

L'APPORT de NOUVELLES TECHNIQUES en TELEDETECTION  
dans l'étude de L'EVOLUTION d'une zone incendiée en MILIEU  
FORESTIER ; PAIMPONT.

RAPPORT DE D.E.A

Directeur de Recherche ; J. MOUNIER

OCTOBRE 1985

PLAN

INTRODUCTION

I. ASPECTS GENERAUX

- a) Rappel
- b) Préliminaires à notre étude
- c) Originalité de sujet

II. PRINCIPE GENERAUX DE LA METHODOLOGIE, APPLIQUES à la FORÊT DE PAIMPONT

- a) essai de numérisation des photographies aériennes
- b) la télédétection et LANDSAT en forêt de PAIMPONT

III. LES TRAITEMENTS NUMERIQUES

- a) les histogrammes et étalements de dynamiques
- b) opérations de filtrage
- c) les indices de végétation

IV. LES RESULTATS

- a) l'évolution – comparaison simultanée
- b) superposition des 2 images
- c) l'évaluation des surfaces
- d) les équidensités colorées

CONCLUSION

BIBLIOGRAPHIE

## INTRODUCTION

S'éloigner de la Terre grâce aux satellites pour mieux l'observer est la grande découverte des années 1960-1970. Ainsi est né le mot télédétection construit sur son modèle américain « Remote sensing ». Par télédétection, détection à distance, on entend « un ensemble de techniques mises en œuvre à partir d'avion, de satellites, et qui ont pour but d'étudier, soit la surface de la Terre, soit l'atmosphère, en utilisant les propriétés des ondes électromagnétiques émises, réfléchies ou diffractées par les différents corps observés (A. FONTANEL, M. GUY 1973).

Les nouvelles techniques qui ont été développées ont élargi les possibilités de la photographie ; la gamme d'onde intéressant la télédétection étant beaucoup plus large que la gamme visible, et allant de l'ultraviolet ( $1,3 \mu\text{m}$ ) jusqu'aux ondes du radar.

Ces techniques multispectrales permettent de comparer la réponse d'un objet dans les différentes bandes de longueur d'ondes. Actuellement on s'oriente vers les méthodes automatiques ou traitement numérique. Ils reposent sur la capacité de l'informatique, à corriger géométriquement et à interpréter les images spatiales : celles-ci étant fournies directement sous forme de points élémentaires ou pixels.

Ainsi, les traitements qui sont apparus au début comme des aides à l'interprétation sont devenus essentiels à notre étude. C'est dans cette direction que ce travail a été orienté, l'informatique venant appuyer et prolonger les méthodes optiques d'analyse.

Dans cette perspective, notre travail tend à utiliser l'apport des satellites en mettant au point un processus technique et notre propos sera, utilisant comme données les bandes magnétiques Landsat fournies par la NASA, de suivre l'évolution d'une zone incendiée, entre deux dates 1976 et 1984 par une approche différente de la photo interprétation en elle-même.

Notre démarche sera donc d'apprécier ces nouveaux moyens de télédétection utilisés afin de quantifier et d'analyser le suivi de l'incendie pour permettre une cartographie de la zone concernée, ceci par des traitements numériques et amélioration d'image.

## I) ASPECTS GENERAUX

### a) *Rappel*

Depuis 1976, la forêt de Paimpont est sujette à d'importants et nombreux incendies (1976-1984) – autour du Val sans Retour dans un milieu conquis par la lande et essentiellement peuplé de pins – qu'il n'est toutefois pas toujours possible de localiser ni de quantifier avec précision. Seuls les rapports de gendarmerie transmis aux Directions Départementales de l'Agriculture sont établies mais ils ne contiennent pas de données précises (cf cartes ci-jointes des incendies de 1976 et 1984), et ne permettent pas de suivre une évolution exacte, dans la mesure où la cartographie est établie sur le terrain sans point de repère précis.

Jusqu'à aujourd'hui, les photographies aériennes demeurent le seul moyen utilisé pour le suivi évolutif de cette région de Paimpont. Bien que parfois contesté, elles restent le seul outil qui permette un travail sur une vaste surface. Ici elles ont été la base de notre étude évolutive, restant le seul document fiable sur le contenu végétatif à un moment précis, 1976 et 1984. Le seul problème majeur, toutefois était l'absence de contrôle terrain pour 1976 et les mauvaises qualités des photographies prises non pas par l'IGN mais par une société privée : la SETAP.

### b) *Préliminaires à notre étude.*

Une cartographie réalisée à chaque date présente :

- Un carton végétatif notifiant la localisation des incendies. Les secteurs brûlés ont été cartographiés d'après photographies aériennes IGN pour 1976. Pour 1984, un contrôle terrain effectué un mois après l'incendie ainsi que de simples photographies aériennes (cf ci-jointes) ont servi à l'élaboration de la carte végétative.

L'interprétation des photographies aériennes a été effectuée à l'aide d'un stéréoscope de poche puis de l'avioprêt avec tube de discussion, appareil permettant d'avoir une vue stéréoscopique et un zoom variant de 0,3 à 12,5. Cet appareil facilite l'interprétation des photographies aériennes d'autant plus que deux personnes peuvent y accéder confrontant ainsi leurs résultats. A l'aide de son zoom, nous avons pu déterminer 20 classes ou unités de végétation sur une surface relativement restreinte, classes qui n'auraient pu être établies sans le concours de la photographie aérienne quelques années plus tard, faute de contrôle terrain.

Les photographies aériennes présentent toutefois quelques défauts. Aussi le stéréo-transfert-scope nous a permis d'effectuer les corrections géométriques et par conséquent d'avoir des documents superposables. Il

permet également de superposer deux photographies aériennes d'une même année ou d'années différentes, rendant donc possible le suivi évolutif. Pour notre étude, cette superposition s'est révélé sans résultats, la photographie de 1976 présentant trop de variations géométriques, n'ayant pas été prise par l'IGN.

