

N14

**TELEDETECTION SATELLITAIRE ET RISQUES CYCLONIQUES
EN MILIEU INSULAIRE TROPICAL**

**CYCLONIC RISKS IN TROPICAL ISLAND ENVIRONMENT
AND SATELLITE REMOTE SENSING**

G. DAVID (1) et D. LILLE (2)

(1) Mission ORSTOM de Port Vila, VANUATU

(2) LATICAL, Nouméa, NOUVELLE CALEDONIE

RESUME

La télédétection satellitaire offre d'intéressantes perspectives pour évaluer les risques cycloniques. Dans le cas de la façade occidentale d'Efate touchée en 1987 par le cyclone UMA, la soustraction des indices de végétation de deux images SPOT acquises 10 et 28 mois après le passage du cyclone a permis d'établir une gradation des dégâts par classe de végétation. L'analyse des résultats conduit :

- en premier lieu à souligner l'importance du relief comme facteur limitant ou favorisant les effets du vent, le rôle de filtre joué par la forêt dense, la vulnérabilité sélective de l'agriculture selon l'étendue des surfaces, les pratiques culturelles et les espèces cultivées ;
- en second lieu à la formulation de propositions visant à minimiser les risques cycloniques dans le futur.

19 FEV. 1996



ABSTRACT

As shown through the example of cyclone UMA on the west coast of Vanuatu, remote sensing is a valuable tool to assess the extent of cyclone damage on vegetation. By subtraction of the vegetation indexes of two SPOT images acquired 10 and 28 months after the disaster, we were able to map a gradation of the cyclone Uma's impact by class of vegetation. This map shows a gradation of the vegetation and cultivated areas vulnerability to the wind according to the morphology, to the forest which acts as a filter, to the agricultural practices.

INTRODUCTION

Par les destructions qu'ils occasionnent aux milieux urbains, terrestres et côtiers, les cyclones représentent une contrainte majeure pour la plupart des petits pays insulaires du Pacifique intertropical dont les économies reposent largement sur le tourisme et l'exploitation des ressources naturelles. Sensibilisés à cette menace, de nombreux Gouvernements se sont dotés d'un service spécialisé dans la prévention des risques naturels. Pour ces services, la télédétection satellitaire à haute résolution SPOT constitue un outil intéressant permettant d'estimer les dégâts causés par les cyclones futurs. Cette thématique a déjà fait l'objet d'études antérieures. Ainsi dans le domaine côtier, l'impact du cyclone Sally sur l'atoll d'AITUTAKI aux îles Cook a été étudié de manière approfondie par l'IFREMER et le CCOP/SOPAC (LEMAIRE et al., 1988 ; LOUBERSAC et al., 1989). Dans le domaine terrestre, les travaux se sont principalement portés sur l'effet des inondations accompagnant le passage du cyclone NAMU sur la plaine septentrionale de Guadalcanal (DANITOFEA et BAINES, 1987 ; STEPHENS et al., 1988 STEPHENS et al., 1989). A notre connaissance aucun travail n'a encore été réalisé dans la région sur les dommages causés à la végétation par les vents cycloniques. C'est ce thème que nous nous proposons d'aborder à travers l'étude de l'impact du cyclone UMA en Février 1987 sur la côte ouest de l'île d'EFATE au Vanuatu.

METHODOLOGIE D'ETUDE

Les données

Deux images SPOT de l'île d'EFATE (KJ 416-385) constituent les principales données utilisées dans la présente étude. La première image a été acquise en mode multispectral XS (résolution au sol de 20m pour chacun des trois canaux XS1, XS2, XS3) le 9 décembre 1987, 10 mois après le passage du cyclone, dont les dégâts sur la végétation sont encore largement visibles. La seconde image a été acquise en mode multispectral P+XS, de 10m de résolution au sol, obtenu par

mixage des bandes XS1 et XS2 avec la bande panchromatique et rééchantillonnage de la bande XS3 à 10m. L'acquisition de la scène a été faite le 2 juin 1989, 28 mois après le passage du cyclone. Un total de 18 mois sépare donc les deux dates d'acquisition. Cette période nous semble suffisante à une large régénération de la couverture végétale. En l'absence de toute autre image acquise avant février 1987, l'image P+XS du 2 juin 1989 a été jugée représentative de l'état de la végétation prévalant avant le passage du cyclone.

En complément des deux images SPOT, ont également été utilisées des photographies aériennes, une carte du trajet du cyclone (fig. 1) et des cartes topographiques : deux cartes au 1/50 000 du nord-est et du sud-est d'EFATE, une carte au 1/100 000 de l'ensemble de l'île. Les photographies aériennes sont de deux types : des photographies infrarouge couleur à l'échelle 1/10 000 datant de 1984, des photographies panchromatiques à l'échelle 1/30 000 prises en 1986, quelques mois avant le passage du cyclone.

La problématique générale

La soustraction des indices de végétation des deux images SPOT a été retenue comme indicateur de l'estimation des dégâts occasionnés par le cyclone UMA à la végétation.

Les deux scènes ayant été acquises à deux périodes différentes de l'année, cette soustraction pâtit d'un léger biais qui tendrait à minimiser quelque peu la différence des indices de végétation. L'impact général du cyclone sur la végétation en serait légèrement sous-estimé.

- a) La scène de décembre 1987, caractérisant l'état du couvert végétal juste après le passage du cyclone, a été acquise en début de saison des pluies, période qui correspond habituellement à une couverture végétale maximale, tant en ce qui concerne le milieu naturel que le milieu anthropique. Dix mois après le passage du cyclone, il est probable que le couvert végétal arboré et arbustif ait commencé à se reconstituer dans certaines zones dégradées.
- b) En revanche la scène de juin 1989, assimilée à la situation prévalant avant le passage du cyclone, a été acquise en début de saison sèche, période qui correspond à une intense activité agricole et à une couverture végétale minimale des milieux anthropiques, de nombreuses étendues de jardins vivriers ayant le sol dénudé.

L'exploitation des données

Le traitement des données satellitaires s'est effectué au LATICAL sur une station Sun pilotant une console ISIS 2048 x 2048 sur 28 bits.

