

FOURNITURE DE DOCUMENTS. DOCUMENT DELIVERY SERVICE

TEL : 33 (0)3 83 50 46 64 FAX : 33 (0)3 83 50 46 66

2, allée du Parc de Brabois F-54514 Vandoeuvre Cedex

AM

VOTRE DOCUMENT / YOUR DOCUMENT

1667

ISSN/ISBN: 0244-6014 Bibliothèque: 03 545472303 Cote:
Titre Général: Bulletin – Société française de photogrammétrie et de télédétection

Auteur(s) Monographie:
Collectivité d'Auteurs:
Editeur Commercial:

Année: 1999 Volume: Numéro: 156 Numéro HS: Partie:
Mois:

Pages: 13 / 19

Titre Article: Des photographies aériennes numérisées pour estimer la progression de
l'embroussaillage par le buis sur le Causse-Méjan

Auteur(s): DUVERNOY, I.
Collectivité d'Auteurs:
Origine Serveur:

VOTRE DEMANDE / YOUR ORDER

Support souhaité: 06 PHOTOCOPIE Télécopie: 0466656550
N° Client: 1069959 N° Original: GO 291850 N° INIST: 10920979
Référence Lecteur: Hélène L. Nombre d'Exemplaires: 1
Critère Devis: NEANT Accord le: Pour: 7 pages
Date d'édition: 17/05/2011 Heure: 03:15:36 N° Ligne: L1 8

Les documents transmis sont strictement réservés à l'usage privé du destinataire indiqué sur ce bordereau. Ils ne peuvent en aucun cas être reproduits, vendus ou communiqués à un tiers pour en faciliter la reproduction sauf accord préalable du Centre Français d'exploitation du droit de Copie. (cf: articles 5, 6 et 7 des conditions générales de ventes).

Documents supplied are exclusively for the personal use of the individual customer named on this form. They cannot at any time be reproduced, sold or given to a third party to be reproduced without prior permission of the Centre Français d'exploitation du droit de Copie. (See articles 5, 6 and 7 of the general conditions of selling).

1069959
SUPAGRO FLORAC
CDI

BP 35 / 9 RUE CELESTIN FREINET
48400 FLORAC

En cas de réclamation, veuillez retourner
ce document à l'adresse ci-dessus
*In case of claim, please return this form to
the above address*

En précisant le motif de la réclamation
Please indicate the reason for your claim

10920979

GO 291850

354000080871170020



1 0 9 2 0 9 7 9

DES PHOTOGRAPHIES AERIENNES NUMERISEES POUR ESTIMER LA PROGRESSION DE L'EMBROUSSAILLEMENT PAR LE BUIS SUR LE CAUSSE-MEJAN

Isabelle DUVERNOY

Institut National de la Recherche Agronomique
Systèmes Agraires et Développement
BP 27 - 31326 Castanet-Tolosan cedex
Tél. +33 (0)5 61 28 52 54 - Fax +33 (0)5 61 73 20 77
E-mail : duvernoy@toulouse.inra.fr

Résumé

Le paysage de steppe des parcours du Causse-Méjan se modifie du fait de la progression des ligneux, notamment des buissons de buis qui sont très difficiles à éradiquer. Pour modéliser la progression de cette espèce sur les parcours, des données sur la répartition et la progression du buis étaient nécessaires à une échelle proche des mesures et du modèle biologique, c'est-à-dire à l'échelle des individus. L'intérêt pour cet objectif de photographies aériennes diachroniques numérisées est évalué dans cet article. Une photographie aérienne de 1989, numérisée pour obtenir un pixel de 30 cm par 30 cm, a permis d'obtenir une classification du buis, qui présente une validité globale de 85%. Cette classification permet d'identifier les buissons de buis âgés d'au moins trente ans. Cette classification permet d'obtenir différents indicateurs de l'embroussaillement par le buis : densité du recouvrement, indicateurs de la progression du buis, notamment par comparaison avec une photographie plus ancienne. Ces différents indicateurs apportent une information complémentaire sur ce phénomène et ne seraient pas accessibles par photo-interprétation.

Mots-Clés : dynamique de la végétation, photographie aérienne, image numérique, buis, Causse-Méjan

Abstract

The steppe landscape of the grazing areas in the Causse-Méjan is evolving due to woody species invasion, and particularly box shrubs, which are very hard to eradicate. In order to model the progression of this species on the grazing areas, we needed data on box shrubs location and dynamic, at an individual scale for comparison with biological model of box diffusion. Digitised aerial photographs were tested to provide such data. Using a digitised 1989 photography, presenting pixels of 30 cm by 30 cm, box classification was accurate at 85%. Less than 30 years old individuals can't be observed by this method. From this classification three indicators of shrub invasions were derived, as density, and progression indicators, one of them produced by comparison with an older photography. These three indicators, which are not accessible by photo-interpretation, produced an interesting and complementary information on the box shrub invasion process.

