

PRISE EN COMPTE DU RELIEF DANS LA CLASSIFICATION DES ETATS DE SURFACE A PARTIR D'IMAGE SPOT. EXEMPLE DE LA PRESQU'ILE DE TARAFAO (TAHITI)

BORNE F.¹, DEPRAETERE C.², FEAU C.³, FOL P.³

RESUME

Le relief en lui-même et ses conséquences climatiques interviennent dans la répartition spatiale des formations végétales naturelles ainsi que sur l'emprise anthropique sur les paysages. La classification des états de surface à partir d'imagerie satellitaire est fréquemment entachée de "confusions radiométriques", deux milieux différents pouvant présenter des signatures radiométriques proches. Ce phénomène se rencontrera particulièrement dans les régions où le climat n'entraîne pas de différenciation saisonnière notable dans l'activité chlorophyllienne d'une végétation dense, ni dans les calendriers culturels. Tel est le cas de la presqu'île de Taravao.

On a cherché à lever les ambiguïtés en ajoutant aux canaux radiométriques classiques un certain nombre de fichiers de données morphologiques dérivés d'un Modèle Numérique de Terrain (M.N.T.).

A l'issue d'une campagne de terrain, les variables altitude et pente sont apparues comme les critères morphologiques les plus discriminants. Un seuillage en quelque classes de ces deux nouveaux canaux a permis de distinguer et de cartographier de manière simple et pertinente, au sein de classes radiométriques homogènes, des classes d'états de surface correspondant à des milieux différents: par exemple, la confusion entre les pâturages denses de la partie basse des plaines et les formations arbustives occupant les lanières amont de ces mêmes plaines a été levée grâce au canal altitude.

L'emploi de critères morphologiques supplémentaires aurait sans doute permis d'affiner la classification en éliminant des erreurs de moindre importance. L'imperfection de la correction géométrique dans les zones les plus accidentées n'a pas permis d'atteindre ce stade.

Les résultats de cette classification ont été matérialisés par l'édition d'une carte des états de surface de 4350 ha de terres émergées, à l'échelle du 1/20.000 ème.

¹CIRAD/SCI-DETEC, Laboratoire d'Analyse d'Images, av. du Val de Montferrand B.P. 5035, 34032 Montpellier CEDEX

²ORSTOM, Laboratoire d'Hydrologie, 2051 avenue du Val de Montferrand, B.P. 5045, 34032, Montpellier CEDEX

³CIRAD/IRAT, avenue du Val de Montferrand, B.P. 5035, 34032, Montpellier CEDEX

A l'heure où les SIG et les possibilités qu'ils offrent en matière de combinaisons de données géographiques nous font redécouvrir les vertus d'une étude globale du milieu, le Modèle Numérique de Terrain (MNT) s'affirme de plus en plus comme le partenaire privilégié de l'image de télédétection. A cela, on peut trouver plusieurs raisons :

- le relief est un élément fondamental du système "paysage". Quelle que soit la problématique, il est souvent un des critères pertinent du milieu.
- le MNT et ses fichiers dérivés ont une structure raster comparable à celle des images de télédétection ce qui facilite leur importation dans les systèmes de traitement. Ils peuvent être alors considérés comme des canaux "morphologiques" complémentaires des canaux radiométriques classiques.
- la possibilité de calculer directement les MNT à partir de couple d'images SPOT en fait des produits à part entière de la télédétection. Il est indispensable en matière de corrections radiométrique et géométrique des images de télédétection.

Dans le cadre de la télédétection, le MNT a été conçu dans un premier temps comme un simple outil de corrections géométrique et radiométrique des images satellitaires. Son utilisation thématique en tant que source d'information sur la morphologie des paysages est postérieure et reste encore marginale. La tendance actuelle démontre que l'utilisation des MNT en télédétection semble aller de soi. Ce mariage de raison entre les deux types d'images est manifeste au point que nombre de systèmes de traitement d'images tels DIDACTIM (1989), MULTISCOPE (1988) ou PLANETES (1990) offrent déjà un certain nombre de fonctionnalités propres aux MNT (voir fonctionnalités de ces logiciels dans les références).