Pour de meilleurs résultats, il serait donc nécessaire de superposer une photographie aérienne couleur (infrarouge par exemple) et une noire et blanc (panchromatique) afin de pouvoir distinguer très nettement les différences.

c) *Originalité de notre sujet.*

L'intérêt de notre sujet reste l'apport de nouvelles techniques en télédétection, sujet quelque peu traité en région méditerranéenne par contre inexploité en forêt de Paimpont.

Ces mêmes photographies aériennes ont été utilisées par Françoise FORGEARD afin d'établir une équidensité colorée dans le secteur de la butte de Tiot en forêt de Paimpont. Cette équidensité est une sorte de lissage puisqu'elle regroupe des nuances de grisés en classe. Mais ce document doit être utilisé avec beaucoup de précautions. C'est plus une cartographie après interprétation qu'un moyen d'interprétation en soi.

Méthode à la mode il y a quelques années, très contestée aujourd'hui, l'équidensité permet une meilleure lisibilité mais n'apporte pas d'éléments nouveaux. Ces documents peuvent-ils être suppléés par d'autres moyens ?

De plus en plus la photographie aérienne est couplée avec l'image satellite.

Diverses études ont déjà été menées à partir d'images satellites, notamment en région méditerranéenne, où le phénomène incendie demeure une réalité. Pierre BAZIRE, Chef de Service de l'Inventaire Forestier National, Alexandre Jacques SEIGUE, Ingénieur Général du GREF et André HUSSON, chargé d'étude à l'OPIT (Opération Pilote Interministérielle en Télédétection) ont testé ces méthodes. L'objectif de l'étude « Télédétection et Feux de Forêt en Méditerranée » par André HUSSON a montré l'évaluation des possibilités offertes par l'utilisation des images du satellite LANDSAT pour une meilleure appréhension des incendies en forêt en région méditerranéenne, et les comparaisons des données spatiales avec des informations acquises selon une méthode plus conventionnelle. Les résultats de cette étude confirment que « la télédétection ne se pose pas en concurrente des méthodes « traditionnelles » d'acquisition de données mais en complément, qu'elle apporte des indications qu'on ne peut obtenir que difficilement, moins sûrement et plus lentement que d'autres méthodes, et qu'elle constitue, pour certains cas la seule information dont on dispose sur certains feux » (A. HUSSON Cahier de l'OPIT n°3)

De nombreuses autres méthodes ont été réalisées par télédétection, notamment pour les inventaires forestiers, en Amérique principalement - Raynald LETARTE a utilisé cette méthode sur le territoire québécois, James A. BRASS à Santa Cruz Country en Californie – mais également en France pour les massifs forestiers de Haguenau, Fenestrang des Landes, et bien d'autres forêts. Cependant, avantages et inconvénients apparaissent inévitablement :

- Le passage du satellite, à intervalle régulier : un caractère répétitif qui va permettre de suivre l'évolution d'un phénomène dans le temps et dans l'espace.
- L'altitude de « vol » permet une grande extension spatiale de chaque scène et une vue synthétique.
- L'acquisition des données est rapide.

Autant d'avantage qu'il faut toutefois prendre avec réserves sans en oublier les inconvénients, inconvénients parfois inhérents à la télédétection elle-même.

- On ne choisit ni le jour, ni l'heure du passage, pas plus que l'altitude.

D'autres inconvénients sont liés au lieu de passage :

- L'heure de passage donnera souvent un éclairage oblique plus ou moins accentués, ce qui pourra aggraver l'inconvénient dû aux ombres portées : cas des futaies claires par exemple, des bordures de ruisseau, des lisières de parcelles.

- La couverture nuageuse importante limite le nombre de scènes utilisables (ex : masse nuageuse sur l'image de 1984). On ne peut cependant souhaiter que le retour d'une année aussi exceptionnelle que 1976, la seule qui ait pratiquement une couverture totale sans nuage (voir la très bonne qualité d'image de la forêt de Paimpont de 1976)

- Enfin la résolution du sol des satellites actuels ne convient pas aux structures foncières de l'agriculture et de la sylviculture française trop morcelées et hétérogènes. Ici, Landsat avec sa résolution (54m x 74) n'apporte pas tous les éléments nécessaires à notre étude.

Avantages, inconvénients, qu'en est-il exactement dans le milieu forestier de la forêt de Paimpont ?

C'est la question que nous allons nous poser tout au long de cette seconde partie en essayant de l'adapter sur un même lieu : le milieu forestier.

## II) PRIINCIPES GENERAUX DE LA METHODOLOGIE APPLIQUES A LA FORÊT DE PAIMPONT

### a) *Essai de numérisation des photographies aériennes*

Avant d'aborder toute démarche en télédétection, une numérisation des photographies aériennes de 1976 et 1984 a été effectuée.

La multitude des grisés contenus sur l'image rend difficile l'interprétation, aussi divers traitements s'ont été réalisés sur chaque vue.

Chaque image a été visualisée dans les trois tables d'entrée couleur ET1, ET2, ET3, correspondant respectivement au rouge, vert, bleu.

Pour la photographie de 1976, la visualisation de chaque ETR ne donne aucune information supplémentaire. Nous avons alors eu recours à la combinaison de ces voies couleurs.

La meilleure visualisation reste la combinaison des voies couleurs ET1 et ET3, donnant une teinte violacée, faisant apparaître nettement le incendies.

Par contre pour l'image de 1984, seule l'image panchromatique, visualisée en noire et blanc a été utilisée, toute autre combinaison des voies couleurs se révélant sans résultat probant.

Divers traitements ont été testés à partir de cette numérisation. La recherche des valeurs de pixels peu concluante, nous avons procédé à l'étalement des valeurs des histogrammes compris entre 0 et 255.