Keywords : vegetation dynamic, aerial photography, digital image, box, Causse-Méjan

1. La brousse gagne sur le Causse-Méjan ?

Le Causse-Méjan, en Lozère (voir Fig.1), présente en partie un paysage de steppe. Ce paysage représente un intérêt économique pour la soixantaine d'éleveurs qui utilisent les parcours du causse pour le pâturage ovin, et font de l'accueil touristique, mais également un intérêt écologique pour certaines espèces rares qui y résident. On constate cependant une progression des ligneux sur les causses (notamment en comparant le paysage actuel à des cartes postales anciennes, cf Rousset (1998) pour un exemple sur le Causse du Larzac). Cette fermeture du paysage est due à la diffusion de ligneux hauts, notamment du pin (*Pinus sylvestris*), mais aussi à l'embroussaillement par des ligneux bas tels que le genévrier (*Juniperus communis*) et le buis (*Buxus sempervirens*). L'embroussaillement par le buis est particulièrement problématique car cette espèce est très difficile à éradiquer. En effet, elle résiste au feu, est

très difficile à désoucher, et fait des rejets de souche après gyrobroyage.

Cette progression peut être replacée dans une dynamique à long terme de la végétation des causses, dynamique influencée par les pratiques agricoles d'utilisation de l'espace, que ce soient les déboisements pour la mise en culture, puis l'extension de l'élevage ovin, et enfin une relative déprise pastorale qui n'est pas imputable à une diminution des effectifs ovins, mais plutôt à une modification des pratiques pastorales (Osty, & Auricoste, 1989) : clôture des parcours, arrêt de la garde, complémentation de l'alimentation du cheptel en bergerie etc. La mise en place de mesures agro-environnementales vise d'ailleurs à contrôler l'extension du buis au moyen de fortes intensités de pâturage ovin.

Le processus d'embroussaillement par le buis reste néanmoins mal connu, et notamment les facteurs qui le favorisent ou le limitent, bien que sa biologie soit maintenant bien décrite (Koechlin, 1980 ; Rousset et al., 2000).

Dans les conditions des causses, le buis est un arbuste de faible croissance (diamètre de canopée qui croît de 2 cm par an, soit un diamètre d'environ 80 cm pour des individus âgés de 40 ans) et n'entrant en reproduction que vers une vingtaine d'années. Si un semencier produit plusieurs milliers de graines, la distance de dissémination est faible (la distance maximale est de 6 m, et la distance moyenne de 1,2 m), bien qu'un transport marginal des graines par les fourmis ou par l'eau puisse l'augmenter. La mortalité des plantules est très importante la première année ; elle s'annule presque par la suite. (Rousset *et al.*, 2000) Ces caractéristiques biologiques de l'espèce déterminent donc une diffusion spatiale lente, d'environ trois mètres tous les 20 ans. (Rousset *et al.*, 2000)

On sait peu de choses sur les facteurs qui peuvent l'influencer localement, que ce soient les facteurs de sol et plus largement de milieu (altitude, pente...) ou les facteurs anthropiques. Les pratiques pastorales ne semblent pas jouer un rôle très important sur les individus adultes, mais pourraient être impliquées dans la forte mortalité des plantules (Rousset, 1995). La localisation du buis dans le paysage pourrait également être un reflet des pratiques agricoles anciennes, notamment les alignements d'individus âgés le long de murettes, les haies soulignant les limites parcellaires ou d'exploitation (Cohen & Lardon, 1996)

Les photographies aériennes permettent de cartographier l'embroussaillage des parcours, et d'évaluer sa progression sur plusieurs décennies (Cohen & Hotyat, 1995). C'est pourquoi nous avons envisagé de les utiliser pour construire un modèle de progression du buis sur le Causse-Méjan⁷. La finalité de ce modèle était de prévoir les risques d'embroussaillage futurs, en tenant compte des configurations spatiales du buis actuelles (densité et répartition spatiale des semenciers). Il s'agissait également de vérifier sur une zone étendue les paramètres biologiques de la dispersion de l'espèce, qui avaient été mesurés sur des stations de quelques m². Dans le cadre de ce projet, les données sur la répartition et la progression du buis devaient être obtenues à une échelle proche des mesures et du modèle biologique, c'est-à-dire à l'échelle des individus. Elles devaient également couvrir une vaste étendue. Nous avons donc utilisé des photographies aériennes numérisées pour nous rapprocher de l'échelle des mesures de terrain, tout en conservant la possibilité de traiter des zones étendues. La stratégie d'utilisation des photographies aériennes pour cet objectif, et ses résultats sont présentés dans la suite de ce texte.