Homogénéisation des données et corrections géométriques

Les deux images SPOT ayant été acquises selon des résolutions au sol et des angles différents, il convient d'homogénéiser les deux produits afin qu'ils puissent être comparables. Un premier travail a consisté à moyenner la bande P+XS en affectant à chaque ensemble de quatre pixels une unique valeur radiométrique. Dans un second temps une rectification géométrique par triangulation de la scène XS sur la scène P+XS moyennée a été effectuée.

Détermination et délimitation de la zone d'étude

Les deux images étant désormais géométriquement superposables, une composition colorée fausse couleur, suivie d'un rehaussement de contraste, a été effectuée sur chacune d'elles. La comparaison de ces deux compositions colorées rehaussées a permis de définir la zone d'étude. Deux critères ont été utilisés : la présence de dégâts apparents détectés par photo-interprétation de l'image XS et la rareté ou l'absence de couverture nuageuse. Une nébulosité trop importante nous a ainsi conduit à ne pas prendre en compte la plaine littorale entourant Port-Vila, la capitale du pays, qui a pourtant souffert de dégâts considérables à la suite du passage du cyclone. La zone ainsi définie couvre l'intégralité de la façade occidentale de l'île d'EFATE, du village de SIVIRI au nord (17°32'S, 168°19'E) à la pointe du diable au sud (17°45'S, 168°10'E) ainsi que les îles adjacentes, MOSSO et LELEPA.

La délimitation de la zone d'étude a été effectuée à l'aide de masques. Le premier masque a été appliqué au milieu marin par seuillage du canal Proche-infrarouge XS3. A l'intérieur des terres, la délimitation a été effectuée par traçage manuel à la console. Un masque "nuages et ombres portées" a ensuite été incrusté sur chacune des deux images. La réunion de ces deux masques en génère un troisième, utilisable pour toute opération arithmétique sur les images. Les planches N14A et N14B présentent les compositions colorées rehaussées des images XS et P+XS ainsi délimitées.

Caractérisation de l'impact du cyclone

Dans un premier temps, nous avons cherché à caractériser l'impact du cyclone de manière globale. Trois opérations ont été successivement réalisées :

- le calcul de l'indice de végétation normalisé (XS3-XS2) (XS3 + XS2) pour chacune des deux images ;
- la création d'un pseudo-canal (Indveg PXS - XS) résultant de la soustraction des deux indices précédents, tel que Indveg PXS-XS = Maximum (0, Indveg(PXS) - Indveg(XS)). Les valeurs maximales apparaissent en clair, elles correspondent à une dégradation significative de la végétation, matérialisée par la différence positive des deux indices de végétation (planche N14C) ;
- un seuillage du pseudocanal (Invdveg PXS-XS) de manière à réduire au nombre de quatre les classes de dégradation. Il en résulte une perte d'information, largement compensée par une meilleure lisibilité des résultats.

Dans un second temps, nous nous sommes attachés à caractériser l'impact du cyclone sur la végétation.

a) Une classification supervisée du couvert végétal avant le passage du cyclone a d'abord été réalisée d'après l'image PXS moyennée. Les photographies aériennes ont été utilisées pour la sélection des parcelles d'entraînement et la vérification des limites des zones anthropisées, de manière à corriger les éventuelles modifications de tracés s'étant produites à la suite du cyclone. Sept classes de végétation ont été identifiées : la forêt dense, la formation "forêt basse-savane arbustive", les fourrés arbustifs, la savane arbustive, la savane herbeuse, les zones humides, la végétation anthropique (planche N14D).

b) Le croisement de ces sept classes de végétation avec les quatre classes de dégradation précédemment définies conduit à individualiser 28 classes. Pour une meilleure lisibilité, il a été décidé de n'attribuer qu'un unique coefficient de dégradation aux "zones humides", la plus petite des classes de végétation. La version définitive de cette thématique croisée "végétation x dégradation", intégrant 25 classes est représentée sur la planche N14E.

RESULTATS

Composition de la végétation

Dans le tableau 1 sont indiquées les superficies occupées par chacune des sept classes de végétation précédemment définies. Six d'entre-elles peuvent être classées comme végétation naturelle.

La forêt dense en est la formation climacique. Se composant d'arbres de 10 à 20m de haut, elle couvre 56 % de

l'ensemble de la zone étudiée et 64 % des zones naturelles. Du point de vue de la composition floristique, de la taille des arbres et de la stratification, une distinction au sein de la forêt dense doit être faite entre :

- la forêt dense humide des vallées et des versants montagneux, caractérisée par l'abondance des épiphytes, des étrangleurs et des fougères arborescentes ;
- la forêt haute de la zone littorale soumise aux pluies qu'apportent le vent dominant, l'alizé de sud-est ;
- la forêt haute de la zone littorale sous le vent qui en constitue une adaptation xérique essentiellement composée d'*Acacia spirorbis*, de *Cyrocarpus americanus* et *Leucaena leucocephala*.

La formation "forêt basse - savane arbustive" occupe 20 % de l'ensemble de la zone étudiée et 23,5 % des zones naturelles (planche N14D). C'est une zone hétérogène se composant essentiellement de taillis d'*Acacia spirorbis* et de *Leucaena leucocephala* de 3 à 10 m de haut et d'une végétation buissonnante, particulièrement bien développée dans les îles de MOSSO et LELEPA. Les fourrés arbustifs constituent une adaptation de la forêt basse à des conditions édaphiques moins favorables. Ils n'occupent qu'une faible partie de la zone étudiée à l'instar de la savane arbustive, formée notamment de buissons de *Lantana camara* et de *Cassia tora*, et de la savane herbeuse, composée essentiellement de graminées des genres *Themeda*, *Imperata* et *Hétéropogon*. Les zones humides sont les formations naturelles les moins représentées, seuls un marécage et une mangrove existent en bordure de la plantation de SIVIRI, à l'extrémité nord-ouest d'EFATE.

