

CARTOGRAPHIE ET SUIVI DU DÉPÉRISSEMENT DE LA SAPINIÈRE AUDOISE À PARTIR DE PLUSIEURS IMAGES SPOT ET THEMATIC MAPPER

par Gilles SELLERON

CIMA, CNRS-GSTST - Toulouse France

Résumé

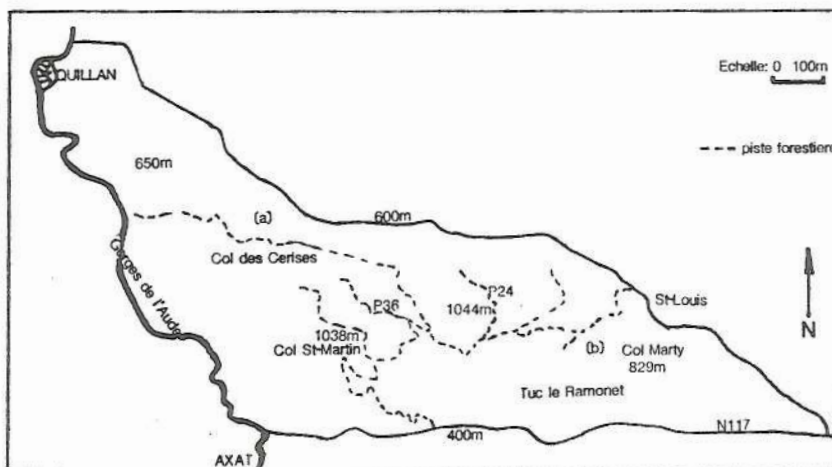
La détection, la datation et le suivi régulier du dépérissement aéroloire de la sapinière audoise en moyenne montagne pyrénéenne peuvent être assurés par l'acquisition d'une séquence d'images Spot et Landsat-T.M. Les résolutions spatiales de ces satellites autorisent une analyse de ce phénomène à grande échelle et des cartographies multiscalaires (de 1/30 à 1/15 000) dont le contenu actualisé pourrait être utile aux gestionnaires forestiers. De plus, la superposition de deux à trois images Spot, à des dates choisies, a pour effet d'améliorer les discriminations spectrales entre les formations forestières.

◆ La Forêt des Fanges, le dépérissement, les images

• Site d'étude

La région de Quillan dans l'Aude constitue l'un des sites expérimentaux pour conduire une recherche sur la détection par satellite du dépérissement forestier pyrénéen.

Le massif des Fanges, situé dans les Corbières à l'Est de la ville de Quillan, s'étend sur 12 km d'Ouest en Est (des Gorges de l'Aude à la dépression de St. Louis) et 4,5 km du Nord au Sud.



Le relief de moyenne montagne se présente sous la forme d'un vaste anticlinal atteignant 1 000 m d'altitude, incliné régulièrement vers l'Est et encadré de deux versants majeurs au Nord et au Sud. La dénivellation totale est de 600 m.

L'ensemble est au contact de plusieurs influences climatiques: plus méditerranéenne à l'Est, plus océanique à l'Ouest; le tout variant en fonction du degré altitudinal.

Fig. 1 : Localisation du Massif des Fanges (Aude)

Avec ses 1 144 ha, la Forêt Domaniale des Fanges occupe le replat sommital de l'anticlinal. La répartition des formations végétales est conforme au schéma climatique avec un gradient altitudinal et Ouest-Est (de la futaie de hêtre au maquis de chêne-vert; du chêne pubescent sur versant Sud à la hêtraie humide du versant Nord).

Quand au sapin, associé ou non à la hêtraie, il couvre l'essentiel du plateau d'altitude. Les peuplements s'échelonnent du semi à la vieille fûtaie plus que centenaire.

On notera également la présence du pin sylvestre couvrant d'assez larges superficies à l'Ouest du massif, situé le plus souvent sur les escarpements rocheux.

• Le dépérissement sur le massif des Fanges

La sapinière de la chaîne pyrénéenne connaît depuis quelques années un phénomène de dépérissement.

