

Calcul des taux démographiques dans les cheptels domestiques tropicaux

Approche en temps discret

Matthieu Lesnoff, Renaud Lancelot et Charles-Henri Moulin



NUMÉRIQUE
LIVRE **LN**

éditions
Quæ

Calcul des taux démographiques dans les cheptels domestiques tropicaux

Approche en temps discret

Matthieu Lesnoff, Renaud Lancelot et Charles-Henri Moulin

Éditions Quæ
RD 10
F-78026 Versailles

Lesnoff, M.⁽¹⁾, Lancelot, R.⁽²⁾, Moulin, C.-H.⁽³⁾, Calcul des taux démographiques dans les cheptels domestiques tropicaux - Approche en temps discret. Cirad (Centre de coopération internationale de recherche agronomique pour le développement), Ilri (International Livestock Research Institute). Éditions Quæ.

1. Cirad, UPR Systèmes d'élevage, Montpellier, F-34398, France.

Adresse actuelle : Ilri (International Livestock Research Institute), PO Box 30709, 00100 GPO, Nairobi, Kenya.

Mel : matthieu.lesnoff@cirad.fr ; m.lesnoff@cgiar.org

2. Cirad, Département Systèmes biologiques, Montpellier, F-34398, France.

Mel : renaud.lancelot@cirad.fr

3. Montpellier SupAgro, 2, place Pierre Viala, 34060 Montpellier Cedex 1, France.

Mel : moulinch@supagro.inra.fr

La version anglaise de ce document a été réalisée avec le soutien du projet « Amélioration des conditions de vie des producteurs sahéliens à travers la mise en œuvre d'outils bioéconomiques d'aide à la décision » (Pad), financé par la Direction générale de la coopération au développement (DGCD) de Belgique et coordonné par l'International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (Icrisat, Niamey, Niger).



Remerciements : Bernard Faye (Cirad, Montpellier), Bruno Gérard (Icrisat), Ernesto Gonzalez-Estrada (Ilri, Nairobi), Mario Herrero (Ilri, Nairobi), Xavier Juanès (Cirad, Montpellier), Étienne Landais (Montpellier SupAgro), Jean-Dominique Lebreton (CNRS-Cefe, Montpellier), Philippe Letourmy (Cirad, Montpellier), Philippe Lhoste (Cirad, Montpellier), Samir Messad (Cirad, Montpellier), Jean-Paul Poivey (Cirad, Montpellier), Didier Richard (Cirad, Montpellier), Christian Sahut (Cirad, Montpellier), Emmanuel Tillard (Cirad, Montpellier).

Photographie de couverture : Bernard Faye (Cirad)

Les choix effectués et les opinions exprimées dans le document sont de la seule responsabilité des auteurs. Dans un souci de cohérence avec l'écriture des chiffres dans les modèles informatiques, les auteurs ont choisi, dans le texte, de remplacer par un point la virgule qui sépare normalement la partie entière et la partie décimale des chiffres.

Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle de la présente œuvre, par quelque procédé que ce soit, notamment sa rediffusion sous forme numérique ou imprimée, ou la création de liens hypertextes pointant vers ladite œuvre, faite sans l'autorisation de l'Éditeur ou de l'auteur, est illicite et constitue une contrefaçon, soumettant son auteur et toutes les personnes responsables aux sanctions pénales et civiles prévues par la loi. Seules sont de plein droit autorisées les reproductions strictement réservées à l'usage du copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les courtes citations justifiées par le caractère scientifique ou d'information de l'œuvre dans laquelle elles sont incorporées.

ISBN : 978-2-7592-0050-4

© Éditions Quæ

Dépôt légal édition numérique : octobre 2007

TOUS DROITS RÉSERVÉS

Avant-propos

À vocation pédagogique, le présent document est un manuel destiné aux personnes — étudiants, techniciens, ingénieurs, chercheurs ou agents de développement — appelées à étudier les paramètres démographiques des cheptels de ruminants domestiques tropicaux (bovins, petits ruminants et camelins). Il peut être utilisé dans des domaines divers : zootechnie, génétique, épidémiologie, économie.