La végétation anthropique couvre 13 % de la zone étudiée. Elle est formée de trois ensembles distincts :

- les plantations de cocotiers, leur superficie varie de quelques hectares à quelques dizaines d'hectares, la couverture du sol est généralement assurée par des graminées pâturées ou une végétation buissonnante régulièrement coupée.
- les pâtures, il s'agit de prairies artificielles se développant autour de bosquets arborés, vestiges de la forêt climacique aujourd'hui défrichée ; elles couvrent plusieurs dizaines d'hectares dans le sud de la zone étudiée, à proximité de la pointe du diable ;
- les jardins vivriers se distinguent nettement des deux formations végétales anthropiques précédentes. Leurs superficies sont en générale faibles et les espèces végétales qui les composent (taros, ignames, patates douces, manioc, bananiers, courges,...) sont étroitement complantées.

Impact global du cyclone

Suivant une trajectoire NW-SE, le cyclone UMA est passé à une vingtaine de milles de la façade occidentale de l'île d'EFATE dans la nuit du 7 au 8 Février 1987 (fig. 1). La planche N14C présente un état global des dégâts occasionnés à cette région. Les zones en jaune et orange clairs, correspondant à un contraste maximal entre les deux indices de végétation, sont les plus touchées. Les zones les plus sombres sont les moins endommagées. Quatre commentaires sont à formuler au vu de cette planche.

- Les petites îles bordant la côte et le littoral en général semblent avoir été beaucoup plus affectées par le passage du cyclone que l'intérieur des terres.
- Le sud de la zone étudiée, qui constitue un cap massif de 5 à 8km de large à l'ouest de la baie de Mélé, semble plus endommagé que les parties médianes et septentrionales.
- Parmi les zones littorales, les sommets des collines et les versants dominant la mer semblent plus touchés que les vallées ou les plaines disposées de manière perpendiculaire au rivage. Le contraste entre le mont Erskyne et la vallée de la Marona en amont de Port-Havanah est à cet égard des plus significatifs.

Impact du cyclone par classe de végétation

La planche N14E montre une gradation en quatre classes (sévère, moyenne, faible, minimale) des dégâts du cyclone Uma causés aux six principaux types de végétation. Une analyse de ces dégâts en terme de superficie apparaît dans le tableau 2.

Trois zones ont particulièrement souffert. Il s'agit de la zone anthropique, de la savane herbeuse et de la savane arbustive. Les deux premières classes de dégradation y correspondent respectivement à 56 %, 54 % et 49 % des surfaces totales. On notera particulièrement le fait que 37 % des superficies occupées par la savane herbeuse ont été détruites. Le sel transporté par le vent est le principal agent de dégradation de ces milieux, composés majoritairement de plantes herbacées dont les parties aériennes au contact du sel se flétrissent puis meurent. La savane herbeuse qui se développent sur les sommets et les versants dominant la mer est le biotope le plus exposé à ce type de dégradation. De manière similaire, parmi les zones anthropiques, une distinction doit être faite entre d'une part les pâturages et les cocoteraies peu denses du sud-ouest d'EFATE, qui étant exposé au vent ont particulièrement souffert, et d'autre part les sites abrités de cuvettes et de vallées encaissées, comme les jardins situés le long de la Marona et la cocoteraie de SIVIRI, qui ont peu souffert.

Incontestablement le relief joue un rôle considérable en tant que facteur limitant ou favorisant les effets de la salure apportée par le vent sur la végétation. Il n'est cependant pas le seul. La configuration spatiale de la végétation joue également un rôle essentiel. Trois paramètres sont ici à considérer, indépendamment de l'exposition :

- la superficie, une aire de vastes dimensions sera plus sensible qu'une aire de faibles dimensions ;
- le "degré d'ouverture du site", matérialisé par l'espacement et la hauteur des rideaux d'arbres susceptibles de freiner l'intensité du vent ;
- l'hétérogénéité ou l'homogénéité des espaces plantés en termes de composition floristique.

Compte tenu de ces trois facteurs, le jardin vivrier mélanésien est beaucoup moins vulnérable au risque cyclonique que la plantation de cocotiers de vaste superficie se développant sur une couverture herbacée. Le premier allie une faible superficie et des espèces complantées de tailles différentes, tant pour leur partie aérienne que pour leur partie sous-terrainne, au fait d'être généralement entouré de fourrés forestiers. La seconde est sujette à l'effet de salure mais également à la décapitation ou au couchage de certains arbres sous l'effet du vent.

La forêt dense, les fourrés arbustifs et l'association "forêt basse-savane arbustive" sont les trois biotopes ayant le moins souffert du passage du cyclone ; seules 15 %, 21 % et 25 % de leurs superficies respectives ont été moyennement ou sévèrement endommagées. Nulle part sur la composition colorée de l'image de décembre 1987 des chablis importants sont visibles. Apparemment, les sorties de terrain le confirment, l'effet destructeur du vent s'est limité à la défoliation, aux bris de branches extérieures de la couronne et aux couchages de quelques arbres dont la chute ne semble pas avoir affecté gravement le voisinage. C'est essentiellement cette défoliation et la refoliation qui l'a suivie que mesure la différence d'indice de végétation entre les deux images.

Le processus de défoliation intègre trois phénomènes :

- l'arrachage de feuilles sur les branchages qui restent en place ;
- la chute à terre de la masse foliaire entourant les branchages brisés par le vent ;
- la destruction par le sel des lianes à larges feuilles, qui recouvrent les arbres les moins élevés.

Le processus de refoitation intègre également trois phénomènes : il s'agit d'une part de la réapparition de feuilles sur les branches précédemment défoliées, de la repousse de lianes sur les zones précédemment brûlées d'autre part et de l'apparition de lianes sur des zones qui en étaient autrefois dépourvues. Les arbres ayant perdu une partie de leur couronne sont la "cible" privilégiée de cette expansion, les lianes, plantes ubiquistes favorisées par la lumière, se développant plus rapidement que les nouveaux branchages, qu'à terme elles étoufferont. Il existe donc là toute une dynamique qui échappe complètement à l'observation du satellite, dynamique qui conduit à une transformation progressive de la forêt dans le sens d'un appauvrissement floristique par l'étouffement des espèces originelles et l'apparition d'un petit nombre d'espèces résistantes. Hormis les cyclones, l'exploitation forestière, si elle est conduite de manière anarchique, favorise également cette évolution.