D'après les gestionnaires forestiers des Fanges, ce dépérissement devient très préoccupant puisque le volume de bois correspond à augmenté dans d'énormes proportions comme l'indique ces quelques chiffres:

Périodes:

1957-1967: 1 000 m3 extraits
 1976-1983: 2 000 m3 extraits
 1983-1986: 8 000 m3 extraits
 dont 1986: 7 200 m3 extraits

Le nombre d'arbre atteints et exploités en 1986 est de 3 906 alors qu'il n'était que de 801 en 1982.

Les sapins sont touchés à des degrés divers, allant du simple jaunissement des aiguilles sur certaines branches jusqu'à la mort définitive de l'arbre.

Les zones affectées sont également variables, plus ou moins étendues et de formes ponctuelles ou concentrées de type aréolaire.

Quant à l'origine écologique du dépérissement actuel, elle est encore mal connue – en cours d'étude –. Elle apparaît d'ores et déjà complexe: fruit d'une combinaison de multiples facteurs (orientation, pente, altitude, ..., sécheresses consécutives, insectes soucorticoles, ..., fragilité et carence des arbres...).

Il revenait à la télédétection de pouvoir détecter ce phénomène, le cartographier et suivre son évolution dans l'espace et dans le temps.

• Acquisitions de séquences d'images Spot et T.M.

Phénomène évolutif par définition, connu depuis 1986 sur le terrain par les gestionnaires forestiers, des écologues et des géographes, une planification annuelle d'enregistrements satellitaires a été décidée dès 1987.

Dates	Spectres	Niveaux	Orientations
27.06.86	P	2	1.9. E
17.07.86	XS	2	20.8 E
13.08.86	XS	2	3 W
04.10.86	XS	S2	3.7 W
27.07.87	XS	1A	8.2 E
07.09.87	XS	1B	2.2 W
19.06.88	XS	1B	1.9 W
05.09.88	XS	1A	2.2 W
30.08.89	XS	1B	9.4 W

Le satellite Spot a été programmé de 1987 à 1989 sur une période couvrant les mois de mai à septembre. Les capacités amont et aval de la chaîne Spot ont également été testées, notamment par l'acquisition de scènes verticales et/ou obliques, de scènes radiométriquement et/ou géométriquement corrigés comme l'indique le tableau 1. Quatre scènes Spot avaient préalablement été acquises sur le même site en 1986.

Tableau 1 : Bilan des acquisitions Spot sur le massif des Fanges

Rétrospectivement, afin de mieux dater l'apparition du phénomène, une scène Landsat-TM du 28 juillet 1984 a été acquise; cette scène a fait l'objet d'une correction géométrique en coordonnée Lambert.

• Définitions et limites du sujet

Sans vouloir donner de résultats dès à présent, il apparaît souhaitable d'apporter aux lecteurs quelques définitions afin de mieux cerner cette recherche.

Précisons d'emblée que le dépérissement sous une forme ponctuelle ou lâche n'influence aucunement la radiométrie du pixel Spot. Il y a donc une inadéquation entre la résolution spatiale de Spot et cette forme particulière de dépérissement. Il en est de même pour tout arbre trop partiellement atteint.

Ceci indique les limites thématiques de l'étude et minore, en quelque sorte, les résultats qui seront obtenus.

Seul, le dépérissement qui affecte un groupe de sapins suffisamment rapprochés les uns des autres, sera perceptible, eu égard aux capacités satellitaires.

De plus, la notion d'«arbre dépérissant», qui souligne implicitement différents degrés d'atteinte, ne peut, ici, qu'être restreinte: elle correspond aux arbres entièrement jaunés – ou presque – stade ultime avant la mort de l'arbre.

De surcroît, la détection des sapins dépérissants ne saurait être envisagée en soit: lui est associée la recherche d'une meilleure discrimination spectrale des diverses formations végétales présentes.

◆ La détection du dépérissement

Les premières images Spot de juillet et août 1986 servent tout d'abord de point de référence pour faire un état des lieux et pour élaborer une méthode de détection spectrale de ce phénomène.

Le traitement d'images et l'analyse radiométrique sont effectués sur écran numérique à l'échelle de 1/30 000 en pleine résolution.