A partir de cette numérisation, l'étalement nous a apporté de meilleurs résultats.

Sur la photographie de 1976, après avoir individualisé la forêt des cultures, une localisation très précise des incendies est apparue. Le programme d'étalement a permis d'étaler des valeurs comprises entre 169 et 173 – Correspondant à l'incendie et une teinte particulière.

Un étalement a également été effectué pour la photographie de 1984. A la différence du document de 1976, les incendies n'apparaissent pas nettement. Par contre, une trace des incendies de 1976 apparaît, faisant resurgir une végétation rase, bien individualisée par opposition à la végétation saine.

La seule information véritable issue de cette numérisation à partir de la photographie de 1984 demeure l'opposition forêt/culture et plus précisément lande, végétation rase/taillis, végétation haute.

Chaque thème ainsi répertorié est affecté d'une coloration particulière créant ainsi une équidensité.

Il n'a pas été possible de superposer ces deux photographies aériennes après numérisation, de trop grandes déformations les opposant. C'est pourtant cette démarche qui aurait été la plus performante, la photographie aérienne constituant une source sûre établie à un moment donné.

Si cette numérisation permet de localiser les incendies, il faut toutefois utiliser cet outil avec réserve.

La démarche utilisée est quasi identique à celle des équidensités colorées.

Ce n'est pas un moyen d'identification mais une amélioration de l'image, la numérisation n'étant qu'une coloration de cette image.

#### *b) La télédétection et Landsat en forêt de Paimpont.*

Ce terme de télédétection est aujourd'hui utilisé pour les méthodes d'acquisition de l'information à distance, ces méthodes s'appuyant uniquement sur le rayonnement électromagnétique.

L'interprétation des données de télédétection repose sur l'enregistrement de la réflectance de chaque élément de paysage (pixel). Cette interprétation se fonde sur la notion de signature spectrale : dans des

conditions données, un objet réfléchit une certaine quantité d'énergie : l'enregistrement et la mesure de cette dernière permettent d'identifier l'objet. La multiplication des données recueillies par la télédétection a montré que les signatures spectrales étaient variables dans l'espace et dans le temps, pour un même objet, ce qui multiplie les difficultés d'interprétation.

Que l'on utilise les données de télédétection par des démarches de type photo-interprétation ou par cartographie automatique de données numériques, notre objectif est de reconnaître des unités de paysages sur deux images et de suivre leur évolution. Mais les unités définies par leurs signatures spectrales ne coïncident pas toujours avec les unités pré-établies d'après photo-aériennes. Faut-il alors mettre en cause les techniques d'enregistrement, de traitement ou les relevés recueillis sur le terrain ?

Landsat fournit des images analogiques ou numériques couvrant une zone de 185 km par 185 km enregistrée dans différents créneaux du spectre visible – schématiquement le vert, le rouge et deux proches infra-rouges.

Sur chaque zone élémentaire ou scène, on dispose de 4 images que l'on peut combiner photographiquement ou électroniquement de façon à obtenir une image en fausses couleurs. Les 4 images correspondent aux 4 canaux multispectraux dans le spectre visible et le spectre proche Infra-rouge. (cf photos)

MSS4 de 0,5 à 0,6  $\mu\text{m}$  correspond à la couleur vert/jaune

MSS5 de 0,6 à 0,7  $\mu\text{m}$  correspond à la couleur orange

MSS6 de 0,7 à 0,8  $\mu\text{m}$  correspond à la couleur rouge-Proche infra-rouge

MSS7 de 0,8 à 1,1  $\mu\text{m}$  correspond à la couleur rouge-Infra rouge

La figure suivante montre les domaines spectraux et les longueurs d'onde correspondantes à chaque bande spectrale.

Le MSS4 regroupe un type d'images essentiellement employé pour mesurer l'intensité de la mesure de la lumière solaire réfléchie par la végétation.

Le MSS5 apporte des informations complémentaires du MSS4 notamment en ce qui concerne le couvert végétal.

Le MSS6 met en évidence la réflectance de la végétation, ce qui fait nettement ressortir le contour des forêts, des bois et des landes.

Le MSS7 fournit le contraste entre le couvert végétal et l'eau. Il permet de mieux faire ressortir les détails. Les deux images Landsat disponibles pour notre étude datent du 26 juin 1976 et du 17 août 1984. Elles sont chacune visualisées dans les trois canaux MSS7, MSS5 et MSS4. L'image Landsat est composée de 2256 lignes comportant chacune 3240 points ou pixels, (ceci correspondant également au contenu de la bande magnétique). Lors du déroulement de cette bande, la zone de la forêt de Paimpont est localisée puis zoomée pour une meilleure approche.



Nous montrerons dans la suite de ce rapport comment le système de traitement d'images intervient dans les différentes étapes de réalisation, constituant une nouvelle étape technologique importante : l'utilisation d'une analyse multispectrale à la place de la technique photographique traditionnelle.

La photographie aérienne fait intervenir, nous l'avons vu, différents paramètres (teinte, texture, structure, stéréoscopie).

Avec l'image satellite, pas de stéréoscopie et peu de structures visibles. En fait, seule la teinte est véritablement utilisée et secondairement la texture d'où une insuffisance par rapport à la photographie aérienne.

Mais en contre partie, deux avantages notables apparaissent :

- Traitements sophistiqués en ce qui concerne la teinte.
- Comparaison possible de différentes dates.

Cependant, il ne s'agit pas de remplacer totalement les photographies aériennes : mais dans la plupart des cas, et c'est le notre ici, les données Landsat sont utilisées conjointement aux méthodes classiques.