DE L'ETUDE DE L'IMPACT ECONOMIQUE A LA PLANIFICATION DU RISQUE

Estimation de l'impact économique du cyclone

Cet impact concerne principalement les zones anthropisées et les habitations. Un dizaine de villages existent sur l'ensemble de la zone étudiée. A l'exception d'un seul, tous sont situés en bordure de mer. Une population de 1 330 personnes, réparties en 300 habitations (estimations du recensement de la population de 1989), les habitent. La comparaison des planches N14C et fig. 2 montre que, d'une manière générale, les villages situés dans le sud de la zone ont beaucoup plus souffert que les villages du nord, qui ont souvent bénéficié de la protection du relief ; les exemples les plus remarquables à cet égard sont ceux des îles de MOSSO et de LELEPA dont les villages sont nichés au pied des falaises littorales. Sachant que dans les villages les plus exposés la destruction des habitations a été totale, nous pouvons estimer que de 35 à 75 % de l'ensemble des habitations de la zone étudiée ont été détruites. Des enquêtes complémentaires de terrain permettront d'affiner ces résultats puis, dans un second temps, d'estimer le coût monétaire de ces destructions.

En ce qui concerne la production agricole, une distinction doit être faite selon les types de culture. D'une manière générale, comme nous le signalions dans le paragraphe précédent, les jardins vivriers ont beaucoup moins souffert des effets du vent cyclonique que les plantations de cocotiers et les pâturages. L'importance prise par les légumes racines (ignames, manioc et patates douces) dans le système vivrier a permis de compenser en partie le déficit alimentaire provoqué par la destruction des arbustes et des légumes feuilles, les plus fragiles d'entre eux étant sans conteste les bananiers. Dans un autre contexte, marqués par des pluies plus violentes, il n'est pas sûr que les légumes racines eussent aussi bien

résisté. Après le passage du cyclone, le cycle végétatif rapide des plantes utilisées a permis dans les zones détruites de recouvrer une production agricole au bout de quelques mois.

Il n'en a pas été de même des cocoteraies et des vergers. Ces derniers ont particulièrement souffert et ce n'est qu'en 1989, voir pour certains arbres en 1990, que les premières fructifications d'après cyclone ont été observées. Il en est résulté pour les agriculteurs un grave manque à gagner. Les superficies plantées n'étant pas connues, celui-ci a été impossible à chiffrer.

Les pâturages ont été beaucoup plus rapides à se régénérer. Les destructions dues au sel emporté par le vent ont été massives ; tous les herbages ont été brûlés mais après la saison des pluies 1988 les prairies naturelles se sont reconstituées. Au dire de certains éleveurs l'apport de sel a même été bénéfique pour le sol. Le délai de plus d'un an entre le passage du cyclone et la réapparition des herbages ne semble pas avoir gravement perturbé les éleveurs. L'élevage étant extensif, le bétail s'est nourri de graminées sèches durant quelques mois, des semis de prairies artificielles étant effectués au besoin.

Planification du risque cyclonique

Toute analyse a posteriori de l'impact d'une décision, d'une action, ou d'un flux de matière sur un objet, une population ou un espace présente à la fois un intérêt historique et un intérêt prospectif. Il s'agit de reconstituer le phénomène et d'en analyser les effets de manière à en minimiser le risque (c'est à dire la probabilité d'apparition) dans le futur. Dans le cas de catastrophes naturelles, telles que les cyclones, dont la genèse échappe totalement à l'emprise humaine, la minimisation du risque ne peut porter que sur les effets du flux de matière sur l'espace et les populations végétales, animales et humaines qui l'habitent (DUPON, 1990).

Au Vanuatu, le savoir traditionnel a parfaitement intégré ce concept, à travers le refus de toute spécialisation économique et son corrolaire au niveau agricole : la recherche de systèmes de culture flexibles s'adaptant au mieux aux modifications de l'environnement. Une telle attitude n'est pas spécifique des communautés villageoises du Vanuatu, elle a également été notée aux Philippines (HUIJSMAN, 1986) cité par BROSSIER (1990). Ce n'est malheureusement pas la stratégie commune adoptée par les Pouvoirs Publics des pays en voie de développement. Confronté à un puissant dynamisme démographique, ceux-ci privilégient avant tout l'accroissement de la production, qui passe entre autre par l'agrandissement des parcelles et la spécialisation des cultures.

Une telle stratégie conduirait au Vanuatu à fragiliser considérablement les communautés villageoises vis-à-vis du risque cyclonique, les vastes espaces ouverts cultivés en monoculture étant ceux, nous l'avons vu, qui sont les plus fragiles à l'impact des cyclones. Dans ce contexte, il serait hautement souhaitable qu'une réflexion soit entreprise afin de concilier le développement de l'agriculture et la minimisation des risques cycloniques. Au vu de la présente étude, deux éléments clés nous semblent particulièrement intéressants à débattre :

- la répartition spatiale des cultures en fonction de leur résistance au vent, et/ou à l'inondation et des caractéristiques morphologiques, édaphiques et pédologiques du milieu ;
- la protection des parcelles contre les effets du vent et du ravinement.

CONCLUSION

Même dans les milieux spatialement restreints et écologiquement diversifiés, comme l'est la façade occidentale de l'île d'EFATE, d'une superficie inférieure à 200km², la télédétection satellitaire Spot offre d'intéressantes perspectives pour évaluer les dégâts occasionnés par les cyclones tropicaux à la végétation. La soustraction des indices de végétation de deux images Spot, assimilées respectivement à la situation prévalant avant et après le passage du cyclone UMA, a permis de cartographier et de quantifier les dégâts par classe de végétation. L'intérêt d'une telle étude déborde largement du cadre de la simple analyse à posteriori des dommages. Elle devrait déboucher sur la conception d'une planification des risques cycloniques de manière à minimiser leur impact sur l'espace et les populations végétales, animales et humaines qui l'habitent. La tâche est vaste, elle est toutefois essentielle et ne devrait pas se cantonner à la seule menace des vents.