7. Projet "Embroussaillage des parcours et pratiques pastorales dans les montagnes sèches du sud de la France. Vers une modélisation de la dynamique d'embroussaillage", sous la responsabilité scientifique de Joël Chadoeuf, INRA-Biométrie, Avignon et financé par l'Action Incitative Programmée INRA "Organisation spatiale et conduite des couverts cultivés : EcoSpace".

2. Stratégie d'utilisation des photographies aériennes pour modéliser la progression du buis

2.1 Choix d'une échelle spatiale d'observation

Au sein du Causse-Méjan, la zone étudiée est une zone de plus de 1500 ha (Fig.1), située à cheval entre le « causse nu » et le « causse haut », c'est-à-dire les parties du causse où le paysage de parcours steppique prédomine (si on excepte quelques centaines d'hectares de boisement en pin noir).

Au sein de cette zone, nous avons sélectionné sept fenêtres (représentant une surface de 15 ha à 35 ha) en fonction d'un gradient d'intensité d'usage des parcours depuis une cinquantaine d'années. En effet, pour des questions de volume des données, il n'était pas envisageable de travailler sur l'ensemble de la zone à une très fine résolution. La plupart des résultats présentés ci-après ont été obtenus sur une de ces fenêtres.

Pour que les données issues des photographies aériennes numérisées soient proches du modèle biologique, nous ne pouvions nous contenter de mesures de densité locale du buis et nous avons cherché à identifier les individus, afin que les paramètres de taille et de distance entre buissons soient accessibles.

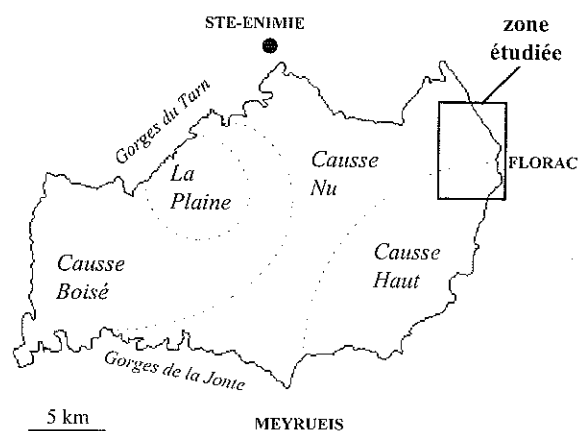


Figure 1 : Causse-Méjan : zones agro-écologiques et localisation de la zone d'étude.

Le diamètre de la canopée des individus ou des buissons de buis varie de quelques cm² à plusieurs m², suivant leur âge. Leur implantation sur le causse se présente soit sous la forme d'individus isolés (à quelques mètres les uns des autres), soit sous la forme de tapis dense de buis (distance entre individus de l'ordre de quelques décimètres). On constate également la présence de structures linéaires ou circulaires d'individus âgés (haies, bordures de pierriers).

Suivant la résolution obtenue après numérisation de la photographie, ces différentes structures vont être plus ou moins bien représentées par les pixels, et leur variabilité sera plus ou moins importante. La variabilité

de la réponse spectrale est maximale pour une résolution proche de la taille des objets, puisque la proportion de pixels mixtes (mixels) pour ces objets est alors la plus importante (Woodcock et Strahler, 1987).

Par exemple, une résolution 1 m² va entraîner une forte variabilité de réponse des buissons de buis. Les individus jeunes, à moins qu'ils ne forment un tapis très dense, seront systématiquement représentés dans des pixels mixtes. La réponse des individus isolés, dont le diamètre de la couronne sera d'une surface proche de celle du pixel, variera en fonction de la localisation du pixel par rapport au buisson. Seules les haies et les individus âgés seront représentés de façon majoritaire par des pixels homogènes. Nous avons donc choisi de travailler avec des pixels plus fins, c'est-à-dire, suivant l'échelle initiale des photographies aériennes, des pixels ayant une taille de 30 cm x 30 cm à 60 cm x 60 cm (cf chapitre 3.1).