### III) LES TRAITEMENTS NUMERIQUES

Pour appréhender le paysage, deux types de documents sont donc ici utilisés – une bande magnétique contenant toutes les informations enregistrées lors du passage du satellite Landsat, et regroupant toutes les sources concernant les trois bandes spectrales utilisées. Les canaux vert, rouge, PIR (proche infra-rouge) sont les documents de base de cette étude. Chacun d'eux définit les mesure de luminance spectrale des objets observés lors du vol (mesure allant de 0 à 255).

Les cartes préalablement effectuées par photo-interprétation à partir des photos aériennes. C'est à partir de ces documents que s'effectue le traitement.

Les traitements numériques ont été effectués à chaque date sur les images brutes de 1976 puis sur celle de 1984.

Pour chacune, une composition colorée est obtenue par superposition des valeurs des 3 canaux et en leur affectant une couleur arbitraire. Ici :

- Rouge pour le canal PIR
- Vert pour le canal rouge
- Bleu pour le canal vert,

chaque couleur correspondant à une mémoire image, respectivement PM1, PM2, PM3 (cf les différentes photographies)

Afin de faire ressortir les éléments à caractère végétatif, (culture/ forêt/ incendie) des améliorations d'images ont été effectuées par combinaison des canaux. Ces différentes combinaisons réalisées en 1976 et 1984 ont permis une meilleure individualisation des unités de végétation facilitant la recherche des bornes radiométriques (cf les différentes photographies).

L'une de ces améliorations nous a été d'une grande utilité, les contrastes étant particulièrement marqués. Il s'agit de la superposition du canal 7 (PM1) dans le canal 4 (PM3) :

Les incendies se distinguant de la végétation saine des taillis et des cultures.

Le canal 7 visualisé en rouge sur notre composition colorée est le plus utilisé car il fournit un maximum d'information englobant celles des canaux 4 et 5.

Dans les canaux, les valeurs radiométriques s'étendent entre 0 et 255. Un étalement de la dynamique permettra d'identifier chaque thème étudié, de les visualiser les uns par rapport aux autres et de permettre ainsi une meilleure comparaison avec la courbe théorique de la réflectance d'une feuille verte saine.

Pour les trois autres compositions, il a été aisé de différencier nos 4 thèmes principaux :

- les taillis (teinte très vives),
- les cultures (teinte claire),
- les landes (teinte grise),

- les incendies (teinte foncée).

Mais l'information fournie par ces améliorations n'est pas suffisante pour notre étude, c'est pourquoi, nous avons été conduit à rechercher une méthode de travail complémentaire à l'analyse des images satellitaires.

Le processus a été étudié et mis au point sur le système Triade 80, du centre de télédétection de l'Université de Haute Bretagne. Ce modèle possède un processeur de gestion et de calcul, une unité d'écran dont 3 mémoires images PM1, PM2, PM3 et une mémoire graphique (GM). Le traitement est réalisé à l'aide de ce matériel. A partir des bandes magnétiques, différentes opérations sont effectuées.

Tout d'abord la visualisation de chaque vue sur écran permet de repérer les thèmes à étudier par comparaison à la carte de végétation établie précédemment par cartographie aérienne. Cette phase est suivie de la recherche des bornes radiométriques sur les bandes Landsat de 1976 et 1984.

On peut par traitement informatique éliminer tout les points dont les valeurs radiométriques sont supérieures ou inférieures à un seuil de luminance, ici 120 pour le canal 7, 80 pour le canal 5, 75 pour le canal 4, et ainsi, définir spatialement l'étendue, la représentativité de cette valeur

#### *a) Les histogrammes et étalements de dynamique*

A l'aide d'un curseur itinérant matérialisé par une croix blanche sur l'écran, les différentes valeurs radiométriques sont mesurées, dans chaque canal.

Afin d'élargir les possibilités de variation radiométrique, pour un thème donné, plusieurs mesures par zones sont effectuées. Les bornes radiométriques ainsi définies vont ultérieurement servir au traitement statistique. Elles permettront d'évaluer l'influence des paramètres choisis dans l'évaluation des réponses spectrales.

Les bornes radiométriques ainsi appréciées se limitent en amont par les maxima des mesures, en aval par les minima des mesures.

La réponse de chaque thème sur l'ensemble des 3 canaux est définie par le tracé des serpents radiométriques. Ils schématisent dans chaque canal les différentes valeurs prises par les minima et maxima.

Ces bornes (cf schéma) représentent la signature d'un type de végétation sur une image numérique dont la valeur s'étale entre 0 et 255 (cf photos).

Les fenêtres atmosphériques (c'est-à-dire la longueur d'onde où la transmission est bonne) utilisées pour permettre une bonne distinction des thèmes sont ici, le canal rouge et proche infrarouge. (PM1)

Dans ce canal, il est aisé de différencier chacun des 4 thèmes étudiés (landes, taillis, feux, culture).

Par contre dans le canal 4 et le canal 5, une série de chevauchement gêne l'analyse. Toutefois, ces deux canaux n'ont pas été éliminés de notre étude car chacun apporte une information supplémentaire quant au repérage des différents thèmes. Les transferts de luminance des étalements de dynamiques ont été utilisés pour faciliter le repérage visuel. Ces manipulations améliorent les données visuelles mais ne résolvent pas le

problème de chevauchement. Ce problème est dû à tous les facteurs qui modifient le rayonnement, notamment l'atmosphère.

C'est pourquoi il faut connaître les conditions atmosphériques lors du passage du satellite afin de tenir compte des différentes perturbations pouvant induire en erreur l'analyse de ces images satellitaires.

L'année 1976, année quasi exceptionnelle au point de vue temps, offre des conditions parfaites. A la date du 26 juin, un vent d'ouest soufflant à 15 nœuds, une température de 32° : autant de facteurs qui concourent à donner une bonne visibilité horizontale.

Par contre, les conditions atmosphériques du 17 août 1984 sont moins propices à la lisibilité de la bande satellite. Des températures moins élevées : 27°, un vent faible supérieur à 1 km et la présence d'une légère brume gêneront l'interprétation des images.