1. DES CANAUX "MORPHOLOGIQUES" POUR QUOI FAIRE?

Nous donnerons un aperçu des principaux fichiers dérivés (canaux "morphologiques") que l'on peut obtenir à partir de MNT et de leur intérêt du point de vue de l'interprétation des formes de terrain.

Le MNT en soi est déjà un canal morphologique puisqu'il représente le champ des altitudes. Pour peu que le relief soit suffisamment marqué, les paysages présentent un étagement altitudinal assez simple facilement identifiable à partir d'un MNT.

Les autres canaux morphologiques sont "dérivés" du MNT ce qui signifie en fait qu'ils sont calculés à partir de ce dernier. La pente en est l'exemple le plus simple et le plus communément utilisé. Elle correspond à la notion de dérivée première de la surface. Afin qu'elle puisse être facilement interprétable en terme de processus, il est préférable de la décomposer entre sa composante verticale soit la pente stricto sensu et sa composante horizontale à savoir l'orientation par rapport aux points cardinaux. La pente influence les processus de transfert : leur vitesse par exemple est proportionnelle au carré de la pente. Le rôle de l'orientation intervient surtout au niveau du topo-climat en particulier par les différentiation adret-ubac en zone de montagne. Il est préférable en ce cas de tenir compte également de la pente. En effet, l'exposition devient peu significative lorsque les pentes sont faibles, a fortiori quand elles sont nulles (indétermination de l'exposition).

Il est également possible de calculer à partir du MNT les courbures des formes de terrain. Elles représentent les dérivées secondes de la surface (Evans, 1981). Il convient de distinguer les courbures qui se rapportent à des lignes de celles qui correspondent à la surface (Dupéret, 1989). On peut distinguer quatre mesures de courbure relatives à des lignes particulières de la surface:

- La convexité horizontale : elle mesure la courbure locale de la courbe de niveau (ligne $\Delta Z=0$). Elle contrôle les caractéristiques de convergence ou de divergence des flux le long des lignes de plus grande pente.
- La convexité verticale : elle mesure la courbure locale de la ligne de plus grande pente (ligne de pente ΔZ max). Elle rend compte de l'accélération ou au contraire de la décélération des transferts vers l'aval.
- La convexité transversale : elle mesure la courbure locale de la perpendiculaire à la ligne de moindre pente (ligne de pente ΔZ min). Cette ligne de moindre pente correspond dans un fond de vallée au talweg et sur un interfluve à la crête. Cette mesure rend compte de l'importance des formes situées latéralement, celles-ci pouvant être dominantes (cas des talwegs) ou à l'inverse dominées (cas des crêtes) par rapport à la ligne de moindre pente. En terme géomorphologique, elle se rapporte à la notion d'encaissement.
- La convexité directionnelle : elle mesure la courbure locale de la ligne de plus grande pente dans le plan. Elle indique la direction (vers la droite ou vers la gauche) des transferts vers l'aval. Elle permet de distinguer les versants lévogyres (tournant vers la gauche) des versants dextrogyres (tournant vers la droite).

L'ensemble de ces courbures a une signification hydrologique ou géomorphologique précise. Les trois premières ont une influence directe sur les processus de transfert. Ces courbures permettent de différencier dans le paysage deux grandes familles de formes (figure 1) : d'une part les fonds de vallée se rattachant au réseau de talwegs (faciès concave dominant), d'autre part les interfluves associées au réseau de crêtes (faciès convexe dominant). En revanche, la convexité directionnelle n'a d'intérêt que descriptif, le caractère dextrogyre ou lévogyre d'un versant n'ayant aucun effet sur les propriétés des transferts. Elle permet de partitionner la surface en "facettes" correspondant à des versants de convexité directionnelle homogène.

Nous mentionnerons 3 types de courbures relatives à la surface:

- la courbure moyenne soit le laplacien:
- la courbure totale
- la courbure moyenne quadratique : elle est proportionnelle à l'énergie de tension d'une plaque mince dont la déformation est donnée par les altitudes locales.