En l'état actuel des recherches, la méthode de détection consiste à afficher le canal PIR et deux néo-canaux sur les trois plans couleur:

Rouge: X S2 transformé en fréquence

Vert: XS3 linéarisé

Bleu: XS2 multiseuillés (bornes mini-maxi étroites correspondant aux valeurs spectrales des sapins contaminés sur des parcelles-échantillons)

Sur l'image classique IRC, les zones dépérissantes apparaissent en vert foncé, ce qui, spectralement, les rapprochent tantôt des callunes tantôt des pins sylvestres en fonction de l'exposition de ces espèces. Le canal XS2 contient l'essentiel de l'information spectrale du dépérissement – absorption dans le canal rouge – même s'il n'existe pas, à proprement parlé, une signature spectrale univoque du dépérissement. Les valeurs radiométriques brutes des sapins contaminés tendent toujours à se confondre avec les deux espèces déjà citées, et ce, quelle que soit la date traitée.

Résultats: Fig. 2: Dépérissement par néo-canaux de l'image Spot du 13/8/1986 – Patrie ouest des Fanges (1:15 000 à l'écran).

La procédure décrite ci-dessus permet de mieux mettre en valeur le dépérissement des sapins (orangé-rouge, indiqué par des flèches notamment au Nord du Col des Cerises). Sans supprimer la totalité des confusions spectrales monotemporelles, elle les réduit sensiblement: la confusion ne subsiste, par endroit, qu'avec les pins sylvestres. L'analyse diachronique, seule, peut pallier cet inconvénient en autorisant un suivi de la contamination – changements radiométriques – en opposition avec la stabilité spectrale des pins.

Ce traitement de l'image du 13 août 1986 permet également la discrimination des coupes récentes (bleu foncé), des coupes anciennes (bleu), des sapins (vert foncé et brun selon l'âge), des hêtraies (vert clair), des arbres feuillus plus xérophiles (jaune), des pins sylvestres (rouge), des affleurements rocheux (bleu, texture granuleuse), des ombres portées linéaires (noir).

• Datation du dépérissement

Sur l'image Spot IRC des Fanges du 17 juillet 1986, les zones dépérissantes perceptible (vert-foncé) – pleine résolution, 1/30 000 à l'écran – sont localisées: (fig. 1)

a) au NW (au Nord du Col des Cerises)

b) à l'Est (du Col Marty au Tuc le Ramonet)

c) sur l'ensemble du rebord Sud du plateau (du Tuc le Ramonet au Col St Martin)

d) au Centre (parcelle ONF n° 36 et 24).

- sous forme de tâches linéaires ou aréolaires quasi continues pour a, b, et d.
- sous forme relativement disséminée mais affectant au moins la moitié de chaque parcelle pour c.

Les sapins isolés ou en trop faible concentration et sur une faille étendue ne sont pas pris en compte par les pixels Spot.

Datation et repérages sont réalisés de deux façons:

La première consiste à juxtaposer à l'écran deux portions d'images (256 lignes x 512 colonnes) et observer visuellement, par interprétation d'images, les changements intervenus.

Ainsi, l'image Landsat-TM du 27 juillet 1984 traduite en IRC et dont la résolution est ramenée à 20 m, est confrontée à l'image Spot de juillet 1986 de niveau 2.

Il s'avère qu'aucun foyer de sapins dépérissants n'apparaît en 1984. Ce constat provisoire sera prochainement vérifié et affiné par le traitement d'une scène Thematic Mapper du 17 septembre 1985, date correspondant à la première année de la première période de sécheresse (1985-1986).

La seconde méthode autorise un repérage immédiat des transformations intervenues entre deux dates.

Les deux images précédentes sont superposées à l'écran, toujours en pleine résolution, avec respectivement les canaux TM4, TM5 sur les plans couleur rouge et vert, puis, le canal XS2 sur le bleu.

Résultats: Fig. 3: datation du dépérissement par superpositions d'images TM 1984 et Spot 1986 et 1987.