Ces perturbations atmosphériques très importantes font l'objet de nombreuses études et les corrections tendent à les effacer ou à les atténuer. Mais les variations rencontrées pour un même thème sont nombreuses. Elles proviennent de l'hétérogénéité du milieu qu'il s'agisse du sol ou du stade de développement végétal.

Quatre principaux thèmes ont été relevés d'après les photos satellites : culture, forêt saine, forêt brûlée, lande (cf graphiques de 1976 et 1984).

Ces thèmes identifiés à l'aide de bornes radiométriques ont été individualisés après une comparaison dans les différents canaux. Les différentes valeurs radiométriques sont mesurées à la surface des parcelles antérieurement repérées et définies par thème sur les clichés Infra Rouge couleur.

Ces bornes répondent à la courbe théorique de la réflectance des objets, à savoir une faible réflectance pour l'eau en 1976 (20-30) opposée à une très forte réflectance pour la forêt saine (100-113) tandis qu'entre ces 2 bornes, s'étalent les autres thèmes.

On s'est attaché à déterminer le ou les éléments caractéristiques des surfaces brûlées susceptibles d'être perçues et enregistrées par le satellite aux deux dates respectives.

L'étude des histogrammes a montré qu'une forêt incendiée apparaît en sombre sur les documents de télédétection car les troncs recouverts de charbon absorbent l'Infra Rouge proche. Le contraste entre forêt saine et forêt brûlée est plus importante dans ce canal. Les bornes radiométriques s'étalent de 40 à 60 pour ce thème, ce qui confirme la faible réflectance.

Cette « réponse » des zones détruites par le feu sera d'autant plus nette que la présence d'arbres calcinés sera importante. Ce qui explique que les feux d'arbres hauts (pins, feuillus) sont mieux perçus que les feux de ligneux bas (landes principalement).

Il est en effet assez difficile de différencier les espèces brûlées. Il semble toutefois et ce, par comparaison avec la carte issue des photos aériennes, que les pins se détachent nettement des autres espèces brûlées apparaissant plus foncées sur les photos satellites (cf photo).

Mais les réponses spectrales des espaces brûlés ne sont jamais exactement semblables, à cause de leur très grande hétérogénéité :

- Partie à l'ombre ou à la lumière
- Essence forestières et textures du sol différentes (schistes et grès)

- Apparition ou non du substrat rocheux : important au Val sans retour et à la butte de Tiot
- Présence de bosquets préservés par le feu
- Reprise de la végétation sur la lande (essentiellement ajoncs d'Europe et fougère)

Vu cette hétérogénéité, le choix des zones tests est primordial. C'est en effet à partir de leurs signatures spectrales que l'on détermine les thèmes qui sont utilisés lors de la classification automatique.

C'est autour d'elles que sont effectués les regroupements des pixels de l'image. Il s'agit donc de bien choisir des zones tests représentatives de ce que l'on recherche.

Trois zones tests seront ici choisies afin de cerner le phénomène incendies. Ce sont les secteurs incendiés de :

- La butte de Tiot,
- Du chêne Don guillaume / Folle pensée,
- Du Val sans Retour, dans chaque image brute de 1976 et 1984 (cf carte).

Chaque zone test a été zoomée afin d'obtenir le maximum de renseignements.

Deux zones tests ont pu être identifiées à chaque date, 1976 et 1984. (Butte de Tiot et Val sans Retour). Par contre celles du chêne Dom guillaume et Folle Pensée n'ont pas fait l'objet de traitement, la zone de Folle Pensée étant masquée par un couvert nuageux à la date du 17 août 1984. Ainsi le suivi ne pourra être réalisé pour cette zone.

Ces incendies de 1976 et 1984 ont surtout affecté les zones du Val sans Retour et de la Butte de Tiot, zones exposées au vent, zones où la végétation est propices au incendies.

La comparaison des tableaux des fréquences ainsi que les histogrammes de chaque date nous montrent que les zones incendiés se situent toujours dans les même secteurs :

- fragilité de l'espèce végétative,
- chicots (troncs calcinés),
- écosystème plus fragile.

En effet, pour chaque zone zoomée, un tableau des fréquences de l'histogramme dans chaque canal a été obtenu. Ces tableaux confirment l'utilité du canal 7 (PM1) où les valeurs s'étendent sur au moins 70 pixels tandis que dans les deux autres canaux, l'étalement est moins important (cf tableaux ci-joints).

Par contre, huit années plus tard, ces valeurs sont quelques peu modifiées, du fait de l'intervention pe paramètre extérieurs et des conditions différentes de la prise de vue (date, heure, conditions atmosphériques...).

A partir de ces données, nous avons pu réalisés des étalements de dynamiques espérant ainsi localiser exactement la zone incendiée.

C'est en réalisant les étalements et par comparaison avec les cartes précédemment établies que des particularités sont apparues au sein de chaque zone-test. Des valeurs radiométriques différentes, des zones plus ombres que d'autres, nous ont permis d'étudier cette zone incendiée et de différencier les conifères calcinés de la lande brûlée.

Les troncs recouverts de carbone absorbent l'Infra Rouge et apparaissent en très foncé. Leur valeur radiométrique est donc faible.

La lande brûlée, ne laissant pas autant de trace sinon qu'une pellicule de carbone sur le sol et la reprise de la végétation se faisant plus rapidement (fougères et ajoncs essentiellement), elle apparaît également en sombre sur l'image mais de teinte beaucoup moins prononcée que les résineux. Seule cette distinction conifères/lande est donc possible, les taillis se classant avec les conifères puisque ces derniers sont toujours disséminés dans ces unités végétatives.

D'autres informations nous sont apparues par l'étude de chaque zone-test et ce, grâce aux valeurs radiométriques concernant l'espace conquis par les feuillus et par les conifères.