2.2 Choix d'une échelle temporelle d'observation

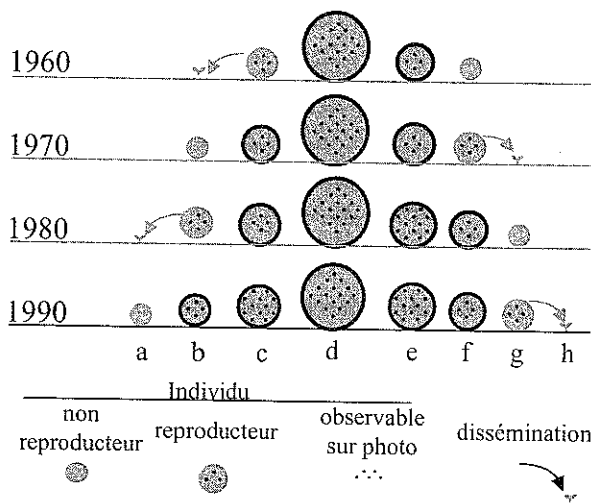


Figure 2 : Estimation de la progression du buis par interprétation de photographies à plusieurs dates. Le temps nécessaire pour entrer en phase de reproduction (20 ans) est inférieur au temps nécessaire pour dépasser le seuil d'observabilité (30 ans). Les individus observables sur la photographie en 1990, étaient déjà présents sur le terrain en 1960.

L'évaluation de la progression du buis (apparition de nouveaux individus, évolution de la densité d'embroussaillage) dépend du pas de temps de l'observation, compte tenu des caractéristiques de l'espèce végétale et de celles des photographies utilisées (résolution spatiale et spectrale).

Le buis étant une espèce à croissance et à développement lent, du moins dans les conditions des causses, des pas de temps importants sont nécessaires pour estimer une évolution de son recouvrement.

Il faut une vingtaine d'année avant qu'un individu ne se reproduise. Ses descendants ne seront discernables sur les photographies que lorsqu'ils auront une taille proche de celle du pixel, soit près d'une trentaine

d'années (Fig.2). Ainsi, pour observer l'apparition de nouveaux individus, près d'une trentaine d'années d'écart entre les photographies aériennes comparées sont nécessaires. Cela nous conduit à maximiser le pas de temps entre les photographies pour l'étude diachronique de l'embroussaillage par le buis.

Cela a également une autre conséquence : la progression du buis observable en comparant les photographies aériennes correspondra à une dynamique de diffusion passée, et ne pourra pas être rapprochée des pratiques d'usage actuelles.

3. Classification des photographies

Pour estimer la progression du buis, nous avons comparé deux missions photographiques conduites à 40 ans d'intervalle.

3.1 Choix des photographies et numérisation

Les photographies aériennes utilisées sont d'une part une photographie panchromatique d'une mission IGN de 1948, au 1:25000 et une photographie infra-rouge couleur d'une mission IFN de 1989 au 1:17000. Ces photographies ont été acquises sous forme de contretypes positifs et les fenêtres étudiées ont été numérisées sur un scanner AGFA-Arcus 2 à la résolution de 1200 dpi. Dans les deux cas, le pixel numérisé est d'une taille supérieure au grain de la photographie (qui varie de 0,1 à 1µm (Bonn et Rochon, 1993)).

3.2 Rectification géométrique

Les fenêtres de 1989 ont été rectifiées géographiquement par comparaison avec une mosaïque des mêmes photographies aériennes numérisées en 400 dpi, et recalées en Lambert III^e. Cette rectification a été faite en utilisant un modèle de déformation polynomial de degré 3. La valeur des pixels a été calculée par la méthode du plus proche voisin, pour éviter les effets de lissage. Après recalage, les pixels représentaient une surface au sol de 30 cm x 30 cm à 40 cm x 40 cm suivant les fenêtres. La fenêtre du Moulin, prise comme référence dans cet article est présentée Figure 3(a).

Ce sont les fenêtres de 1989, recalées en Lambert III qui ont servi de référence géographique pour recalculer les fenêtres de 1948. En raison des différences de géométrie entre les photographies de 1948 et de 1989, certaines fenêtres de 1948 ont été recalées par déformation élastique linéaire (méthode des triangles de Delaunay avec transformation polynomiale de degré 1). L'estimation visuelle de la superposition des fenêtres de 1948 et des fenêtres de 1989 est généralement correcte : inférieure à un pixel. Après

8. Recalage par calcul d'un modèle de déformation polynomial de degré 3, à partir de points d'appui pris dans une couverture ARC/INFO des parcelles d'usage et des points relevés sur la carte topographique IGN au 1:25000. L'erreur quadratique moyenne par rapport aux documents de référence était de l'ordre de 10 m.

recalage, les pixels des fenêtres de 1948 ont une taille de 60 cm x 60 cm.