Ce manuel n'est pas un didacticiel mais un recueil des principaux concepts permettant le calcul des taux démographiques. Nous espérons qu'il aidera les utilisateurs à mieux comprendre les définitions et les formules rencontrées dans la littérature et à accroître leur autonomie dans leurs analyses démographiques.

Les références bibliographiques indiquées ne prétendent pas être exhaustives. Il s'agit d'une sélection d'ouvrages et de publications dans des périodiques que nous avons jugés utiles dans le contexte de cette présentation.

Table des matières

Avant-propos	3
Introduction	7
Chapitre 1. Présentation générale des concepts	9
1. Techniques d'enquête.....	9
2. Choix des taux démographiques	10
3. Calculs en temps discret.....	11
4. Probabilités et taux instantanés	12
4.1. Définitions	13
4.2. Effectifs moyens	14
4.3. Relations entre probabilités et taux instantané	14
4.4. Risques compétitifs.....	14
5. Analyses statistiques	15
Chapitre 2. Calcul des taux démographiques	17
1. Mortalité naturelle et exploitation	17
1.1. Probabilités brutes.....	18
1.2. Taux instantanés	18
1.2.1. Définition	18
1.2.2. Approximation des taux instantanés	19
1.3. Relation entre probabilités brutes et taux instantanés	21
1.4. Risques compétitifs et interférences.....	21
1.5. Mortalité intrinsèque	23
1.6. Synthèse de l'exemple numérique	25
1.7. Calculs avec importations d'animaux	26
2. Importation	26
3. Reproduction.....	27
3.1. Mise bas et avortement	27
3.1.1. Introduction.....	27
3.1.2. Le taux instantané de mise bas	28
3.1.3. Probabilité de mise bas et lien avec le taux instantané	28
3.2. Prolificité, mortinatalité et taux de naissance	30
4. Productivité numérique	31
4.1. Aptitude biologique	31
4.2. Production sous contrainte	32
4.3. Rapport entre production et moyens	33
Chapitre 3. Méthodes de décomposition et de groupement des données démographiques	35
1. Introduction	35
2. Décomposition de cohortes	36
2.1. Principe.....	36
2.2. Regroupement d'unités.....	39
3. Décompositions en colonnes.....	40
Chapitre 4. Analyse statistique des taux démographiques	43
1. Introduction	43
2. Rappels théoriques	43
2.1. Estimateurs du maximum de vraisemblance.....	43
2.2. Approximation normale.....	44
2.2.1. Intervalles de confiance	44
2.2.2. Comparaison de deux probabilités.....	44
2.2.3. Comparaison de deux taux instantanés.....	45
2.3. Modèles linéaires généralisés	45
2.3.1. Définition	45
2.3.2. Régression logistique	46
2.3.3. Régression log-linéaire.....	46
3. Exemple numérique	47
3.1. Introduction	47

3.2. Analyse descriptive.....	48
3.3. Tests.....	49
3.3.1. Approximation normale.....	49
3.3.2. Modèles linéaires généralisés.....	50
Annexe	53
1. Probabilités et taux instantanés en démographie.....	53
1.1. Cas d'une cause unique de disparition : la mort naturelle.....	53
1.2. Cas de deux causes de disparition : la mort naturelle et l'exploitation.....	54
1.3. Interférence entre mortalité naturelle et exploitation.....	55
1.4. Biais issu de l'approximation du temps de présence par l'effectif moyen.....	56
1.5. Cas de disparitions massives et ponctuelles.....	57
2. Remarque sur l'intervalle moyen entre mises bas.....	59
3. Éléments de syntaxe du langage R.....	60
3.1. L'opérateur d'affectation « <- ».....	60
3.2. Quelques objets : vecteurs, facteurs, matrices et tableaux de données.....	61
3.3. Quelques opérations arithmétiques.....	62
3.4. Un modèle statistique : le modèle linéaire généralisé.....	62
3.5. Manipulation des modèles linéaires généralisés.....	63
Bibliographie	67

Introduction

Les cheptels de ruminants domestiques représentent une valeur économique déterminante pour de nombreux pays en développement, tant à l'échelle nationale qu'à celle des ménages ruraux. Disposer de méthodes et d'indicateurs standardisés pour évaluer l'impact d'interventions zootechniques, sanitaires, économiques ou politiques sur la dynamique et la production des cheptels permet de cibler les stratégies d'amélioration de la situation économique des pays et du bien-être des ménages.