Cette distinction a surtout été remarquée sur l'image de 1984. Cette image à la différence de la précédente occupe toute la forêt, aussi, des échantillonnages ont été pris sur une surface plus vaste et dans des secteurs très bien localisés. Ensuite, l'extrapolation a été plus aisée à réaliser bien qu'il faille tenir compte des différents paramètres rentrant en ligne de compte ; cette distinction feuillus/conifères a été perçue essentiellement dans le canal 7.

Feuillus : valeurs radiométriques 107 – 114

Conifères : valeurs radiométriques 56 – 65

Tandis que dans les deux autres canaux, des problèmes de chevauchement ont gêné l'individualisation des unités.

<b>Valeurs radiométriques</b>	<b>Canal 5</b>	<b>Canal 4</b>
	<b>PM 2</b>	<b>PM 3</b>
<b>feuillus</b>	24 – 27	33 - 37
<b>conifères</b>	22 – 28	31 37

#### **Valeurs radiométriques dans les canaux 4 & 5**

L'image de 1984 a également permis de mettre en évidence la coupe à blanc réalisée au chêne Dom Guillaume et inexistante en 1976. Les valeurs radiométriques de cette coupe, sont quasi semblables à celles de cultures et des landes, chevauchant sur l'une et l'autre classe.

Ce sont donc surtout les étalements de dynamique qui nous ont permis de mettre en évidence le phénomène incendie sur l'une et l'autre image.

Il faut noter une certaine similitude entre les trois canaux : vert – rouge – Proche infrarouge, surtout pour l'image de 1984. Les réponses spectrales des minima et des maxima pour l'image de 1976 sont plus élevés. Les bornes radiométriques de l'incendie se définissent ainsi :

	<b>Canaux</b>	<b>MSS 7</b>	<b>MSS 5</b>	<b>MSS 4</b>
<b>1976</b>	<b>Minima</b>	41	34	39
	<b>Maxima</b>	60	41	45
<b>1984</b>	<b>Minima</b>	44	39	34
	<b>Maxima</b>	52	45	37

Nous notons une variabilité au sein de ce thème incendie, et une bonne homogénéité du fait du faible écart existant entre les minima et les maxima.

*b) Opérations de filtrages*

Plusieurs filtrages ont été testés sur TRIADE 80 afin d'essayer de faire apparaître des éléments plus précis.

- le filtre ROBERTS

permet une discrimination des contours de parcelles et une meilleure appréciation des limites de ces mêmes parcelles. Hormis ce fait, l'intérêt de ce filtre appliqué à la forêt de Paimpont n'apporte pas d'informations supplémentaires.

- les filtres PASSE-HAUT et PASSE-BAS

testés sur le même domaine forestier sont les filtres les plus performants après combinaison de canaux (cf photographies).

- le filtre PASSE-HAUT

nous montre nettement la différence entre végétation saine (teinte jaunâtre, verdâtre) et végétation brûlée (teinte orangée). De plus, il permet de distinguer les incendies aux deux dates différentes :

- incendies de 1976 (teintes orangée)
- incendie de 1984 (teintes rougeâtre)

- le filtre PASSE-BAS

ne nous a apporté aucune information supplémentaire. Ce filtre est juste une amélioration d'image, une coloration en soi sans distinction nette entre les unités de végétation (cf photographies).

*c) Les indices de végétation*

Les recherches faites aux Etats-Unis ont montré que l'utilisation de certains rayonnements correspondant à des canaux spécifiques du capteur étaient particulièrement adaptée à l'étude du milieu végétal. Les indices de végétation sont des combinaisons linéaires de canaux.

Ainsi le rapport 
$$\frac{\text{Canal 7} - \text{Canal 5} \times K}{\text{Canal 7} + \text{Canal 5}}$$

( Canal 7 : 0,8 à 1,1  $\mu$  , correspondant au proche infra rouge. Sensible à la densité du couvert végétal.

Canal 5 : 0,5 à 0,6  $\mu$  , domaine du visible allant de l'orange au rouge. Sensible à la chlorophylle.)

Serait en étroite relation avec la densité de la végétation ayant une activité chlorophyllienne. Un des buts de cet indices est de rechercher des corrélations entre les indices de végétation et la densité du couvert végétal, détermination des indices foliaires à partir de la réponse spectrale des végétaux.

Une défeuillaison progressive provoque une augmentation de la réflectance de l'ordre de 4 à 5 % dans les canaux 4 et 5 mais une diminution de 5 à 10 % dans les canaux 6 et 7.

L'indice de végétation, de par ces propriétés, constituera-t-il un moyen d'identifier et de spatialiser certaines catégories de couvert végétal ? Permettra-t-il de caractériser l'état de la végétation après incendie ? C'est ce que nous allons essayer de déterminer à partir des images Landsat sur le milieu forestier de Paimpont.

Avantages, inconvénients, associés à cette méthode sont autant de critères qu'ils s'agit de prendre en compte pour mettre en évidence les performance de ce nouvel outil.

La forêt est synonyme de diversité. La nature du sol, le relief, l'exposition, les peuplements, leur âge, leur mode d'exploitation ou de gestion sont autant de facteurs qui varient d'un massif à l'autre, comme à l'intérieur d'un même massif, ici PAIMPONT.

C'est ainsi que la télédétection, par l'intermédiaire du calcul de l'indice de végétation prend en compte certains de ces facteurs et ne se limite pas à l'aspect général. Les types de peuplements n'interviennent qu'en partie dans la variation de l'indice de végétation excepté la différenciation feuillus/conifères.

Au contraire, la densité et la qualité des boisements critères non pris en compte systématiquement dans l'inventaire forestier, ont ici toute leur importance. En ce qui concerne notre zone, plusieurs tests ont été réalisés successivement en 1976 et 1984.