Elles ont l'avantage de donner un aperçu global des courbures de la surface (cf Dupéret pour les méthodes de calcul). Du fait même de leur vertu "intégratrice", leur signification en termes géomorphologiques est incertaine dans la mesure où leur effet sur les processus est difficilement prévisible. Ceci rend l'interprétation des résultats d'autant plus délicate.

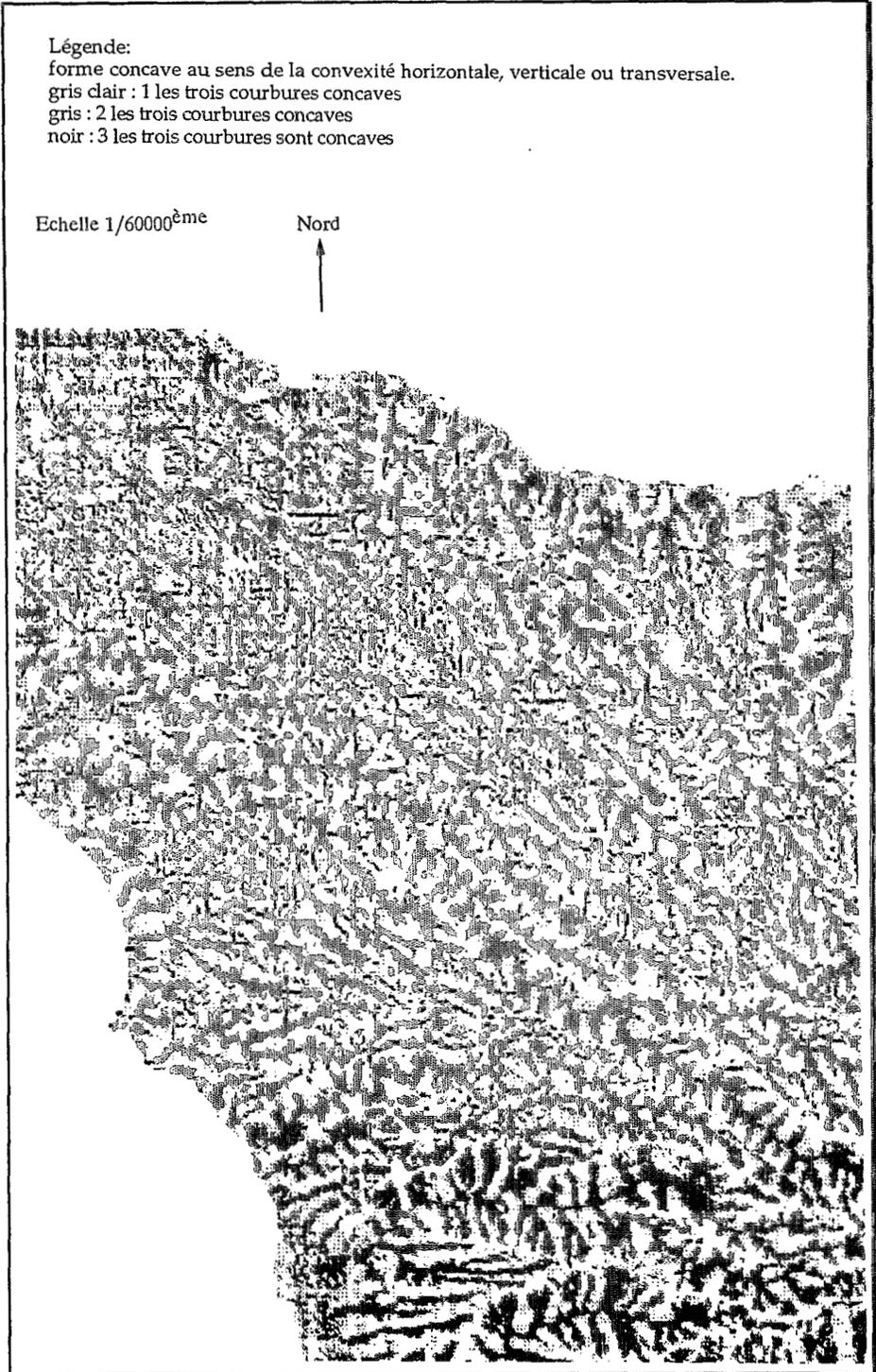


Figure 1 : Différentiation vallée-interfluve à l'aide de critères de courbures (convexités horizontale, verticale et transversale) sur la région de Taravao à partir d'un MNT au pas de 20 mètres.

