreurs systématiques de 3 à 59 p. 100 sur les estimations du bétail. Cependant, par leurs caractéristiques, les animaux domestiques sont ceux qui se prêtent le mieux aux comptages aériens, car ils sont souvent groupés, bien visibles et réagissent peu au passage de l'avion. Les conditions sont donc optimales.

## ■ DISCUSSION

### Choix d'un protocole de dénombrement

Chaque méthode de dénombrement présente des avantages et des inconvénients. Le comptage aérien est le plus rapide et permet de couvrir en peu de temps de grandes étendues. Mais il est réputé coûteux et donne la position instantanée des animaux dans le milieu, sans pouvoir les relier à un point d'eau ou à un village. À l'inverse, le comptage terrestre permet de relever de nombreuses informations dans des domaines variés (zootéchnie, sociologie, économie, etc.), de relier les animaux à des points d'abreuvement

et aux éleveurs et de fournir une base de donnée d'éleveurs — qui pourra être exploitée pour d'autres opérations, comme des enquêtes épidémiologiques ou des campagnes de vaccination. Toutefois, il est plus long et le protocole doit être rigoureusement mis au point pour procurer une estimation des effectifs avec une précision acceptable et chiffrable.

Si l'emploi de l'avion reste meilleur en termes de rapidité et d'efficacité sur de grandes surfaces, il faut sortir du schéma classique petite surface/comptages terrestres et grande surface/comptages aériens. En effet, le développement des outils d'analyse et de prospective, fondés notamment sur l'utilisation des images satellitaires, permet d'obtenir des résultats à petite échelle d'une précision comparable à ceux d'un comptage aérien avec un échantillonnage de la surface inférieure à 10 p. 100 (36, 50, 51). Dans un avenir proche, les opérations de dénombrement par avion pourraient très bien ne plus se concevoir qu'à une échelle locale. En revanche, les comptages terrestres, souvent appliqués au niveau local, permettent de relever des informations précieuses qui prennent plus en compte les pratiques d'élevage, les contraintes et les mouvements saisonniers des animaux particuliers à chaque zone. Cette richesse d'information peut être une exigence qui nécessite leur emploi à des niveaux supérieurs (régional ou national).

Parmi les méthodes disponibles, peu de techniques différentes ont été utilisées pour dénombrer les animaux domestiques. Pour les comptages aériens, l'échantillonnage systématique de bandes rectilignes s'est imposé. Les comptages au sol sont plus variés, adaptés à chaque situation et finalement moins formalisés et standardisés. La mise en œuvre d'un dénombrement et le choix d'une méthode doivent se raisonner seulement en fonction des objectifs. Il serait simpliste de condamner l'emploi de l'avion pour des raisons de coût. Bien sûr, les enquêtes aériennes paraissent onéreuses car elles concentrent les dépenses dans le temps et sur un poste principal ; mais l'impression de faible coût des enquêtes terrestres provient souvent de la dilution des dépenses dans divers postes et

dans le temps. Enfin, les méthodes de comptage présentées et discutées ne s'excluent pas forcément et leur emploi conjoint a déjà été mis en œuvre à de nombreuses occasions, notamment pour améliorer les estimations déterminées par avion avec des comptages terrestres (28). Les recoupements d'informations sont importants. Ainsi certaines informations peu précises mais sûres peuvent être affinées par des protocoles ponctuels plus précis.

### Hétérogénéité spatiale

L'étude des structures spatiales et leur prise en compte dans les protocoles d'échantillonnage est courante en écologie végétale et animale (5, 6). Dans les dénombrements de grands mammifères sauvages et domestiques, l'hétérogénéité spatiale de la répartition des individus, si elle est parfois décrite, n'est jamais prise en compte dans les protocoles expérimentaux, sauf dans les comptages par *line transect* où la taille des groupes peut influencer sur la probabilité de leur détection. Pourtant les conséquences de cette hétérogénéité sont importantes.

Pour les animaux domestiques, elle peut se concevoir à plusieurs niveaux. Au niveau individuel, elle est générée par l'agrégation des animaux en troupeaux de taille variable. Au niveau collectif, elle correspond à l'agrégation des troupeaux, dans les villages, aux points d'eau ou sur les parcours. Statistiquement, ces agrégations influent sur l'estimation de la variance des effectifs dénombrés.