3.3 Procédures de classification

La classification du buis sur les fenêtres de 1989 a été faite par nuées dynamiques suivies d'une amélioration de la classification par analyse spatiale. La classification par nuées dynamiques a distingué 30 classes. L'identification du buis dans ces 30 classes s'est faite par analyse des valeurs des pixels dans les trois "bandes spectrales" de la photographie infra-rouge couleur et par photo-interprétation. Sept classes ont été retenues comme pouvant contenir du buis. Ce choix exclut potentiellement les buissons de buis présents dans les autres classes mais non détectés par photo-interprétation (petite taille), et inclut en revanche d'autres thèmes présentant un comportement radiométrique proche (autres ligneux et parfois des surfaces cultivées). Nous avons donc effectué une amélioration de cette première classification, en utilisant des critères de taille, de forme et de localisation. Les surfaces cultivées ont été éliminées après identification sur les couvertures parcellaires et par photo-interprétation.

La classification des fenêtres de 1948 a été réalisée en deux temps. Une première classification par nuées dynamiques a permis de réduire l'information à analyser à 30 classes, dont 15 ont été estimées contenir du buis après photo-interprétation. Cette classification isole très mal le buis des autres couverts végétaux, que ce soient les ligneux ou certaines surfaces de parcours. Une seconde procédure de classification a donc été mise en œuvre pour isoler le buis au sein de ces classes. Nous avons utilisé le fait que le buis, dans les conditions du Causse au moins, présente une très faible mortalité après installation (cf Rousset *et al.*, 2000). Les pixels de ces classes, s'ils représentent effectivement des buissons de buis en 1948, doivent donc être classés en buis en 1989. Par comparaison des classifications de 1948 et de 1989, nous délimitons donc les zones de progression du buis de 1948 à 1989 (Tab.1).

Cette procédure de classification des photographies de 1948 permet de mesurer directement la progression de l'embroussaillage. Elle est cependant entachée de plusieurs biais. Le premier est qu'elle repose sur le postulat qu'il n'y a pas eu régression de l'embroussaillage par le buis de 1948 à 1989. Cela semble vraisemblable en ce qui concerne la mortalité des individus après installation, mais peut être plus problématique en ce qui concerne la taille des buissons.

Classification 1948	Classification 1989	Estimation de la progression
Mixels contenant du buis	Buis	Buis depuis 1948
	Autres	Pas de buis
Autres	Buis	Apparition de buis depuis 1948
	Autres	Pas de buis

Tableau 1 : Procédure d'estimation de la progression du buis par comparaison des classifications de 1948 et de 1989.

En effet, les exploitants actuels du Causse Méjan mentionnent des coupes de buis, notamment pour la fabrication de litières. Même si cette pratique a disparu depuis plusieurs décennies, il est possible qu'elle ait encore été en vigueur dans les années cinquante. La diminution de taille de certains buissons de buis ne peut donc pas être totalement écartée, mais nous ne sommes pas en mesure de l'estimer. Le second biais, qui concerne sans doute une surface de buis plus importante, provient du fait que la procédure utilisée tend à surestimer la surface embroussaillée par le buis en 1948. En effet, la confusion partielle entre les buissons de buis et les autres couverts végétaux sur la classification de la photographie de 1948 peut faire apparaître certains buissons de buis installés entre 1948 et 1989 comme des buissons de buis existant déjà en 1948.

Ces deux biais vont dans le sens d'une sous-estimation de la progression du buis entre 1948 et 1989.

3.4 Mesures de la densité du buis

La densité de l'embroussaillage par le buis et l'hétérogénéité de sa répartition ont été mesurées en 1989. Sur les sept fenêtres, les parcelles d'usage ont été délimitées. La densité de buis est exprimée en terme de pourcentage de recouvrement au sol des buissons de buis dans chaque parcelle d'usage, c'est-à-dire le nombre de pixels classés en buis sur le nombre de pixels total de la parcelle (déduction faite des surfaces cultivées ou en forêt⁹).

Pour compléter cette mesure, la taille des buissons de buis a été estimée. Un buisson de buis, tel qu'observé sur les photographies, est défini comme un groupe de pixels connexes classés en buis. La taille du buisson est exprimée en nombre de pixels. Pour chaque parcelle, les buissons dans chaque strate de taille ont été dénombrés. Cette mesure est plus directement en lien avec la progression du buis sur les parcours, puisque la taille des individus est liée à leur âge. Cette mesure est comparée à l'estimation de la progression du buis par comparaison des photographies aériennes entre 1948 et 1989.