Les cyclones ne sont pas l'unique risque naturel menaçant l'activité économique au Vanuatu. Les risques d'inondation, de glissements de terrains, d'érosion des sols, d'émanation de gaz et de cendre "sous le vent" des volcans existent également. L'ensemble de ces risques devrait être pris en compte dans la planification des activités économiques, notamment l'agriculture. La fiabilité et les performances de la télédétection satellitaire à haute résolution l'y autorise.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier le Service Topographique du Gouvernement du Vanuatu qui leur a aimablement prêté les photographies aériennes utilisées dans leur étude.

BIBLIOGRAPHIE

BROSSIER J., 199. Risque et incertitude dans la gestion de l'exploitation agricole. Quelques principes méthodologiques. In **ELDIN, M. et MILLEVILLE P.** (Eds.), *Le risque en agriculture. Col. A travers Champs.* ORSTOM, Paris : 25 - 46.

DANITOFEA S., G.B.K. BAINES, 1987. Cyclone NAMU and the north Guadalcanal coast, Solomon Islands : implications for economic development. *Proceedings of the Workshop on Coastal Process in South Pacific Island Nations*, Lae, Papua New Guinea.

DUPON J.F., 1990. Risque cyclonique et agriculture dans les territoires français du Pacifique. In **ELDIN, M. et MILLEVILLE P.** (Eds.), *Le risque en agriculture. Col. A travers Champs.* ORSTOM, Paris : 101 - 114.

HUIJSMAN, 1986. Choice and uncertainty in semi-subsistence economy. A study of decision making in Philippine Village Agricultural Economic. PHD Thesis Wageningen (Royal Tropical Institute), Amsterdam.

LEMAIRE O., L. LOUBERSAC, L. D'OZOUVILLE, B. RICHMOND, 1988. Evaluation de l'apport de Spot dans le cadre du programme de prospection des ressources minérales de l'atoll d'AITUTAKI (ILES COOK). Etude préliminaire de l'impact du passage du cyclone Sally. In *SPOT 1 utilisation des images, bilan, résultat.* CEPADUES, Toulouse : 1095-1103.

LOUBERSAC L., A. DAHL, P. COLLOTTE, O. LEMAIER, L. D'OZOUVILLE GROTTÉ, 1989. Impact assessment of cyclone Sally on the almost atoll of AITUTAKI (Cook Islands) By remote sensing. *Proceedings of the Sixth International Coral Reef Symposium*, Townsville, Australia, 8th-12th August 1988 : 455-462.

STEPHENS P.R., N.A. TRUSTRUM, J.R. FLETCHER, S. DANITOFEA, 1988. Reconnaissance mapping of erosion caused by cyclone NAMU, SOLOMON ISLANDS- *Asian-Pacific Remote Sensing Journal*, 1(1) : 57-62.

STEPHENS P.R., P.M. BLASCHKE, N.A. TRUSTRUM, I.E. WHITEHOUSE, 1989. Remote sensing for cyclone damage and hazards mapping : SOLOMON ISLANDS. *Report of the Workshop on Remote Sensing for Land and Sea Resource Surveys and Evaluation in the Pacific : Applications, Co-ordination and training*, Port-Vila, Vanuatu, 7th-11th August 1989 : 43-48.

	Zones naturelles %	Ensemble des zones %
Forêt basse plus savane arbustive	23,5	20
Forêt dense	64	56
Fourrés arbustifs	8	6,5
Savane arbustive	2	2
Savane herbeuse	2	2
Zones humides	0,5	0,5
Zones anthropiques	0	13

Tableau 1 - Composition de la végétation exprimée en % des surfaces occupées.

	Sévère (%)	Moyen (%)	Faible (%)	Minimal (%)	Total (%)
Forêt basse + Savane arbustive	3	22	25	60	100
Forêt dense	3	12	25	60	100
Fourrés arbustifs	5	16	29	50	100
Savane arbustive	6	42	25	27	100
Savane herbeuse	37	17	23	23	100
Vegetation anthropique	18	38	20	24	100