Fig. 3 (haut):

Les zones de sapins coupés entre juillet 1984 et juillet 1986 – ou juste avant juillet 86 – apparaissent en violet (soulignée de rouge) alors que les pins sont en bleu marine, le callune en bleu, les sapins en marron, les hêtres en orangé, les chênes pubescents en jaune, les affleurements rocheux en bleu ciel.

Cette méthode de datation – repérage par superposition d'images s'applique et se vérifie également à d'autres dates, par exemple en 1987.

Fig. 3 (bas): ainsi, l'extension des zones de sapins coupés se distingue nettement en superposant sur les plans couleur R, V, B, respectivement les canaux TM4, XS2 de septembre 1987 et TM3.

Les espaces coupés entre juillet 1986 et septembre 1987 ressortent en vert clair et s'opposent aux autres couleurs de l'image.

• Évolution de 1986 à 1989

Pour rendre compte de l'évolution du dépérissement et quantifier les zones atteintes ou coupées, la méthode consiste à l'afficher à l'écran tour à tour deux images (256 lignes x 512 colonnes) dans l'ordre chronologique parmi les huit scènes acquises sur cette période. L'interprétation visuelle des images – en pleine résolution et linéarisées – permet de détecter l'extension graduelle des coupes de sapins dépérissants. Des surcharges graphiques entourant ces zones autorisent un meilleur repérage, une plus grande lisibilité des restitutions cartographiques et une quantification des résultats.

Résultats entre juillet 1986 et septembre 1987: la contamination s'est étendue aux parcelles voisines des premiers secteurs atteints (zones a et b – fig. 1). Les forestiers ont effectué des coupes rases sur ces espaces contaminés (perceptibles avec Spot) et des coupes partielles ou ponctuelles (sapins isolés ou en très petits groupes) non identifiables avec Spot.

Le tableau 2 retrace l'évolution des coupes dues au dépérissement à trois dates clés.

Lieux/Dates Spot	7/1986	9/1987	6/1988	8/1989	Total
Zone a (NW)	8	48	-	1,8	57,8
Centre	2,9	-	-	-	2,9
Zone b (Est)	1,7	18,5	-	-	20,2
Piste forestière	-	-	2,11 km	-	-
Total	12,6	66,5	-	1,8	80,9

Tableau 2 : Evolution des coupes de sapins dépérissants sur les Fanges de 1986 à 1989, en ha.

Entre septembre 1987 et août 1989 (fig. 4)

Le dépérissement est enrayé, aucune contagion nouvelle n'est apparue en tout point du massif forestier, même sur les quatre parcelles ONF mis à notre disposition pour cette expérience et donc laissées sans intervention humaine depuis 1987.

Les seuls changements visibles sur image Spot (fig. 4) sont de nature qualitative et dus à l'impact de l'homme sur la forêt:

- reprise de la zone Est (b) pour de nouvelles plantations (passage sur images de la couleur blanche – coupe récente – au bleu – enlèvement des andains, triturage du sol –)
- création d'une piste de débardage (blanc) de 2,11 km au milieu des chênes pubescents du versant Sud (orangé) conduisant à la zone b; piste réalisée entre septembre 1987 et juin 1988
- une coupe rase dans la hêtraie de 13 ha conforme au plan de gestion (située au Sud-Ouest)

De juillet 1986 à août 1989 (fig. 5)

On peut également résumer l'ensemble de ces transformations progressives du paysage forestier par une seule cartographie (à 1/73 000 à l'écran) en affichant les huit imagettes échantillonnées un point sur deux; chaque transformation étant soulignée par un entourage de couleur pour assurer une lecture synoptique et une aide aux décideurs de la filière-bois.

◆ Conclusion

Le dépérissement du sapin tel qu'il a été décrit et les coupes forestières qui en résultent, peuvent être détectés, cartographiés et actualisés à l'aide de l'outil satellitaire indépendamment de la géométrie des images et même dans un milieu contraignant de moyenne montagne.

Ces premiers résultats encourageants méritent d'être approfondis vers la détection précoce du dépérissement, ce qui n'a «malheureusement» pu être entrepris compte tenu de la régression du phénomène.