D'autres mesures peuvent être faites à partir du MNT en particulier celles qui sont relatives aux caractéristiques du drainage. Il est possible d'obtenir un modèle de drainage de la surface représentée par le MNT. Parmi les multiples mesures pouvant être dérivées du modèle de drainage, la surface drainée s'avère être la plus utile en matière de télédétection. Elle donne en tout point de l'image la superficie du bassin versant situé à l'amont du point considéré. Ce paramètre permet de seuiliser de façon simple le réseau hydrographique

2. INTEGRATION DES MNT DANS LES SYSTEMES DE TRAITEMENT D'IMAGES DE TELEDETECTION

La première difficulté à laquelle doit faire face l'utilisateur de MNT est bien entendu celle de sa disponibilité à la résolution souhaitée. La solution qui semble la plus simple consiste à obtenir le MNT par corrélation automatique à partir d'un couple d'images stéréoscopique. Cette filière présente quelques inconvénients majeurs:

- Nécessité de disposer d'un couple d'images sans nuages prises à des périodes semblables du point de vue des états de surface. Si ceux-ci ont changé lors de la prise de la deuxième image, la corrélation automatique ne pourra pas fournir de résultats fiables.
- Programmation du satellite pour la visée latérale.
- Coût élevé : achat de deux images au lieu d'une, coût de la prestation auprès de sociétés de service.
- L'altitude calculée est celle du sursol et non la surface topographique.
- Erreur maximale inconnue, seule l'erreur quadratique moyenne étant fournie.

Les délais d'obtention des MNT par cette filière peuvent donc être longs pour un résultat qui peut s'avérer décevant et cela pour un coût élevé.

La seconde filière consiste à utiliser des cartes topographiques. Encore faut-il disposer de documents dont l'échelle est compatible avec la résolution souhaitée. Il est illusoire de vouloir calculer un MNT au pas de 100 mètres à partir d'une carte au 1/500.000^{ème} : 1 pixel représenterait alors sur la carte 2 dixièmes de mm ce qui est sensiblement inférieur à la précision que l'on peut espérer (cumul des erreurs de la carte et de celle provenant de la numérisation). On peut s'imposer comme règle de ne pas choisir une résolution représentant moins de 1 mm sur la carte (soit 25 mètres à partir du 1/25.000^{ème}). Une fois les informations topographiques numérisées, il est nécessaire de disposer d'un logiciel d'interpolation ad hoc. En effet, les surfaces topographiques ne sont pas quelconques : elles correspondent à une logique hydrologique des paysages. D'autre part, les informations de base sont à la fois des points cotés et des courbes de niveau qui doivent être traités différemment lors de l'interpolation.

Les fonctionnalités actuelles des systèmes de traitement d'image en matière d'exploitation de MNT se limitent à calculer les pentes et les orientations. Les résultats en général calculés sur deux octets sont dégradés sur un octet. S'agissant d'une distribution circulaire, les expositions devraient être traitées de façon spécifique (le maximum 359° est en effet très proche du minimum 0°).

Comme mentionné précédemment, il est possible d'extraire, à partir des autres

fichiers dérivés, les réseaux de crêtes et de talwegs. Outre son intérêt thématique, cette possibilité facilite le recalage des canaux radiométriques sur les canaux morphologiques. Cette étape est fondamentale car elle permet à la fois de mettre en correspondance les différentes images (à quelques pixels près) et de ramener les images de télédétection dans un référentiel géographique connu (correction géométrique). L'utilisation des réseaux de lignes caractéristiques extraites du MNT n'est pas qu'une commodité : en multipliant les points de recalage facilement repérables sur les deux types d'images, on améliore sa qualité qui tend vers un optimum (correspondance pixel à pixel sur l'ensemble de l'image).