Il est difficile de classer les méthodes d'échantillonnage selon leur sensibilité à l'agrégation des individus ou des groupes. En effet, cette sensibilité varie en fonction de la taille et du nombre d'unités échantillonnées. Marriott et Wint (18) affirment que l'échantillonnage systématique, couvrant bien le milieu, produit de meilleures précisions que l'échantillonnage aléatoire. C'est peut être vrai dans certaines conditions de faible taux d'échantillonnage et de forte hétérogénéité spatiale des individus, mais cela ne constitue pas une règle générale. Quelle que soit la méthode de comptage employée, il paraît évident que l'effort d'échantillonnage doit être plus important lorsqu'existe une forte hétérogénéité spatiale des individus et des groupes. Généralement, les échantillonnages sont optimisés par stratification en fonction de la densité animale. Cependant la densité ne présage en rien de l'hétérogénéité de la répartition des individus ou des groupes.

Actuellement, l'échantillonnage aléatoire stratifié est délaissé au profit de l'échantillonnage systématique surtout pour des raisons pratiques. Il serait possible d'améliorer la précision des dénombrements en optimisant la répartition de l'effort d'enquête, c'est à dire en effectuant un échantillonnage systématique stratifié sur l'hétérogénéité spatiale des animaux. Il faudrait pour cela disposer d'indicateurs de cette hétérogénéité, fiables et faciles à obtenir.

Il est bien établi que les phénomènes d'agrégation des individus ou des groupes sont liés à des facteurs humains (système d'élevage, ethnie) et des facteurs de milieu (points d'eau, culture, parcours, etc.) (17) relativement faciles à observer et enregistrer (images satellitaires, données existantes, dires d'experts, etc.). L'exploration de ces relations, facilitée par les nouveaux outils cartographiques, devrait permettre d'identifier des indicateurs de la répartition spatiale des animaux.

### CONCLUSION

Les méthodes de dénombrement des animaux domestiques sont relativement peu nombreuses. Les dénombrements aériens ont surtout été développés pour de grandes superficies. Ils sont maintenant bien au point, appliqués de façon routinière, et procurent des résultats suffisamment précis sur de vastes zones. Les dénombre-

ments terrestres appliqués aux animaux domestiques sont encore mal standardisés et restent « artisanaux ». Les méthodes doivent être améliorées, en optimisant les protocoles d'échantillonnage des comptages aériens et en standardisant les méthodes des comptages terrestres pour augmenter la précision des estimations d'effectifs. La prise en compte de la structure des peuplements animaux dans les protocoles expérimentaux semble être une voie d'amélioration.

A notre connaissance, aucune étude de la structure spatiale de ces données et des relations entre ces structures n'a été faite. Elle pourrait être riche d'enseignement sur les relations entre systèmes d'élevage et milieu, et lourde de conséquences sur les protocoles de comptage. Il serait par exemple possible d'optimiser les échantillonnages en connaissant l'agrégation des individus dans l'espace à partir d'informations annexes faciles à obtenir.

Par ailleurs, la définition des images satellitaires sera de plus en plus fine et leur utilisation pour repérer des troupeaux ou mieux, des animaux, va certainement se développer. Cette troisième voie méthodologique pour dénombrer les animaux domestiques permettra sans doute de remédier à certains inconvénients des méthodes aériennes et terrestres. Néanmoins, l'analyse des images satellitaires n'exclura certainement pas l'emploi des méthodes actuelles de dénombrement. Comme pour le comptage aérien et le comptage terrestre, le choix d'un protocole de dénombrement sera à raisonner selon les objectifs de l'étude et les moyens disponibles.

Dans le contexte actuel de profondes transformations des relations entre agriculture et élevage, entre systèmes d'élevage et milieu, la demande de diagnostics quantifiés sur les systèmes de production agricole est forte. L'amélioration des méthodes de dénombrement et la détermination rapide du meilleur protocole d'évaluation des ressources animales auront des implications opérationnelles importantes.

### Remerciements

Ce travail a reçu le soutien financier du Cirad (Action thématique programmée n° 70/96) et du Cnrs (programme interdisciplinaire : Environnement, vie et sociétés n° 96/6/12). Il a également reçu le soutien scientifique des docteurs B. Faye, D. Cuisance, D. Richard, F. Monicat, P. Lhoste, D. Chessel, D. Debouzie et tout spécialement P. Bonnet.