Dans un premier temps, nous avons calculé pour chaque pixel, l'indice de végétation, les valeurs obtenues variant de 0 à -1.

Le coefficient  $K = 80$  nous a donné des résultats satisfaisants, permettant d'individualiser chaque classe. (cf photographies)

Mais cet indice de végétation ne nous apporte pas de renseignement supplémentaire pour chaque date 1976 et 1984. Une simple amélioration de contraste, une meilleure lisibilité, sont les seuls éléments nouveaux.

Après avoir défini le meilleur coefficient, ici 80, nous avons procédé à un étalement de dynamique dans chacune des tables d'entrée des voies couleurs ET1, ET2 et ET3.

L'indice de végétation étant affecté dans PM3 c'est essentiellement la table d'entrée couleur, ET3 qui nous a permis de déterminer avec précision l'emplacement des incendies et la végétation saine :

- teintée bleutée : végétation saine
- teintée verte : végétation brûlée

L'étalement dynamique, associé à ce nouvel outil a été la seule façon d'apprécier l'indice (à condition toutefois de prendre le meilleur indice qui soit, et donc de faire de nombreux tests).

L'étalement de dynamique effectué après la recherche de végétation sur une nouvelle image (issue de la superposition de deux dates différentes) a apporté quelques compléments à notre étude. En effet, un autre indice



de végétation le V.I.D. (Vegetation Index Difference) dont l'intérêt est la comparaison de mesures directement reliées à la biomasse verte, pour détection des changements intervenus entre deux dates (ici les incendies entre 1976 et 1984) dont la formule

$$\frac{MSS7_{(1976)} - MSS7_{(1984)}}{MSS5_{(1976)} - MSS5_{(1984)}}$$

appliquée au milieu forestier, est susceptible de nous apporter des éléments nouveaux.

R.F. Nelson a utilisé cet indice dans une étude sur la défoliation des forêts en Pensylvanie (1983). Il a également servi à l'évaluation des coupes en forêts, étude réalisée par BANNER et LYNHAM en 1984, avec cependant des résultats moins convaincants à cause de la sensibilité de la bande proche infra Rouge à la présence de végétation dans les coupes.

Adapté au milieu forestier de Paimpont, aucune information supplémentaire concernant ce nouvel indice n'est venue se greffer à notre étude. Sur chaque image, l'indice fait surgir uniquement la végétation très chlorophyllienne (faillis, feuillus) l'opposant à un peuplement de conifères/lande et végétation morte.

La forêt, après les dommages importants subit en 1976, n'a pas retrouvé l'état végétatif qu'elle connaissait avant cette époque.

L'incendie de 1984, moins important que celui de 1976, a touché les mêmes secteurs.

Ainsi, sur cette image, ce n'est qu'un vaste ensemble qui est visualisé. Une légère différenciation dans les teintes permettrait essentiellement de caractériser et localiser chaque incendie, mais seule les surfaces peuvent être prises en compte.

L'indice de végétation apporte des informations différentes, mais complémentaire de celles de l'inventaire forestier. Il est en étroite corrélation avec l'activité chlorophyllienne ; de ce fait, l'importance du recouvrement au sol par le feuillage influe sur la variation de l'indice de végétation, (notions jusqu'ici difficile à prendre en compte). Par contre, en ce qui concerne les incendies, il est difficile et nous l'avons noté, de les caractériser. La végétation morte se confondant avec une végétation où l'activité chlorophyllienne est épuisée importante (lande, mais surtout résineux).

L'image du 27 août 1984, n'est pas suffisamment de bonne qualité pour individualiser les différents types de boisements (cités ci-dessus) et le problème de la similitude des indices de végétation pour certaines unités végétales reste un handicap surtout lorsque le thème incendie intervient dans cette classification.

#### IV) RESULTATS

##### a) *L'évolution*

À l'issue de tous ces traitements réalisés sur la zone incendiée et en dépit de la médiocre qualité de l'image Landsat du 17 août 1984, nous avons pu noter une certaine évolution.

La comparaison simultanée des deux images fut notre première démarche. Elle nous a permis de comparer les surfaces incendiées. Nous avons alors noté un incendie moins étendue en surface pour 1984, par

contre situé dans les mêmes secteurs que ceux de 1976. La fragilité des essences, leur facilité de combustion a été favorable à ce nouvel incendie.

Nous avons également remarqué sur l'image de 1984, la trace laissée par l'incendie de 1976, de par la teinte, la clarté des pixels. Ceci s'explique par la présence d'un type de végétation (cf article de M. Hoassert-Palanqui) et type de sols particuliers, réagissant (cf article de Roze F. et Forgeard F) par conséquent différemment au faisceau lumineux du satellite, donnant des valeurs de réflectance également autre. Notons que l'étude comparative de la recolonisation des landes incendiées fait apparaître des différences dans la vitesse de reconstitution du tapis végétal. Elle dépend essentiellement de la topographie qui peut l'isoler des apports extérieurs de graines favorisant ainsi une recolonisation plus lente.

Il faudra également apprécier « le rôle primordial des bryophytes en tant que premier élément de production primaire d'une zone dénudée. En effet, l'apport d'une quantité importante de matière organique devra permettre la reconstitution de l'humus.

Cette matière végétale, va être la base de la recolonisation par la faune de ces zones pionnières. Le retour de matière organique au sol par l'intermédiaire des litières est aussi le premier maillon de reconstitution de l'humus ». (Clément B, Forgeard F, Tougget J).

Enfin, les types de sols ont aussi leur importance dans cette recolonisation. Sur du schiste ou du grès, la reconquête sera plus rapide (fougères, bruyères...) que sur une lande tourbeuse souvent profondément incendiée, et dont la reprise végétative se fait plus tardivement.

La seconde démarche utilisée fut la superposition des deux images de 1976 et 1984.