9. Le buis est présent sous couvert forestier, mais il n'est pas décelable sur les photographies. Les buissons de buis présents sous les plantations de pins ont donc été négligés.

Ces deux mesures, densité de l'embroussaillage et taille des buissons de buis, sont utilisées de façon comparative et non absolue. En effet, elles sont toutes deux sensibles à la résolution de la photographie numérisée, qui détermine à la fois le domaine d'observation (buis de plus de 30 ans) et la précision de la mesure.

4. Résultats

4.1 Evaluation de la classification

Seule l'évaluation de la classification des fenêtres de 1989 a pu être réalisée par comparaison de l'image classée à des relevés de terrain réalisés en 1995 et 1996. Les 6 à 7 ans de différence entre la prise de vue de la photographie et les observations de terrain sont négligeables vu la vitesse de croissance très faible du buis et le fait que l'on n'observe sur la photographie que des individus âgés. L'occupation du sol (buis ou non-buis) de 288 points a été identifiée, et comparée avec le résultat de la classification des photographies aériennes (Congalton, 1991).

Classifi- cation		Relevés de Terrain		
		non-buis	buis	Total
	non-buis	101	18	119
	buis	24	145	169
	Total	125	163	288

Tableau 2 : Matrice de confusion de la classification du buis sur photographie aérienne, par comparaison avec les relevés de terrain. Fenêtre du Moulin.

La validité globale de la classification est de l'ordre de 85% (Tab.2). La proportion de buis non identifiés par la classification est de l'ordre de 11%. La proportion d'objets identifiés à tort comme du buis, est de l'ordre de 14%. Il s'agit d'arbres (pins) ou d'arbustes (genévriers).

Lors de ces relevés de terrain, le diamètre de la canopée de 84 buissons de buis a été estimé visuellement. Le nombre d'individus dans chaque classe de taille est faible. Il permet toutefois d'apporter une indication sur le seuil d'identification des buissons de buis en fonction de leur taille (Fig.4). On constate que jusqu'à 40 cm de diamètre, les buissons de buis ne semblent pas détectés. A partir de 60 cm de diamètre, ils sont presque détectés en totalité. Bien que très variable d'un individu à l'autre, le diamètre de la canopée des buissons de buis varie globalement avec l'âge de l'individu ; un diamètre de 60 cm correspond approximativement à des individus âgés d'une trentaine d'années (cf Rousset *et al.*, 2000).

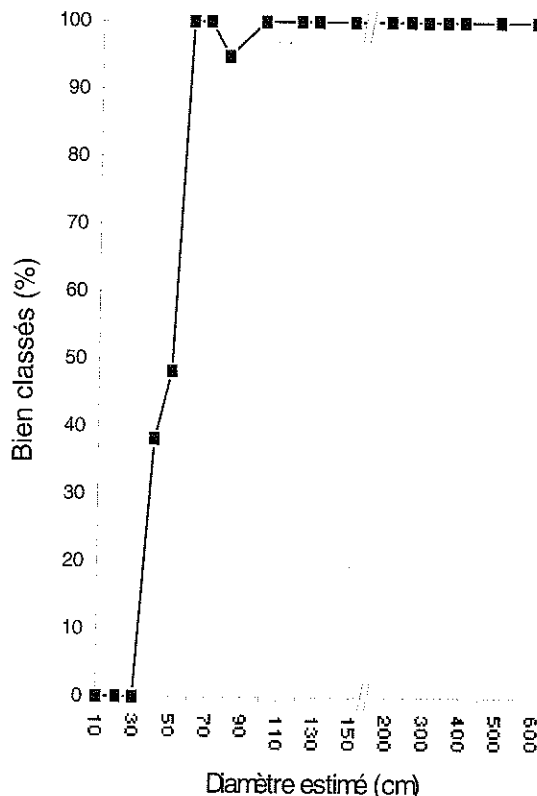


Figure 4 : Proportion de buissons de buis identifiés sur la photographie de 1989 suivant leur taille estimée par relevés de terrain. (Dans chaque classe de taille, le nombre de buisson de buis varie de 1 à 16).

Avec la procédure de numérisation et de classification utilisée, les photographies aériennes de 1989 permettent donc d'identifier correctement les buissons de buis âgés de plus d'une vingtaine d'année, bien que des confusions existent avec d'autres ligneux (pins, genévriers), heureusement de faible effectif dans la zone d'étude.

Les buissons de buis de taille inférieure à 60 cm, et donc les individus de buis de moins de 30 ans environ, ne sont pas identifiables par cette méthode.