Partie intégrante de ces indicateurs, les paramètres démographiques synthétisent les caractéristiques biologiques des animaux et l'effet des pratiques de gestion mises en œuvre par les éleveurs (Moulin, 2000 ; Tichit *et al.*, 2004). Ces paramètres sont nécessaires pour quantifier la dynamique et la production des cheptels et évaluer, par des études *ex post* ou *ex ante*, l'impact d'interventions (pratiques de gestion, traitements vétérinaires, améliorations génétiques, etc.) ou de risques environnementaux (épidémies, sécheresse, etc.). Ils peuvent être étudiés séparément (Lancelot *et al.*, 1995 ; Lancelot *et al.*, 2002) ou conjointement pour constituer les paramètres d'entrée de modèles mathématiques de prédiction plus globaux, capables notamment de représenter la dynamique de cheptels (Tacher, 1975a ; 1975b ; Landais, 1986b ; Upton, 1989 ; Baptist, 1992 ; Itty, 1995 ; Lesnoff, 1999 ; 2000 ; Lesnoff *et al.*, 2000 ; Hary, 2004a ; 2004b ; Moulin *et al.*, 2004 ; Teixeira et Paruelo, 2005).

La littérature distingue en général deux groupes de paramètres démographiques des cheptels : les variables d'état du cheptel — taille des troupeaux et structure sexe x âge, appelée pyramide des âges — et les taux démographiques du cheptel (taux annuels de reproduction ou de mortalité, par exemple).

Dans le présent ouvrage, nous nous concentrons sur les taux démographiques, dont le calcul pose le plus de difficultés. De nombreuses définitions et formules de calcul ont été proposées en élevage (Cirad-IEMVT, 1972 ; Liénard et Legendre, 1974 ; Marzin et Liénard, 1984 ; Landais et Sissokho, 1986 ; Wilson, 1986 ; Cirad-IEMVT, 1989 ; Mukasa-Mugerwa, 1989 ; Ilca, 1990 ; Lhoste *et al.*, 1993). Cependant, elles sont souvent présentées de manière empirique et les écueils méthodologiques à éviter dans les calculs ne sont pas détaillés. La multiplicité des définitions et l'hétérogénéité des termes employés constituent un problème pour les utilisateurs, tant pour analyser des données d'enquêtes que pour réaliser des méta-analyses de résultats déjà publiés.

Dans ce contexte, notre objectif est de présenter les concepts sous-jacents à la définition et au calcul des taux démographiques pour l'étude des cheptels de ruminants domestiques tropicaux. Ces concepts ont pour certains été décrits en démographie et en épidémiologie humaines ou en écologie. Il nous a paru utile de les replacer dans le cadre de l'élevage tropical et de les rassembler au sein d'un même manuel.

Pour les calculs, nous adoptons une approche « en temps discret », fréquemment rencontrée dans la littérature tropicale : les données sont groupées et analysées par classe d'âge et par période de temps. D'autres approches sont possibles, notamment celles considérant l'âge et le temps comme des variables continues (méthode de Kaplan-Meier, modèle de Cox et ses extensions, etc.). Ces approches continues ne sont pas abordées dans le présent manuel.

Par ailleurs, ce manuel est centré sur les cheptels des systèmes d'élevage tropicaux peu intensifiés dans lesquels la reproduction n'est pas ou est peu contrôlée, notamment lorsque les femelles ne sont pas séparées des mâles au cours de l'année. Certains des taux décrits peuvent ne pas avoir d'intérêt si la reproduction est maîtrisée (par exemple, lors de programmes d'insémination artificielle), comme dans les stations expérimentales, certains ranchs ou les élevages intensifs.