Pour ce faire, il nous a d'abord fallu localiser sur chaque bande, l'emplacement exact de la forêt afin de faire coordonner avec le plus de précision possible les pixels. Par la surface relativement restreinte occupée sur la bande par la forêt, les déformations géométriques ne sont pas si importantes ; il a donc été aisé de réaliser cette concordance.

Nous avons tout d'abord stocké le canal 7 de l'image de 1976 dans la mémoire image PM2 ; puis appelé l'image de 1984 afin de stocker le canal 7 dans la mémoire image PM1 et permettant ainsi la superposition (cf photographie).

Après avoir réalisé plusieurs traitements, étalonnage de dynamique (cf photographie), indice de végétation, cette superposition nous a permis par équidensité colorée, d'obtenir sur une même image, les incendies de 1976 et 1984 (cf photographies).

#### *b) Les équidensités colorées*

La médiocre qualité des images, surtout celle de 1984, a conduit à adopter une méthode de travail différente de celle suivie lors des études antérieures. Une équidensité colorée a été réalisée sur chaque image de 1976 et 1984 après détermination des seuils puis sur l'image superposée.

Chaque classe est affectée d'une teinte particulière, permettant ainsi de les visualiser.

Cette équidensité a permis de suivre l'évolution des zones brûlées. Nous avons augmenté le contraste entre zones brûlées et secteurs non brûlés. Puis, par simple feuillage, nous avons « sorti » les feux.

Les seuils ont été répertoriés pour chaque mémoire PM1, PM2 et PM3 et ne sont pas toujours exactement identiques pour tous les feux (on ne peut donc pas appliquer ces seuils à l'image entière) (cf graphique).

Ces différences s'expliquent par l'existence milieux physico-géographique (sols schisteux et sols gréseux) et la présence de couverture végétale diverses – les pins maritimes et sylvestres d'une part, la lande, les taillis d'autre part.

Des confusions subsistent cependant : en particulier les pixels situés à cheval sur les pins brûlés et la lande, sur les pins non brûlés et les coupes à blanc (cf celle du chêne Dom Guillaume sur l'image de 1984). C'est pourquoi pour articuler la superficie des incendies ont a été amener à délimiter, dans certains cas l'enveloppe des feux à l'aide d'un curseur.

Cette méthode de travail allie donc le traitement automatique (comptage des pixels pour évaluer les superficies à une amélioration d'image et à des aspects proche de la photo-interprétation (délimitation des seuils représentatifs des feux), mais reste epu utilisée du fait du peu d'information qu'elle fournit par une résolution trop faible.

### *c) L'évaluation des surfaces*

Les estimations en surface des incendies avancées par les divers services et la télédétection diffèrent parfois sensiblement. Plusieurs raisons, outre le fait que la télédétection ne donne que les surfaces détruites et non pas simplement parcourues, concourent à expliquer ces différences. Pompiers, Direction Départementale de l'Agriculture, Gendarmerie indiquant, pour un même feu, des chiffres parfois assez éloignés.

Il est d'ailleurs frappant de constater que les différences entre les estimations de la télédétection et celle des services de terrains sont les plus importantes pour les feux les plus découpés. Par ailleurs, les routes, les pare-feux (cf celui de Coetquidan) sont visibles sur des images Landsat et n'interviennent pas dans le décompte de la superficie de l'incendie. En outre, les pixels qui sont à cheval sur une route sont éliminés.

Tout cela explique que les dessins des feux obtenus à partir des données Landsat sur la région de Paimpont en 1976 et 1984 soient différents de ceux levés par les services de terrain.

En outre, les estimations de la télédétection tiennent compte des secteurs préservés par le feu soit par l'intervention des pompiers (autour des habitations par exemple) soit naturellement (banc rocheux du val sans retour et de la butte de Tiot) (cf cartes).

## CONCLUSION

Ce travail constitue une sorte de mise au point sur les différentes techniques anciennes et nouvelles appliquées à la recherche d'une évolution sur la zone incendiée de Paimpont.

La télédétection par satellite est un nouveau moyen qui permet de répondre à des objectifs particuliers.

Sur Paimpont, « elle permet un constat : elle comptabilise non seulement une évolution, mais également une variation notion évolutive indispensable à l'appréhension du patrimoine forestier ».

Il est alors nécessaire de mettre en évidence les informations que peut apporter la télédétection pour le suivi du patrimoine forestier.

Au sein du massif forestier de Paimpont, la typologie classique qui a été prise en compte est la différenciation des formations boisées suivant les essences prédominantes et l'individualisation des incendies.

La distinction feuillus / résineux / lande / incendie est mise en évidence sans difficulté. Par contre, il est illusoire de penser qu'avec la résolution de Landsat 3 on puisse séparer un peuplement de chêne d'un peuplement de hêtres situé à proximité et dont les signature spectrales sont très proches.

Parmi les possibilités offertes par la télédétection, l'indice de végétation testé dans ce rapport reste le plus démonstratif suivi de l'étalement de dynamique, pour qualifier l'environnement végétal.

Les autres traitements ne nous ont pas apporté beaucoup de résultats supplémentaires si ce n'est une amélioration des contrastes. A ce titre, il ne faut donc pas négliger les anciennes techniques telles que les photographies aériennes sources de nombreux renseignements, et ce, du fait de l'échelle.

Des difficultés concernant Landsat sont présentes au cours de cette études :

- Problèmes de chevauchement,
- Résolution au sol encore insuffisante,
- Données radiométriques utilisables peu nombreuses,
- Problème des corrections radiométriques et atmosphériques.

Elles pourront être en partie résolues dans les années à venir.

La continuation des travaux dans ce domaine est donc primordiale en particulier avec Landsat Thematic Mapper et le prochain satellite SPOT.

## **BIBLIOGRAPHIE**