### BIBLIOGRAPHIE

1. 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.
2. BAHILI J., BAKARY D., 1993. L'enquête nationale sur les effectifs du cheptel au Burkina Faso. *STATECO*, **73**: 49-62.
3. BARNES R.F.W., BEARDSLEY K., MICHELMORE F., BARNES K.L., ALERS M.P.T., BLOM A., 1997. Estimating forest elephant numbers with dung counts and a geographic information system. *J. Wildl. Manage.*, **61**: 1384-1393.
4. BAYLISS P., YEOMANS K.M., 1989. Correcting bias in aerial survey population estimates of feral livestock in Northern Australia using the double-count technique. *J. Appl. Ecol.*, **26**: 925-933.
5. CHESEL D., DEBOUZIE D., ROBERT P., BLAISINGER P., 1984. L'échantillonnage des larves du hanneton commun *Melolontha melolontha* L. *Acta Oecol., Oecol. Appl.*, **5**: 173-189.
6. CHESEL D., GAUTIER C., 1984. Statistical pattern of a plant population measured by geometric sampling on a limited space. In : Knapp R. ed., *Sampling methods and taxon analysis in vegetation science*. The Hague, The Netherlands, Dr W. Junk Publishers, p. 61-76.
7. COCHRAN W.G., 1977. *Sampling techniques*. New York, NY, USA, Wiley, 448 p.