4.2 Estimation de l'embroussaillage par le buis en 1989

La densité d'embroussaillage par le buis varie suivant les fenêtres de 0% à 17% (Fig.5). On constate une importante variabilité locale, entre fenêtres proches, mais également au sein d'une même fenêtre, c'est-à-dire entre parcelles d'usage connexes. Par exemple, pour la fenêtre du Moulin, la parcelle d'usage 1 (Fig.3(b), page 12) a une densité d'embroussaillage nettement supérieure à la parcelle d'usage 2.

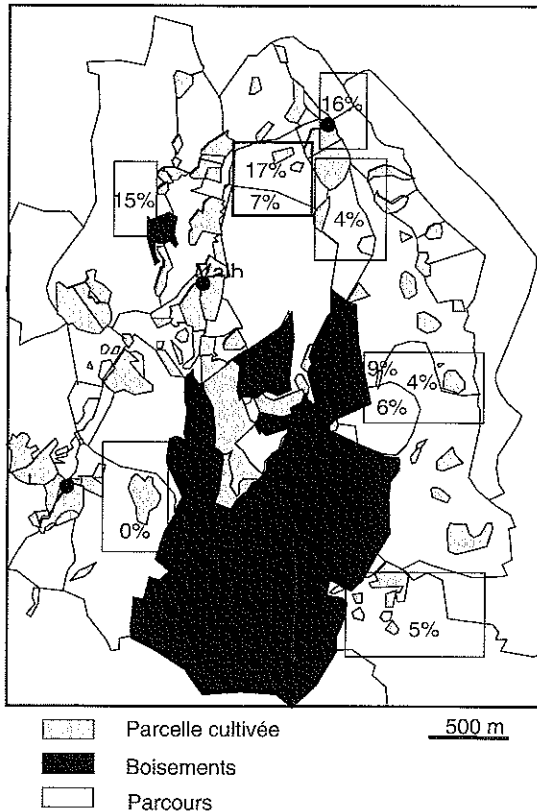


Figure 5 : Densité de l'embroussailement par le buis en 1989 dans les sept fenêtres étudiées, exprimée en pourcentage de recouvrement. Pour deux fenêtres où cette mesure était très hétérogène, cette densité a été calculée par parcelle d'usage. La fenêtre du Moulin, qui sert d'exemple dans cet article, est signalée par un trait plus épais.

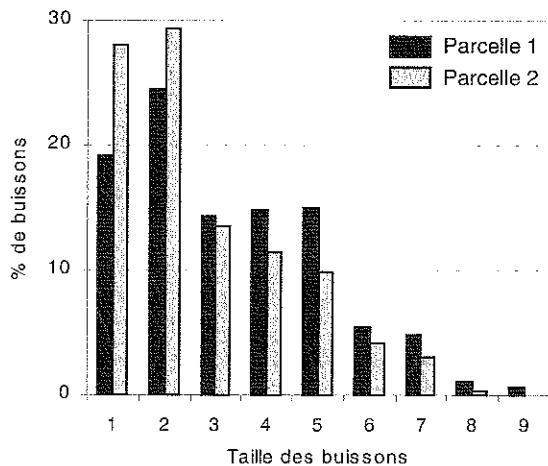


Figure 6 : Proportion du nombre de buissons de buis identifiés sur la photographie de 1989 par classe de taille. Détail par parcelle. (Voir Fig.3(b) pour la localisation des parcelles 1 et 2 dans la fenêtre du Moulin). Les classes de taille notées de 1 à 9 correspondent aux tailles de buissons en pixels suivantes : 1, 2 à 5, 6 à 10, 11 à 20, 21 à 50, 51 à 100, 101 à 250, 251 à 500, >500 pixels.

La taille des buissons est également très variable puisqu'on trouve des buissons constitués d'un à deux pixels à des buissons de plus d'une dizaine de m², soit plus d'une centaine de pixels.

La taille des buissons peut être utilisée comme indicatrice de différences dans la progression du buis.

Dans la fenêtre du Moulin, on constate par exemple que la parcelle 1, qui a la densité d'embroussailement la plus importante, présente une proportion moindre de petits buissons, et une proportion supérieure de gros buissons, en comparaison avec la parcelle 2. (Fig.3(b), page 12 et Fig.6) Ces résultats suggèrent une dynamique d'embroussailement passée importante pour la parcelle 1, qui explique sa densité d'embroussailement actuelle, et à l'inverse une dynamique d'embroussailement plus récente pour la parcelle 2.

4.3 Mesures de la progression du buis

La comparaison des photographies aériennes de 1948 et de 1989 permet également de percevoir des différences dans la progression du buis (Fig.3(c), p. 12).