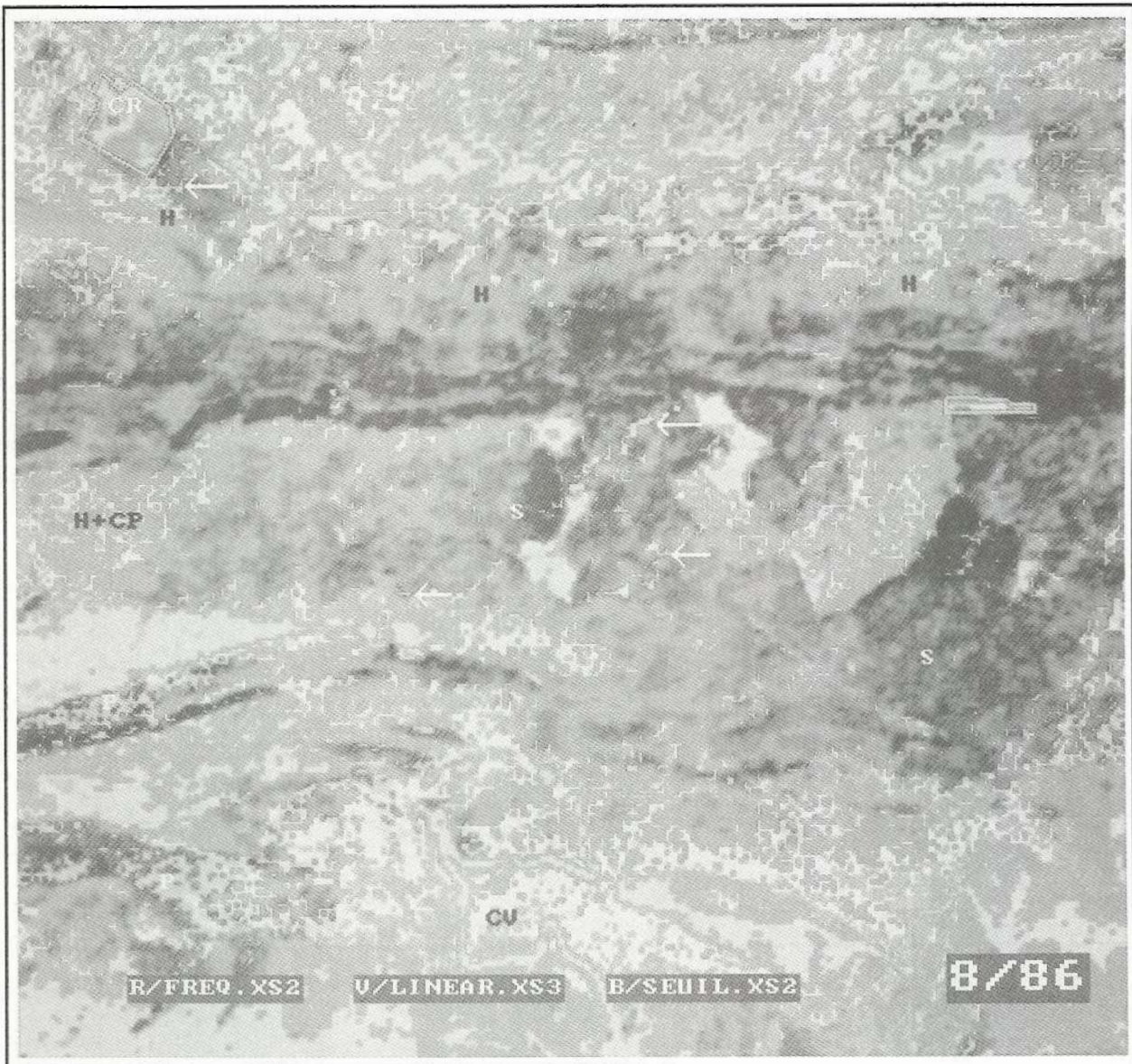


Fig.2

Deperissement par neo-xanaux Spot du
 13/8/86. Ouest Massif des Fanges.

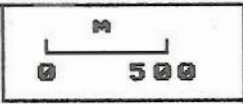
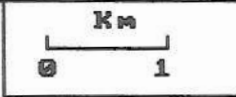




Fig.3

Datation du deperissement par superposition d'images TM 1984, Spot 1986-87.