Tableau 2 - Impact du cyclone sur la végétation

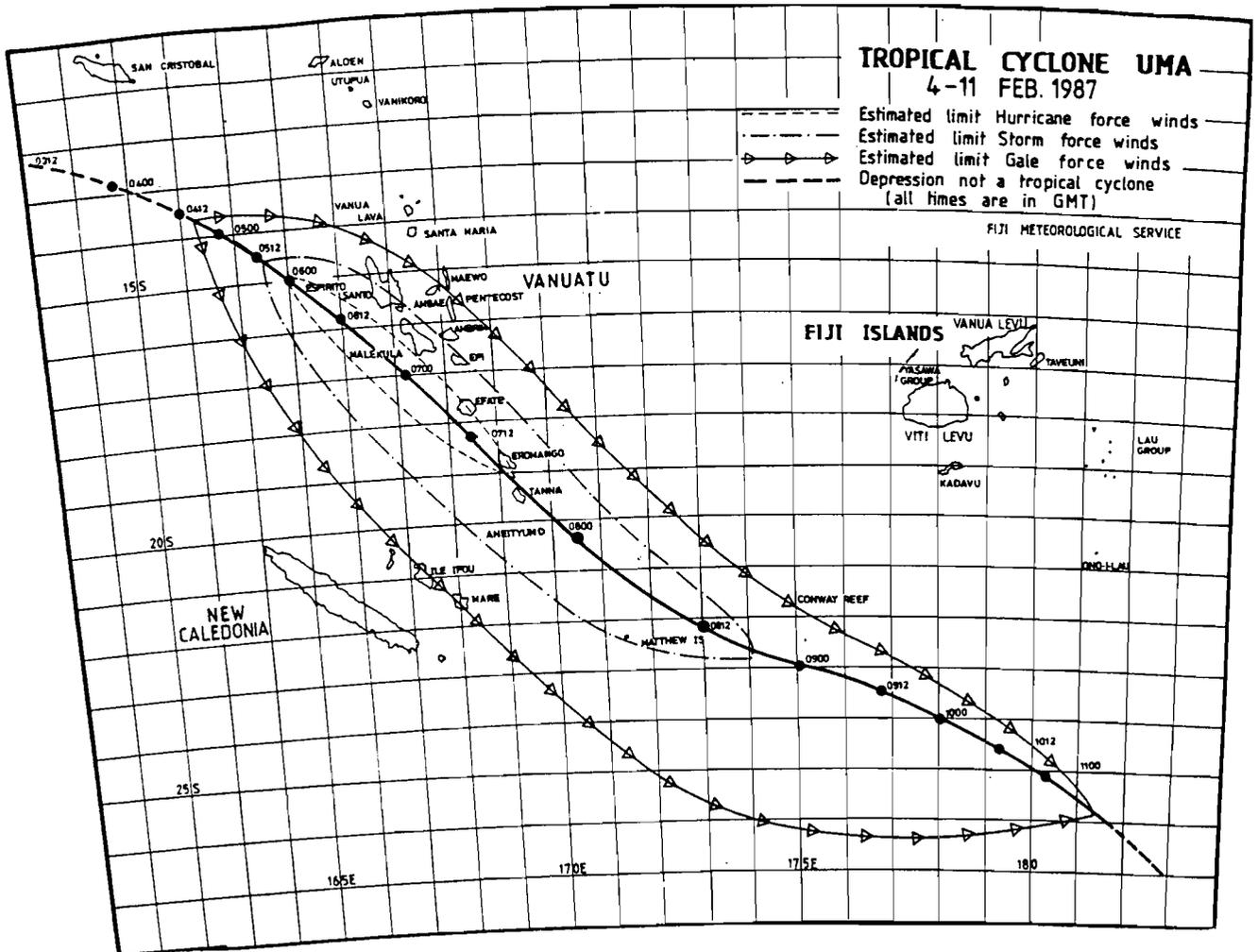


Figure 1 : Trajet effectué par l'oeil du cyclone UMA les 6, 7 et 8 février sur le Vanuatu.

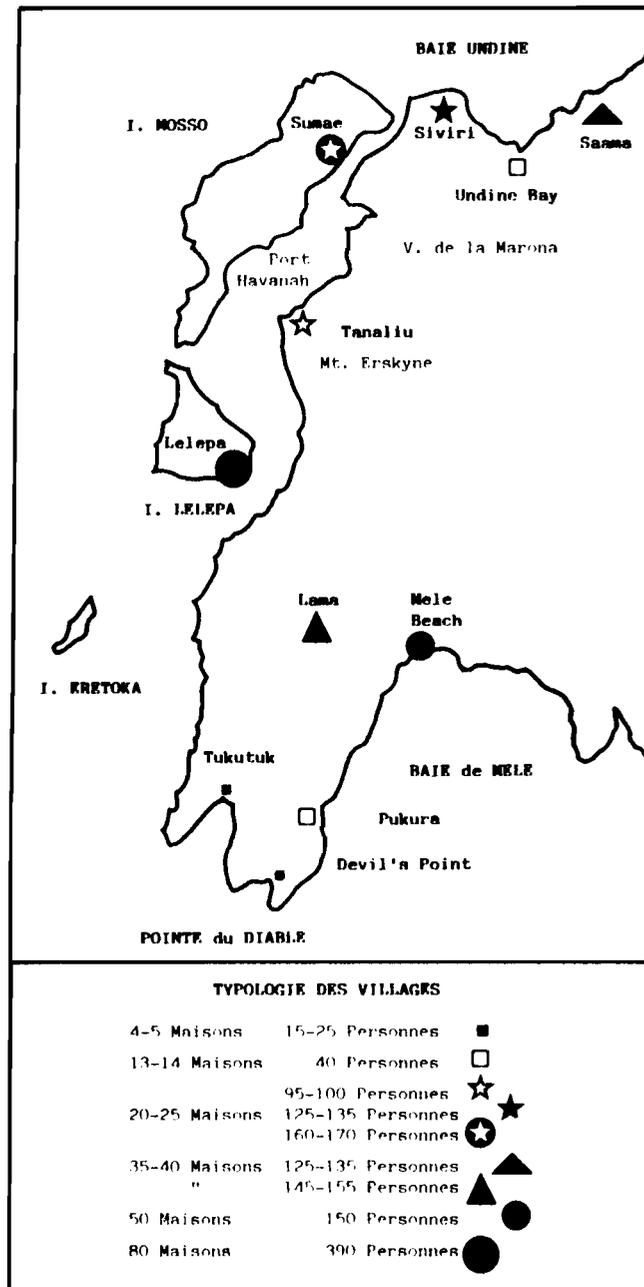


Figure 2 : Répartition de la population sur la zone étudiée.

Composition colorée Cote Nord-Ouest d'EFATE , VANUATU

Prise de vue SPOT octobre 1987



N 14



N14A : Composition colorée
rehaussée de l'image XS du
9 décembre 1987
c CNES 87/Dist. SPOT IMAGE