Dans la fenêtre du Moulin, on constate que l'embroussailement par le buis semble plus ancien dans la parcelle 1 que dans la parcelle 2, puisqu'une majorité de buissons sont identifiés dès 1948 (Tab.3). Ces résultats suggèrent encore une fois une dynamique d'embroussailement passée importante pour la parcelle 1, qui explique sa densité d'embroussailement actuelle, et une dynamique d'embroussailement plus récente pour la parcelle 2.

Surface classée en buis	Parcelle 1	Parcelle 2	Total
Dès 1948	80%	62%	77%
Seulement 1989	20%	38%	23%

Tableau 3 : Proportion des surfaces identifiées comme du buis en 1989 suivant leur date d'identification. Détail par parcelle d'usage et total pour la fenêtre. (Voir Fig.3(c), pour la localisation des parcelles 1 et 2 dans la fenêtre).

5. Discussion

La reconnaissance du buis sur les photographies aériennes numérisées dépend en grande partie de leur échelle et de leur type d'émulsion. Elle est correcte sur la photographie aérienne IRC de 1989 au 1:17000, plus difficile sur la photographie aérienne panchromatique de 1948, au 1:25000.

L'estimation qu'il a été possible de faire de l'embroussailement par le buis, et de sa progression dépendaient nettement des caractéristiques des photographies. La taille des pixels après numérisation détermine la taille des buissons des buis observables, et partant l'âge de la dynamique que l'on observe. La méthode comparative de classification utilisée pour évaluer la progression de buis entre la photographie de 1948 et celle de 1989 conduit à une sous-estimation de cette progression.

Néanmoins, la numérisation de photographies aériennes présente plusieurs avantages par rapport à la photo-interprétation. Tout d'abord, elle permet de

travailler à une résolution plus fine, plus proche des observations de terrain, ce qui facilite les procédures de validations des classifications. Elle permet également de coupler plusieurs mesures d'embroussaillage, densité en surface, mais également taille des buissons etc. ; mesures plus facilement reliables au processus même de progression des ligneux. L'exemple développé dans ce texte montre que la densité d'embroussaillage et les indicateurs de sa progression de l'embroussaillage apportent des informations complémentaires.

Références

Bonn F. & Rochon G. (1993) *Précis de Télédétection, Volume 1, Principes et Méthodes*, Presses de l'Université de Québec/AUPELF, 485 p.

Cohen M. & Hotyat M. (1995) Embroussaillage et boisement sur le Causse Méjan entre 1965 et 1992 : une approche par photo-interprétation diachronique, in : *Grands Causses : Nouveaux Enjeux, Nouveaux Regards, en Hommage à Paul Marres*, Editions Causses-Cévennes, Millau, pp. 113-127.

Cohen M. & Lardon S. (1996) *Usages des sols, pratiques d'éleveurs, représentations de la nature et dynamique des milieux et des ressources*, Rapport de Recherches, Programme Environnement du CNRS, Paris, 213 p.

Congalton, R.G. (1991) A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data, *Remote Sensing of Environment*, vol.37, pp. 35-46.

Koechlin B. (1980) *Etude de la dissémination du buis (Buxus sempervirens) dans un parcellaire abandonné*, Mémoire de DEA d'Ecologie Terrestre de l'Université de Montpellier, 47 p.

Osty P.L. & Auricoste C. (1989) *Une image des élevages du Causse : évolutions récentes (1975-1983) et questions pour l'avenir*, Annales du Parc National des Cévennes, Florac, n°4, pp. 15-54.

Rousset O. (1995) *L'envahissement des parcours du Larzac par les ligneux. Etude de la dissémination et de l'installation du buis (Buxus sempervirens L.)*, Mémoire de DEA Evolution et Ecologie de l'Université Montpellier II, 24 p.

Rousset O. (1998) *Impact des pratiques pastorales " article 19 " sur la dynamique d'enfrichement des milieux caussenards*, compte rendu de l'action de recherche appliquée, 20 p.

Rousset O., Chadoeuf J., Monestiez P., Osty P.L. & Lepar J. (2000) Embroussaillage des parcours et pratiques pastorales dans les montagnes sèches du sud de la France, Causse-Méjan (Lozère). I. La régénération du buis, processus biologiques et patrons locaux de répartition spatiale, in : *Organisation spatiale et conduite des couverts cultivés : EcoSpace*, Editions INRA, Paris (à paraître).

Woodcock C.E. & Strahler A.H. (1987) The factor of scale in remote sensing, *Remote Sensing of Environment*, 2, pp.311-332.