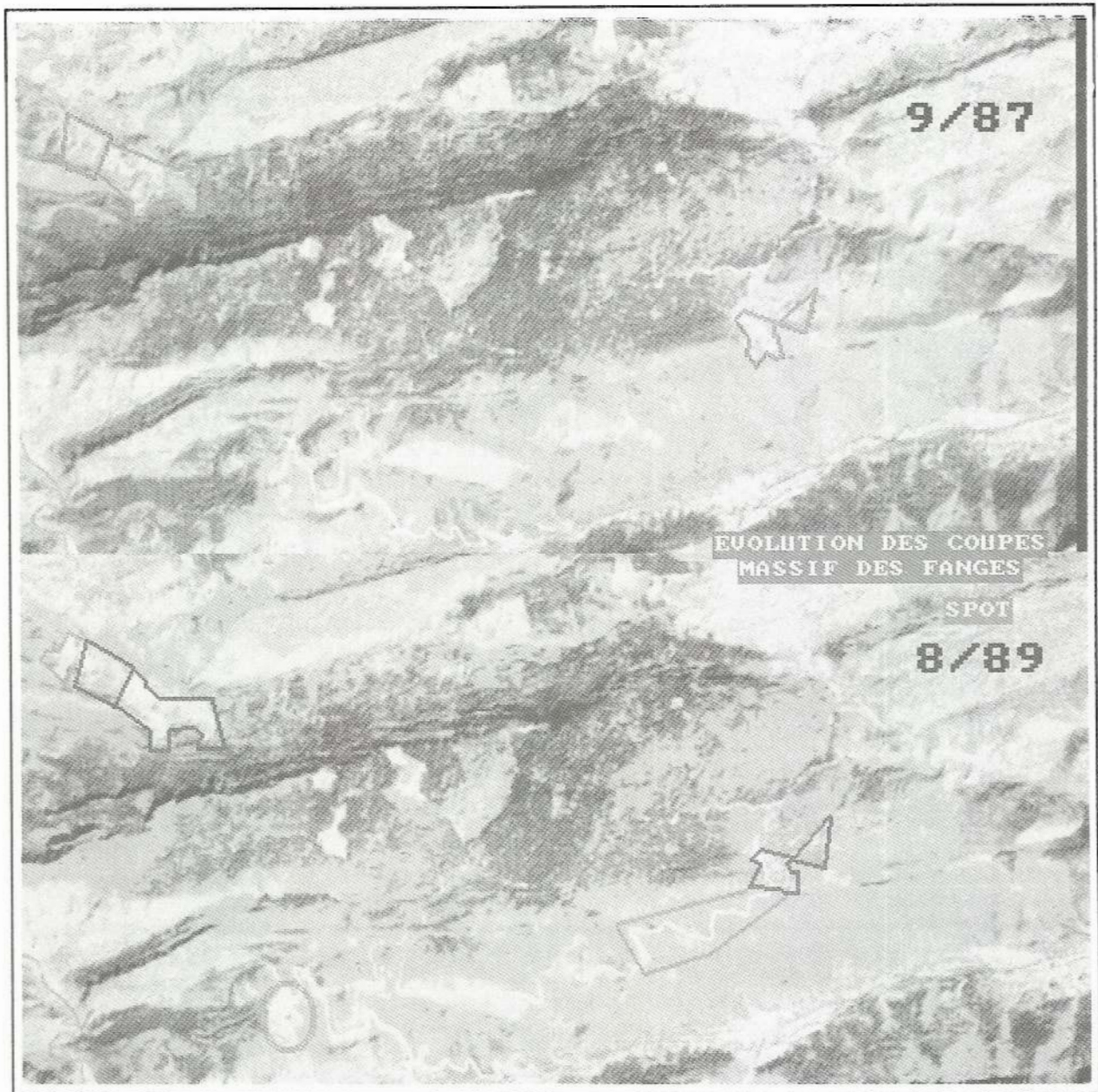


Fig.4

Evolution du deperissement entre
septembre 1987 et aout 1989.