8. FRITZ H. 1995. Etude des systèmes mixtes d'herbivores sauvages et domestiques en savane africaine : structure des peuplements et partage de la ressource. Sciences de la vie, Université Paris VI, Paris, France, 86 p. + annexes.
9. GAILLARD J.M., BOUTIN J.M., VAN LAERE G., 1993. Dénombrer les populations de chevreuils par l'utilisation du *line transect*. Etude de faisabilité. *Rev. Ecol. Terre Vie.*, **48** : 73-85.
10. GRAHAM A., BELL R., 1969. Factors Influencing the Countability of Animals. *East Af. Agr. Forest. J.*, **34**: 38-43.
11. GRIMSDELL J.J.R., BILLE J.C., MILLIGAN K., 1986. Autres méthodes de recensement aérien du bétail. In : Enquêtes à basse altitude, Nairobi, Kenya, 6-11 novembre 1979. Addis-Abeba, Ethiopie, Cipea, p. 72-78.
12. ILCA (International Livestock Center for Africa), 1990. Report of the Low-Level Aerial Sample Survey of part of the Middle Awash Valley, Ethiopia, 5-11 January 1990. Addis Ababa, Ethiopia, ILCA, 92 p.
13. ILCA, 1991. Report of the Low-Level Aerial Sample Survey of the Southern Rangelets Sub-Project Area, SIDAMO, Ethiopia. Addis Ababa, Ethiopia, ILCA, 94 p.
14. JOLLY G.M., 1969. Sampling Methods for Aerial Censuses of Wildlife Populations. *East Af. Agr. Forest. J.*, **34**: 46-49.
15. KING J.M., SAYERS A.R., CHARA P., DE LEEUW P.N., PEACOCK C.P., 1985. Improving aerial counts of Maasai livestock. *Agr. Syst.*, **13**: 21-56.
16. KOSTER S.H., HART J.A., 1988. Methods of estimating ungulate populations in tropical forests. *Afr. J. Ecol.* **26**: 117-126.
17. LHOSTE P., DOLLE V., ROUSSEAU J., SOLTNER D., 1993. Manuel de zootechnie des régions chaudes. Les systèmes d'élevage. Paris, France, Cirad/ministère de la Coopération, 288 p. (Coll. Manuels et précis d'élevage)
18. MARRIOTT F.C., WINT G.R.W., 1985. Sampling and Statistics in Low Level Aerial Survey. Addis Ababa, Ethiopia, ILCA, 37 p.
19. MEALLET C., 1997. Recensement et cartographie du cheptel bovin dans la zone de Sidéradougou, Burkina Faso. Mémoire Dess, Cirad-emvt, Montpellier, France, 53 p.
20. MICHEL J.F. 1997. Recensement du cheptel bovin dans la zone de Sidéradougou, Burkina Faso. Montpellier, France, Cirad-emvt, 12 p.
21. MICHEL J.F., MICHEL V., TOURE I., DE LA ROCQUE S., AUGUSSEAU X., DE WISPELAERE G., CUISANCE D., 1998. Représentation spatiale des données bétail, intérêt en épidémiologie. In : Journées analyse spatiale, Montpellier, France, 15 décembre 1998. Montpellier, France, Cemagref, p. 47-49.
22. MILLIGAN K., BOURN D., CHACHU R., 1979. Aerial surveys of cattle and land-use in four areas of the Nigeria sub-humid zone. Addis Ababa, Ethiopia, CIPEA, 85 p.
23. NORTON-GRIFFITHS M., 1978. Counting animals. J. Grimsdell. ed. Nairobi, Kenya, African Wildlife Leadership Foundation, 139 p.
24. NORTON-GRIFFITHS M., 1986. Echantillonnage systématique non stratifié : justification et méthode. In : Enquêtes à basse altitude, Nairobi, Kenya, 6-11 novembre 1979. Addis-Abeba, Ethiopie, Cipea, p. 115-119.
25. PENNYCUICK C.J., 1969. Methods of Using Light Aircraft in Wildlife Biology. *East Afr. Agr. Forest. J.* **34**: 24-29.
26. PETIT J.P., ROY F., 1977. Mission de recensement du cheptel bovin au plateau central d'Haïti, dépouillement informatique de l'enquête et résultats. Paris, France, Cirad-emvt, 32 p.
27. PLANCHENAU D., MEYER J.F., 1983. Systèmes de production d'élevage au Sénégal dans la région du Ferlo. Montpellier, France, Cirad-emvt, p. 139-142.
28. RIM (Resource Inventory and Management Ltd), 1985. A Review of Aerial Survey Findings in West Africa. Addis Ababa, Ethiopia, ILCA, 45 p.
29. RIM, 1987. Un refuge dans le Sahel. Bamako, Mali, ministère des Ressources naturelles et de l'élevage, 115 p.
30. RIM, 1989. A. Livestock and land use in Niger et Anambra states, Nigeria. Abuja, Nigeria, Federal Livestock Department, 28 p. (Summary report)
31. RIM, 1989. B. Livestock and land use in Niger et Anambra states, Nigeria. Abuja, Nigeria, Federal Livestock Department, 126 p. (Annexes I-VIII)
32. RIM, 1990. Integrated Livestock Surveys of Red Sea Province, Sudan. Oxford, UK, ERGO, 135 p.
33. RIM, 1992. A. Nigerian livestock resources. Borno State. Abuja, Nigeria, Federal Dpt. of Livestock et Pest Control Services, 48 p.
34. RIM, 1992b. B. Survolés aériens à basse altitude du cheptel, des habitations humaines et des ressources pastorales dans la région du Bahr el Ghazal, Tchad, août 1991. N'Djaména, Tchad, ministère de l'Elevage et des ressources animales, Projet national d'élevage, Lrvz de Farcha, 75 p.
35. RIM, 1993. Survolés aériens à basse altitude du cheptel, des habitations humaines et des ressources pastorales dans la « zone d'organisation pastorale », Tchad, février 1993. N'Djaména, Tchad, ministère de l'Elevage et des ressources animales, Projet national d'élevage, Lrvz de Farcha, 114 p.
36. ROGERS D., WINT W., 1996. Towards identifying priority areas for tsetse control in East Africa. Rome, Italy, FAO, 46 p.
37. SARNIGUET J., BABIN J., AGUETTANT N., 1988. Recensement et caractéristiques du cheptel national de Madagascar en 1987. Paris, France, Sedes, 242 p.
38. SEBER G.A.F., 1982. The estimation of animal abundance and related parameters, 2nd ed. London, UK, Griddin, 654 p.
39. SEBER G.A.F., 1992. A Review of Estimating Animal Abundance II. *Int. Statist. Rev.*, **60**: 129-166.
40. SHARMAN M.J., 1982. Résultats du vol systématique de reconnaissance au Ferlo de juin 1982. Dakar, Sénégal, Isra, 26 p.
41. SKALSKI J.R., 1990. Techniques for Wildlife Investigations. Design et Analysis of Capture Data. New York, NY, USA, Academic Press, 237 p.
42. SMITH G.E.J., 1986. Réflexions sur les plans d'enquêtes. In : Enquêtes à basse altitude, Nairobi, Kenya, 6-11 novembre 1979. Addis-Abeba, Ethiopie, Cipea, p. 111-114.
43. STELFOX J.G., PEDEN D.G., 1986. Le programme d'enquêtes aériennes du Kenya Rangeland Monitoring Unit : 1976-1979. In : Enquêtes à basse altitude, Nairobi, Kenya, 6-11 novembre 1979. Addis-Abeba, Ethiopie, Cipea, p. 48-58.
44. TOURRAND J.-F., JAMIN J.-Y., 1985. Inventaire aérien des bovins et des petits ruminants du delta du fleuve Sénégal. Méthodologie et premiers résultats. Dakar, Sénégal, Isra, 23 p.
45. VSF (Vétérinaires sans frontières), 1998. Eléments quantitatifs sur le cheptel. Abeche, Tchad, Projet « Almy Bahaim », 38 p.
46. WATSON R.M., TIPPET C.I., 1975. Sudan Pilot Livestock Census South Kordofan. Khartoum, Sudan, Ministry of Agriculture, Food and Natural Resources, 67 p.
47. WATSON R.M., TIPPET C.I., 1977. The Results of an Aerial Census of Resources in Sudan from August 1975 to January 1977. Khartoum, Sudan, Ministry of Agriculture, Food and Natural Resources, 34 p.
48. WATSON R. M., TIPPETT C.I., 1986. Analyse des enquêtes à basse altitude effectuées en Afrique de 1968 à 1979 à travers le bilan des activités d'une firme spécialisée. In : Enquêtes à basse altitude, Nairobi, Kenya, 6-11 novembre 1979. Addis-Abeba, Ethiopie, Cipea, p. 23-40.
49. WATSON R.M., TIPPETT C.I., JOLLY G.M., 1986. Utilisation de la bande échantillon statique dans la détermination de l'erreur systématique due à l'observateur dans les enquêtes aériennes. In : Enquêtes à basse altitude, Nairobi, Kenya, 6-11 novembre 1979. Addis-Abeba, Ethiopie, Cipea, p. 135-142.
50. WINT W., BOURN D., 1994. Anthropogenic and Environmental Correlates of Livestock Distribution in Sub-Saharan Africa. A Comparative Analysis of Livestock Surveys in Mali, Niger, Nigeria, Sudan and Tchad. London, UK, Overseas Development Administration, 58 p.
51. WINT W., ROGERS D., ROBINSON T., 1997. Ecozones, farming systems and priority areas for tsetse control in East, West and South Africa. Rome, Italy, FAO, 44 p.