Composition colorée Cote Nord-Ouest d'EFATE , VANUATU

Prise de vue SPOT Juin 1989

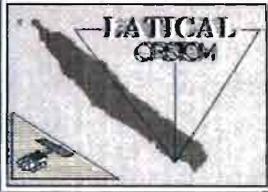


N 14

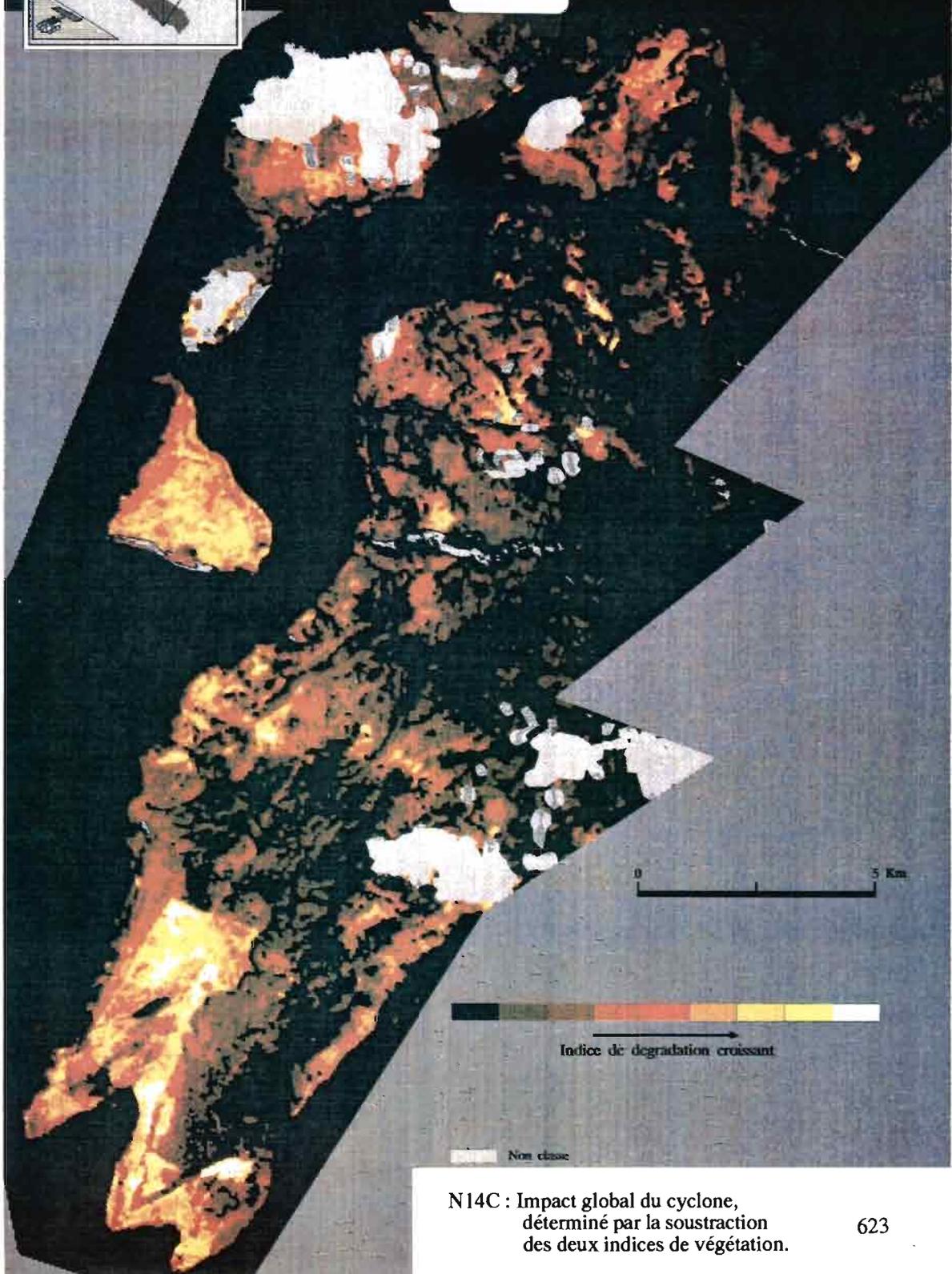


N14B : Composition colorée
de l'image P+XS rééchan-
tillonnée à 20m du 2 juin
1989
c CNES 89/Dist. SPOT IMAGE

Caracterisation de l'impact du cyclone UMA par la variation de l'indice de vegetation



N 14



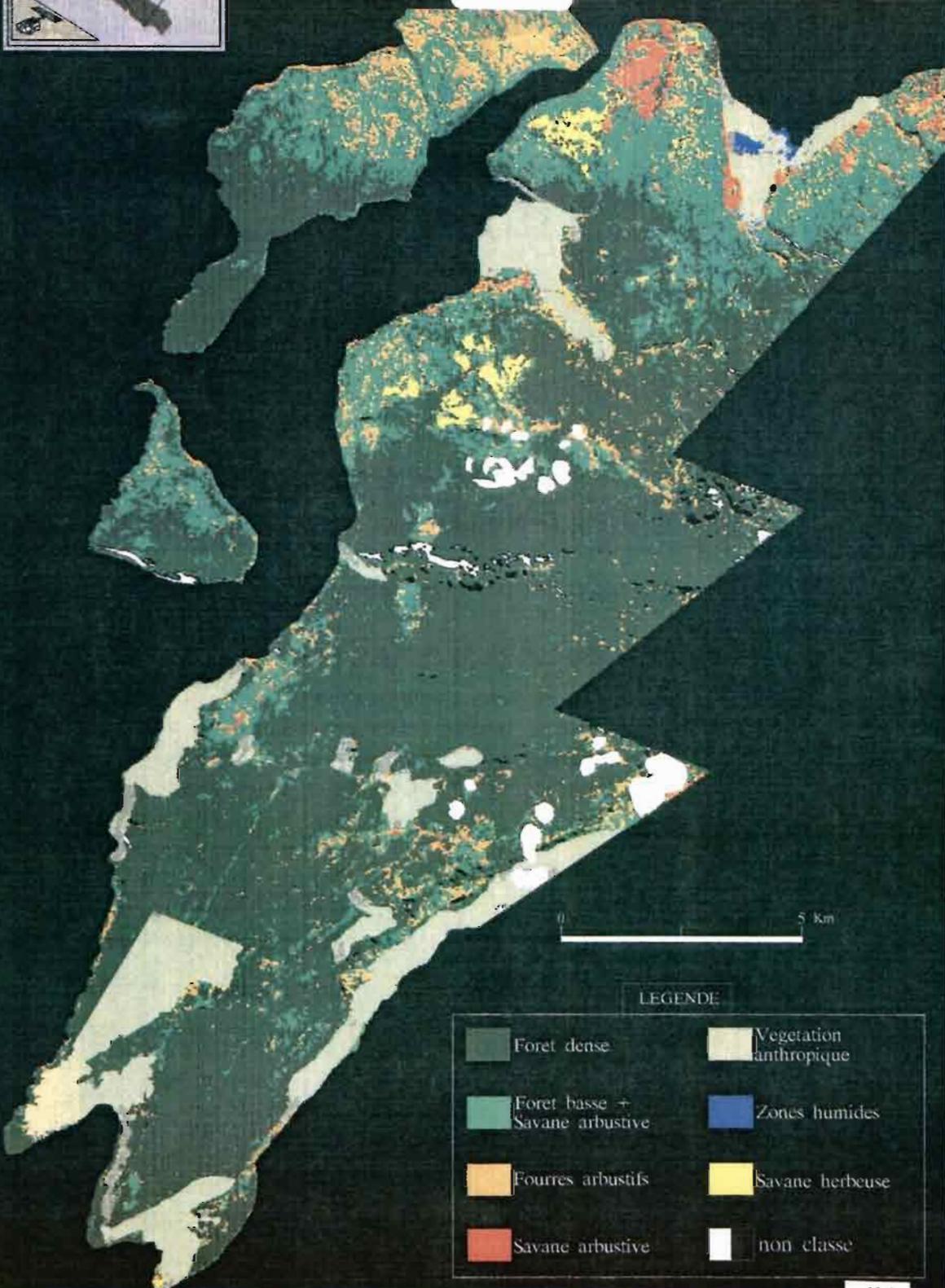
N14C : Impact global du cyclone,
déterminé par la soustraction
des deux indices de végétation.