Km
0 1

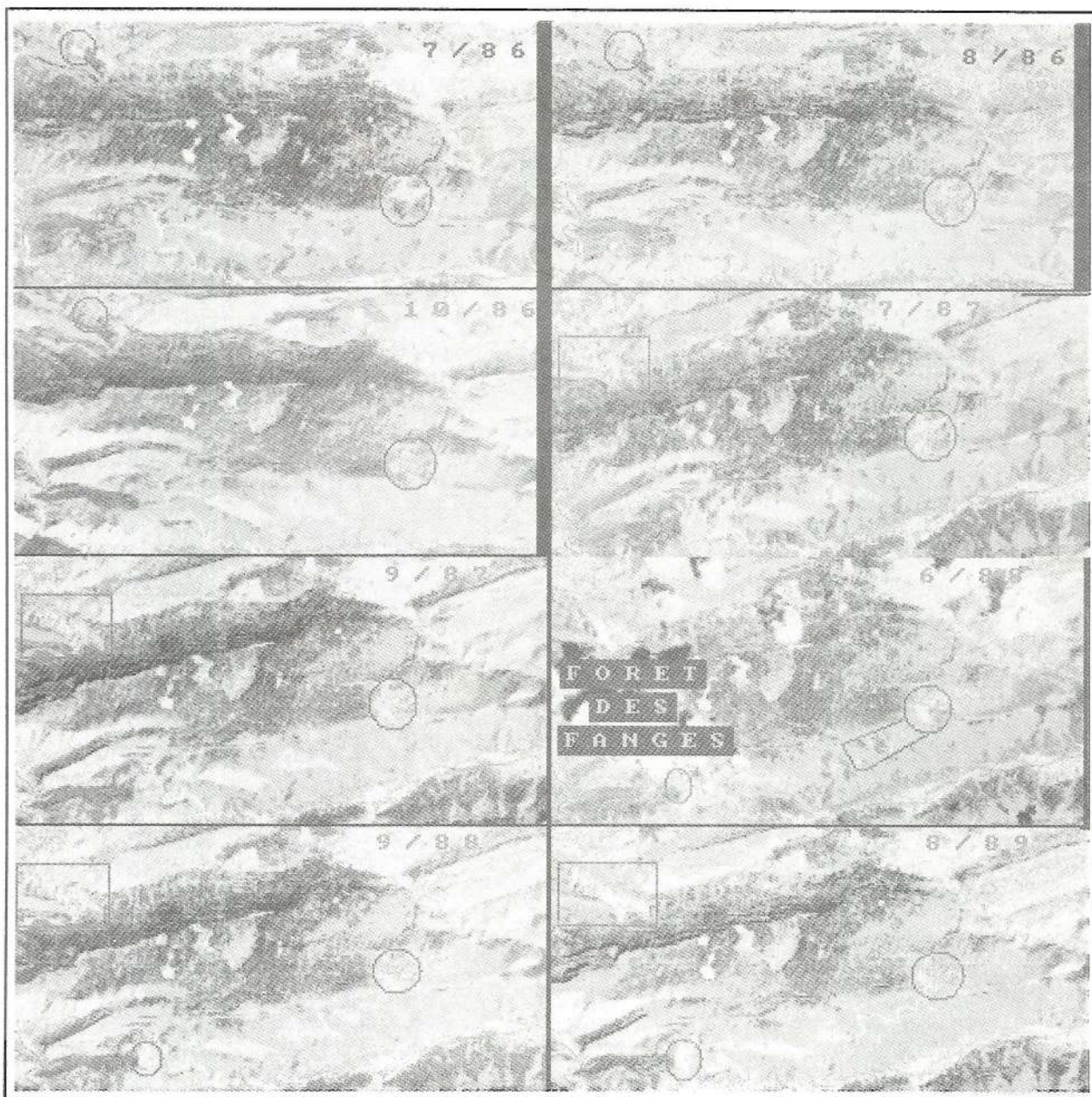


Fig.5

Evolution du déperissement et des coupes en 1986, 1987, 1988 et 1989.

Km
0 2

Une photocopie couleur des documents d'origine peut être obtenue sur demande auprès du Comité Français de Cartographie