L'ouvrage se place délibérément en amont de la présentation des méthodes d'enquête de terrain et d'échantillonnage — les aspects y sont évoqués, mais le lecteur intéressé est invité à se reporter aux documents cités en référence. Il se place aussi en amont des techniques de modélisation de la dynamique des cheptels qui permettent de simuler l'évolution au cours du temps et par classe d'âge des effectifs d'animaux.

Ce manuel est composé de quatre chapitres :

- le chapitre 1 est une présentation générale des concepts abordés ou utilisés dans le manuel ;
- le chapitre 2 définit, à l'aide d'exemples numériques, les taux démographiques et les concepts théoriques sous-jacents ;
- le chapitre 3 expose les principales méthodes de décomposition et de groupement des données démographiques de l'approche en temps discret ;
- le chapitre 4 est une introduction à l'analyse statistique des taux démographiques à partir de données groupées.

Enfin, une annexe fournit quelques éléments théoriques supplémentaires ainsi qu'une introduction au logiciel R (<http://www.r-project.org/>) utilisé pour les calculs présentés dans le manuel.

Chapitre 1. Présentation générale des concepts

1. Techniques d'enquête

Les taux démographiques sont estimés à partir de données collectées sur le terrain. Dans les pays en développement, cette collecte constitue la part la plus difficile du travail, en raison de la dispersion et de la mobilité des troupeaux, et de l'absence d'enregistrement des données démographiques animales par les éleveurs. Trois grands types d'enquêtes sont utilisés en pratique : les suivis individuels d'animaux, les suivis de troupeaux sans identification individuelle des animaux et les enquêtes rétrospectives.

Les suivis individuels d'animaux sont la méthode de référence pour la collecte de données démographiques en milieu tropical (Poivey *et al.*, 1981 ; Faugère et Faugère, 1986 ; Landais et Faugère, 1986 ; Landais et Sissokho, 1986 ; Cirad-IEMVT, 1990 ; Ilca, 1990 ; Planchenault et Sahut 1990 ; Faugère *et al.*, 1991 ; Lhoste *et al.*, 1993 ; de Leeuw *et al.*, 1995 ; van Klink *et al.*, 1996 ; Tillard *et al.*, 1997 ; Metz et Asfaw, 1999 ; Lesnoff *et al.*, 2007a) (voir également le site Internet <http://laser.cirad.fr>). Ils consistent à suivre pendant une ou plusieurs années un même échantillon de troupeaux dont tout ou partie des animaux sont identifiés individuellement, le plus souvent à l'aide de boucles auriculaires. Des enquêteurs visitent régulièrement les troupeaux (par exemple, tous les quinze jours ou tous les mois), recensent les animaux présents et notent pour chaque animal tous les événements démographiques ayant eu lieu entre deux visites successives : mises bas, mortalités, exploitations et importations d'animaux. Les suivis individuels engendrent des données précises et fiables. Ils sont bien adaptés pour établir des référentiels techniques précis de la productivité de races ou de systèmes d'élevage ou, dans des démarches d'expérimentation en milieu rural, pour quantifier l'impact d'innovations. Cependant, ces suivis sont des opérations lourdes à mettre en place et à maintenir dans la durée. Ils posent également des problèmes lorsque les troupeaux effectuent de longues migrations et ils peuvent difficilement être étendus à de grandes régions ou à l'échelle d'un pays.

Les suivis de troupeaux sans identification individuelle des animaux sont une simplification des suivis individuels (Berthet-Bondet et Bonnemaire, 1986 ; Landais et Sissokho, 1986 ; Huttner *et al.*, 2001 ; Madani *et al.*, 2002 ; Bebe *et al.*, 2003). Lors des visites successives, les observations (effectifs d'animaux et événements démographiques survenus entre deux visites) sont effectuées globalement à l'échelle du troupeau et non de l'animal. Bien que moins lourds à mettre en place, les suivis de troupeaux ont le même type de contraintes que les suivis individuels.