3. EXEMPLE D'APPLICATION A LA PRESQU'ILE DE TARAFAO (TAHITI)

3.1. Objectifs de l'étude

Les canaux morphologiques ont été intégrés dans le logiciel de traitement d'image DIDACTIM afin d'affiner la classification des états de surface obtenue avec l'image SPOT.

L'étude menée sur la presqu'île de Taravao (figure 2) doit contribuer à l'élaboration d'un schéma directeur de l'aménagement de la zone des "plateaux" de Taravao : en fait, il s'agit de planèzes qui correspondent aux lambeaux de l'ancien édifice volcanique entaillé par de profondes vallées (figure 3). L'objectif est de fournir une cartographie actualisée des ressources, des caractéristiques du milieu et de l'occupation des sols.

3.2. Méthodologie et résultats de l'étude

3.2.1. Réalisation du MNT

La filière cartographique a été utilisée pour générer le MNT. Le document de base est à l'échelle du 1/20000^{ème} ce qui autorise le calcul d'un MNT au pas de 20 mètres compatible avec la résolution des canaux radiométriques des images SPOT utilisées. L'ensemble des logiciels faisant partie de DEMIURGE ont permis la réalisation des canaux morphologiques (figure 4):

- Logiciel TOPOLOG : numérisation des courbes de niveau de la carte à partir de la table à numériser (Depraetere, 1990, a).
- Logiciel OROLOG : interpolation des altitudes aux noeuds de la grille du MNT au pas de 20 mètres (Depraetere, 1990, b).
- Logiciel LAMONT : calculs des fichiers dérivés du MNT : pentes, orientations et courbures (Depraetere, 1989).

3.2.1. Traitement de l'image SPOT

La méthode adoptée par l'IRAT pour la connaissance des milieux agricoles et de leur insertion dans le paysage grâce à la télédétection satellitaire comporte les étapes suivantes (Bruneau et al., 1986, Fol 1989) :

- Choix des scènes.
- Préclassification de l'image.
- Vérité-terrain.
- Elaboration de la carte des états de surface.

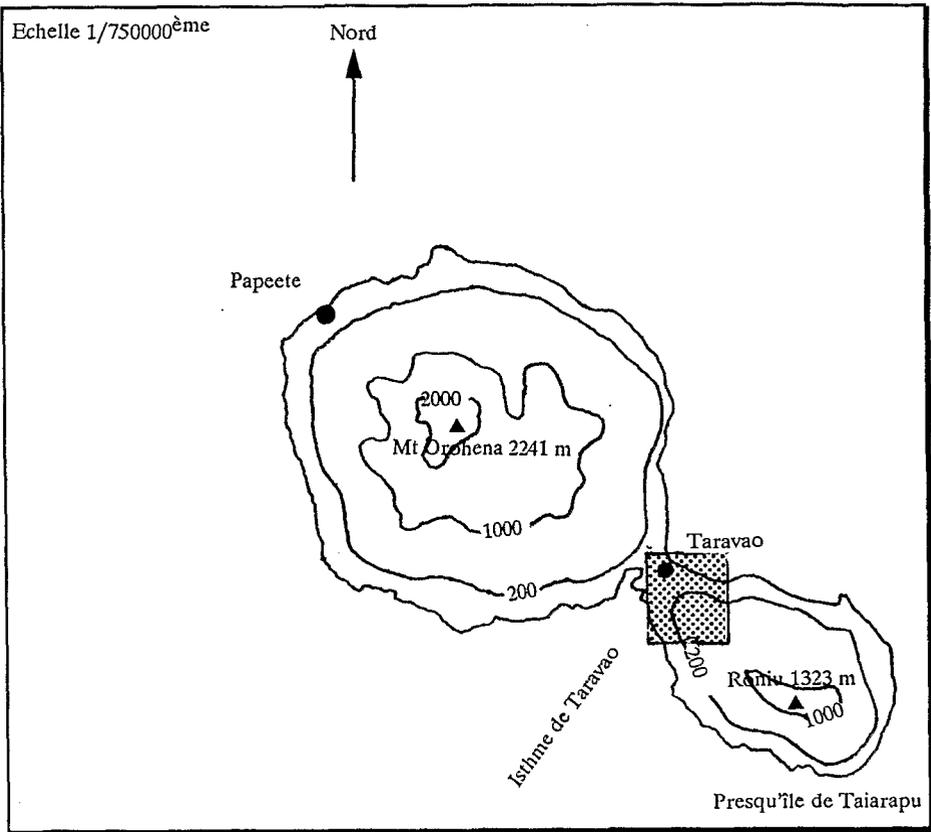


Figure 2 : Localisation de la zone d'étude de la presqu'île de Taravao sur l'île de Tahiti