CLASSIFICATION THEMATIQUE DE LA VEGETATION
 Cote Nord-Ouest d'EFATE, VANUATU
 Prise de vue SPOT Juin 1989



N 14

N14D : Composition de la végétation.



LEGENDE

	Foret dense		Vegetation anthropique
	Foret basse + Savane arbustive		Zones humides
	Fourres arbustifs		Savane herbeuse
	Savane arbustive		non classe

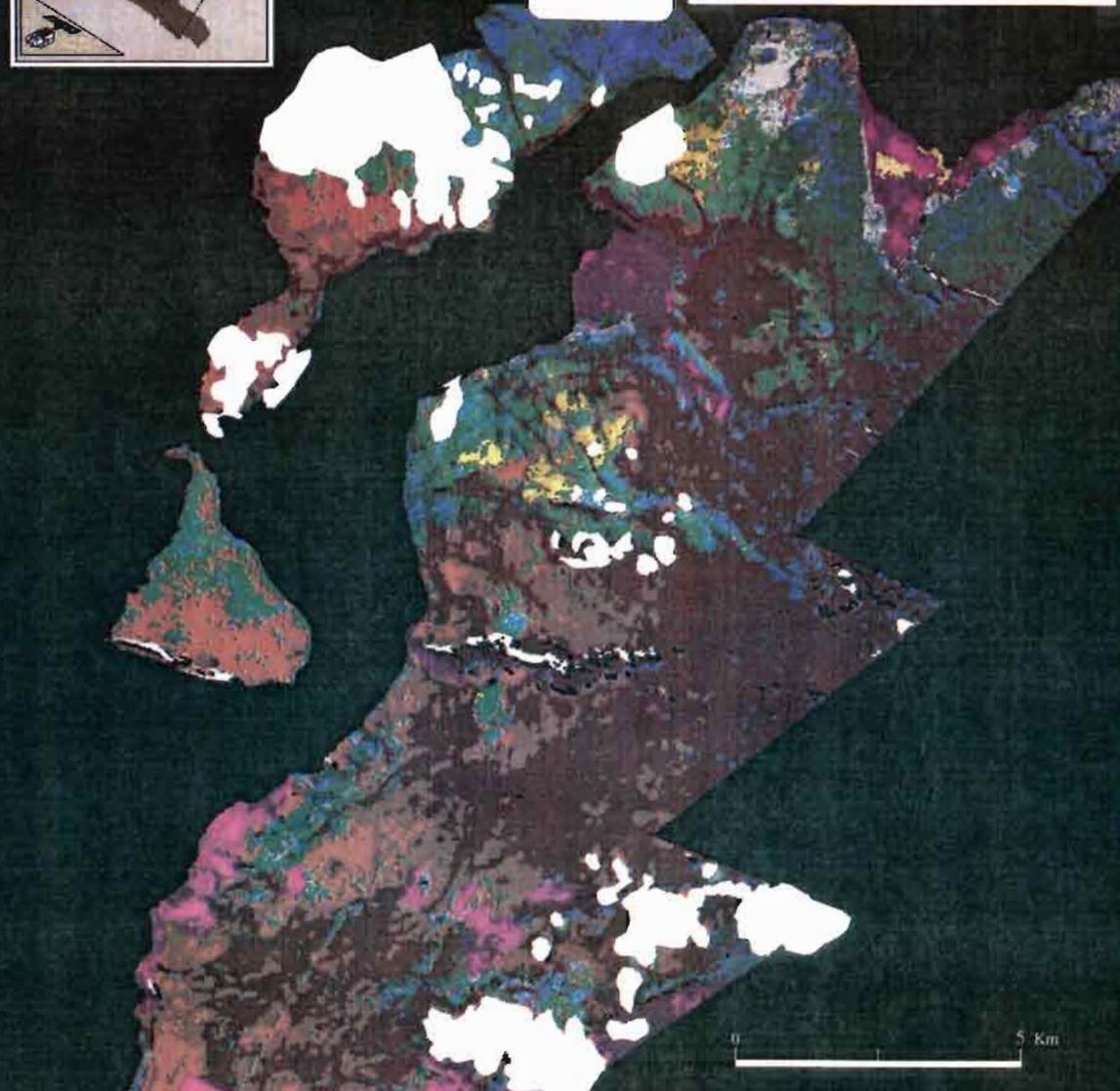
Impact du cyclone UMA par classe de végétation

Cote nord-ouest d' EFATE, VANUATU



N 14

N14E : Impact du cyclone par classe de végétation.



LEGENDE

	Degré décroissant de dégradation		Vegetation anthropique
	Forêt dense		Zones humides
	Forêt basse + Savane arbustive		Savane herbeuse
	Fourres arbustifs		Masque nuage
	Savane arbustive		Masque ombre

"PIX'ILES 90"

**Journées internationales tenues à Nouméa - Nouvelle-Calédonie
et à Tahiti - Polynésie Française
19 / 24 novembre 1990**

**International workshop held at Noumea - New Caledonia
and Tahiti French - Polynesia
November 19 / 24 1990**



© ORSTOM, Nouméa, 1992

Imprimé par le Centre ORSTOM
de Nouméa
Septembre 1992