Les enquêtes rétrospectives sont des enquêtes fondées sur la mémoire des éleveurs gérant les troupeaux échantillonnés (Sedes, 1975 ; Cirad-IEMVT, 1989 ; Ilca, 1990 ; Planchenault, 1991 ; Lhoste *et al.*, 1993 ; Lesnoff *et al.*, 2007b). Ces enquêtes sont ponctuelles dans le temps (la durée totale d'une enquête est d'environ un mois) mais peuvent être répétées sur plusieurs années. Différentes techniques d'entretien sont utilisées pour reconstituer la démographie des troupeaux ou la carrière des animaux, sur des périodes pouvant remonter sur plusieurs années. Les méthodes rétrospectives constituent des outils de diagnostic rapide (Dumas, 1980 ; Peacock, 1983 ; Cirad-IEMVT, 1988 ; Planchenault, 1992 ; Meyer *et al.*, 1997 ; Bebe *et al.*, 2003). Du fait des erreurs dues à la mémoire des éleveurs, elles fournissent des résultats plus approximatifs que les suivis. Cependant, elles sont plus légères, s'appliquent aux

troupeaux migrants et permettent de quantifier l'impact d'événements inhabituels (sécheresse, épizootie, etc.) avec rapidité et dans des zones plus étendues. Elles sont en général utilisées pour dégager les grandes caractéristiques, les tendances et les variations démographiques des cheptels, afin d'orienter les stratégies des décideurs, ou comme méthodes exploratoires pour aider les institutions de recherche à planifier des suivis ciblés sur des systèmes d'élevages et identifier les questions à approfondir (Lhoste *et al.*, 1993).

Les concepts démographiques présentés dans ce manuel peuvent s'appliquer à l'une ou l'autre de ces techniques d'enquête.

2. Choix des taux démographiques

Le choix des taux démographiques utilisés dans une étude dépend des objectifs de l'étude (qui peut concerner un paramètre particulier comme la mortalité, ou l'ensemble de la séquence démographique), du système étudié (extensif, semi-intensif, intensif ou en station expérimentale), de la finesse souhaitée pour décrire le cycle de vie de l'animal et du cheptel, et enfin de ce que permettent les données collectées, donc de la technique d'enquête utilisée. Nous présentons un ensemble de huit taux qui nous semblent suffisants pour décrire la démographie des cheptels domestiques tropicaux dans le cas où la reproduction est peu maîtrisée (tableau 1). Cet ensemble s'appuie sur une version simplifiée de la séquence démographique présentée dans Landais et Sissokho (1986) (figure 1).

Tableau 1. Définition des taux démographiques sélectionnés

Taux naturel	Définition
(1) Taux de mise bas	Probabilité ou taux instantané qu'une femelle mette bas durant une période de temps donnée.
(2) Taux d'avortement	Probabilité ou taux instantané qu'une femelle avorte durant une période de temps donnée (un avortement est une gestation qui n'a pas été à son terme, aboutissant à un produit non viable).
(3) Taux de prolificité	Effectif moyen de produits (nés vivants ou mort-nés) par mise bas.
(4) Taux de mortinatalité	Probabilité qu'un produit soit mort-né (ici, la mortinatalité n'est pas comptabilisée dans la mortalité naturelle, qui concerne uniquement les produits nés vivants).
(5) Taux de femelles à la naissance	Probabilité qu'un produit né vivant soit une femelle.
(6) Taux de mort naturelle	Probabilité ou taux instantané qu'un animal meure de mort naturelle durant une période de temps donnée.
Taux de gestion démographique	Définition
(7) Taux d'exploitation	Probabilité ou taux instantané qu'un animal soit exploité (abattage, vente, prêt, don, etc.) durant une période de temps donnée.
(8) Taux d'importation	Probabilité ou taux instantané qu'un animal soit importé (achat, prêt, don, etc.) durant une période de temps donnée.