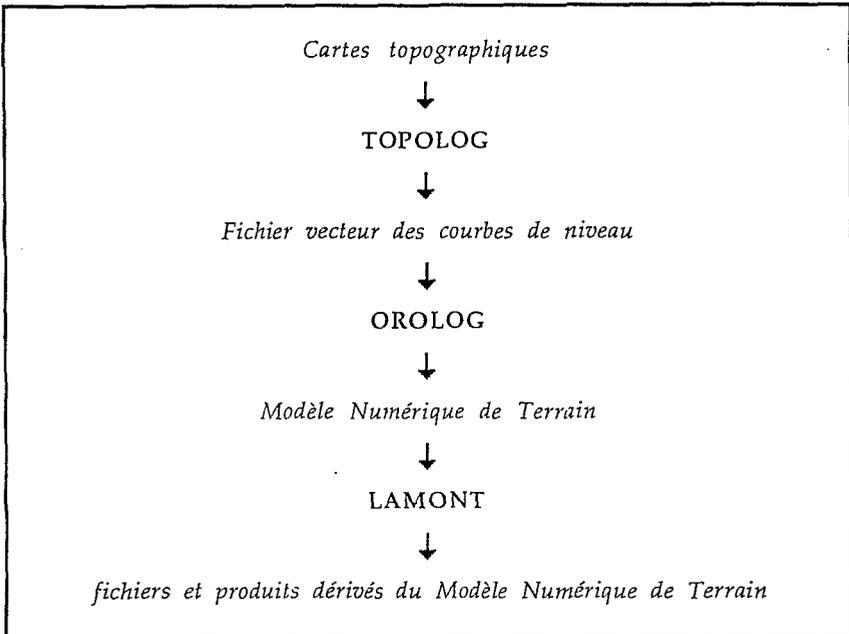
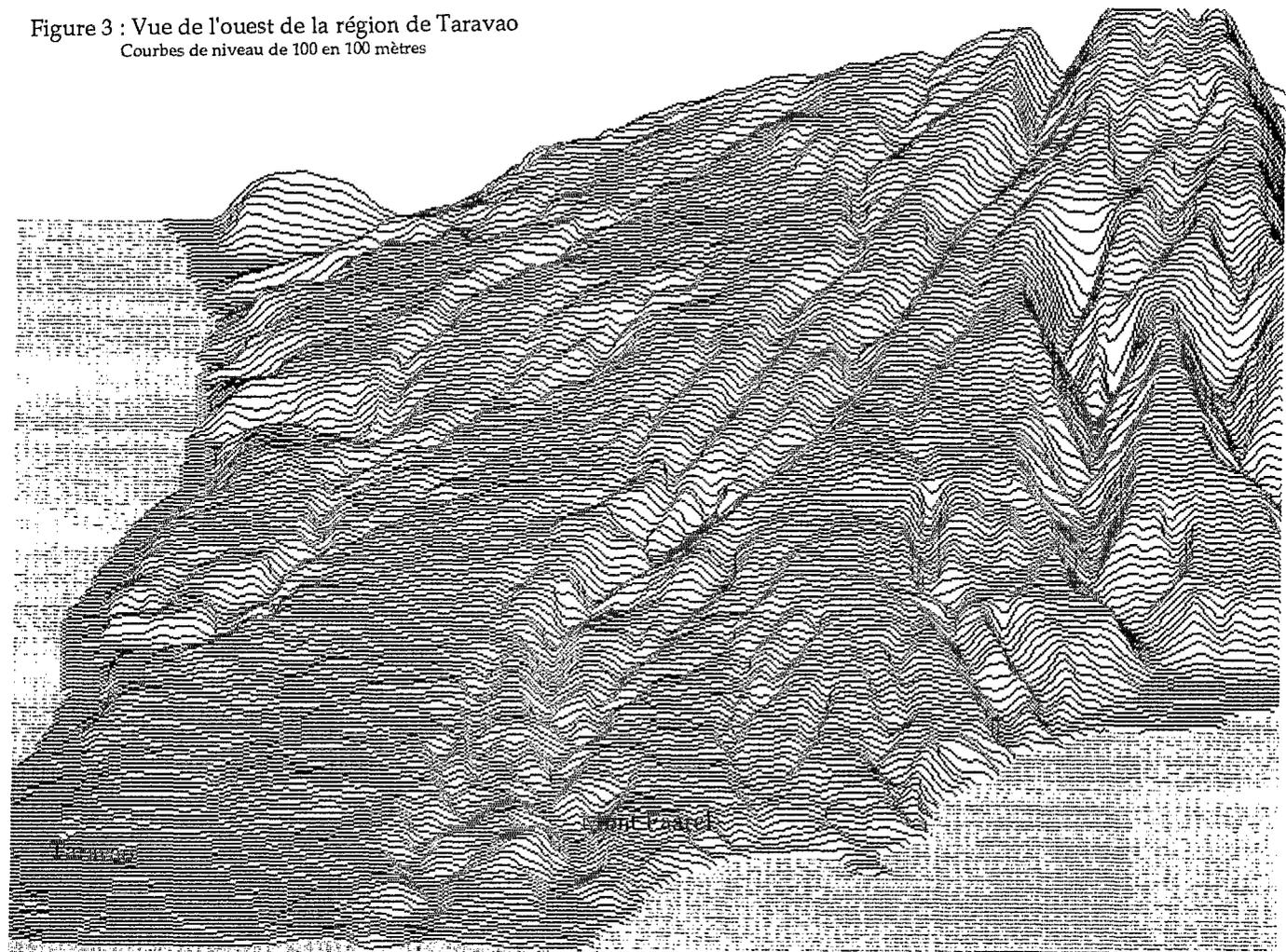