Reçu le 24.8.99, accepté le 20.2.2000

**Summary**

**Michel J.F.** Counting domestic animals, a review

Reliable information on numbers of domestic animals are essential on a continent-wide as well as on a regional scale. This knowledge facilitates to guide and design the development policy of animal production and, also, to propose financial support from donors. Reliable information about animal numbers are scarce in developing countries, particularly in sub-Saharan Africa. Therefore, it is necessary to proceed to countings using reliable methods, which have been already recently developed for counting game populations. There is an abundant literature with regard to game counting which is not the case for counting domestic animals. This paper presents a bibliographical review of methods employed and operations carried out to count domestic populations. Counting methods are presented and their statistical and operational principle described. The results obtained during various operations carried out mainly in sub-Saharan Africa are presented and discussed. The main techniques applied are direct and indirect counts, ground and aerial counts, exhaustive or by sampling counts. The strip transect method and the indirect methods for estimating animal abundance by ground investigation are largely described. The line transect and capture-mark-recapture methods are briefly presented. The choice of methods and existing means to count domestic animals is discussed at the end of the paper. New methodological approaches are also indicated.

**Key words** : Livestock census - Animal husbandry - Spatial distribution - Aerial surveying - Sampling - Methods - Africa.

**Resumen**

**Michel J.F.** Conteo de animales domésticos, una revisión

El conocimiento de los efectivos de los animales domésticos es primordial, a escala continental como a escala local, con el fin de poder orientar y aplicar las políticas de desarrollo de las explotaciones animales y negociar la ayuda internacional. En los países en desarrollo y en África sub-sahariana particularmente, el conocimiento de estos efectivos es poco preciso, siendo necesario proceder a conteos. Los métodos de estimación de los efectivos de animales se han desarrollado tardíamente, sobre todo para el estudio de las poblaciones silvestres. La literatura al respecto es abundante. Esta es a menudo informal y netamente menos rica en lo que concierne a las poblaciones domésticas. Este artículo presenta una revisión bibliográfica de los métodos empleados y de las operaciones efectuadas para contar las poblaciones de animales domésticos. Se presentan los métodos de conteo y se describe su principio estadístico y operacional. Se presentan y discuten los resultados obtenidos a través de diferentes operaciones efectuadas esencialmente en África sub-sahariana. Las principales técnicas abordadas son los conteos directos e indirectos, en campo y en avión, exhaustivos o por muestreo. Se describen ampliamente los métodos de *strip transect* y los métodos indirectos de estimación de los efectivos por encuesta en campo. Los métodos de *line transect* y de captura-marcaje-recaptura se abordan más superficialmente. Al final del artículo se discute la escogencia de los métodos y de los medios existentes para el conteo de los animales domésticos. Se indican igualmente nuevas vías metodológicas.

**Palabras clave:** Censo de ganado - Ganadería - Distribución espacial - Muestreo - Reconocimiento aéreo - Métodos - África.