Figure 4 : Chaîne DEMIURGE de production et de traitement de MNT
 (L'ensemble des logiciels a été développé au Laboratoire d'Hydrologie de l'ORSTOM à Montpellier. Ils peuvent être obtenus gratuitement en en faisant la demande auprès de ce laboratoire)

Figure 3 : Vue de l'ouest de la région de Taravao
Courbes de niveau de 100 en 100 mètres



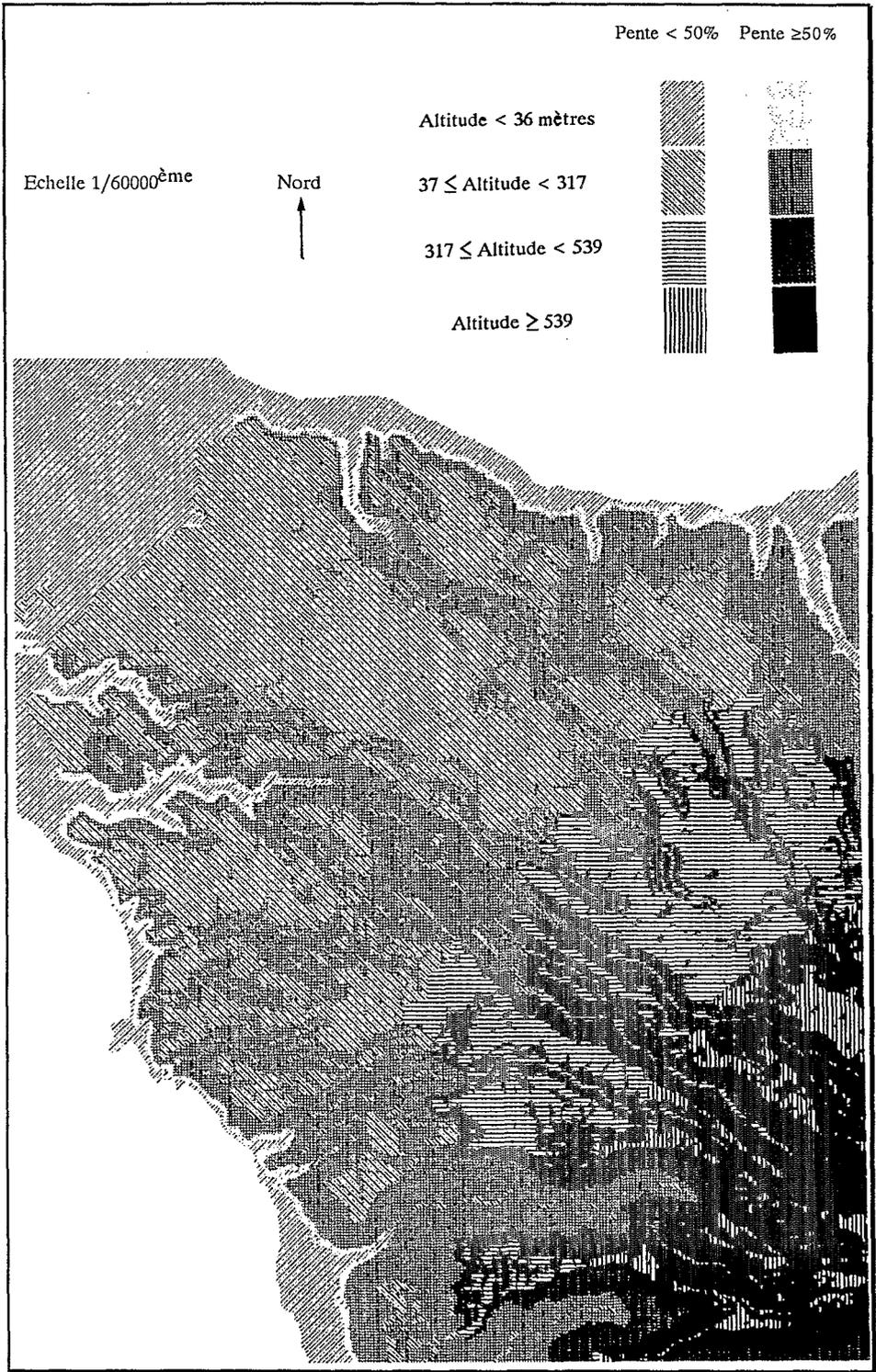


Figure 5 : Les huit faciès morphologiques pris en compte dans la classification des états de surface

L'image utilisée a été acquise le 24 octobre 1989. Dans le cas présent, la nébulosité fréquente en altitude a été le critère déterminant du choix de la date, les calendriers culturels n'étant pas soumis à des contraintes saisonnières importantes. Une préclassification de l'image a été effectuée afin d'obtenir une "composition colorée améliorée" (P. Fol, 1989) devant servir de document cartographique de référence lors de la campagne de vérité-terrain. Celle-ci s'est déroulée du 15 janvier au 15 février 1990. La nouvelle classification a été faite par la méthode supervisée de classification multidimensionnelle "hypercube" avec saisie des zones d'entraînement. En plus des canaux bruts XS1, XS2 et XS3, les indices de végétation et de brillance ont été utilisés dans une première approche. L'indice de brillance, n'apportant aucune amélioration sensible à la classification, a été abandonné par la suite. Cette première classification a confirmé les confusions radiométriques observées sur la préclassification, en particulier entre les pâturages denses de basse altitude et certaines formations arbustives d'altitude. Les canaux morphologiques altitude et pente ont été utilisés dans la classification afin de lever ces confusions. Les pentes ont été divisées en 2 classes:

- pentes inférieures à 50% elles correspondent à la plaine côtière et aux plans structuraux inclinés formés par les planèzes.
- pentes supérieures à 50% : elles sont associées aux versants abruptes des vallées disséquant les planèzes.

Quatre classes ont été distinguées sur le canal altitude:

- de 0 à 36 mètres : il s'agit de la plaine côtière, de la partie inférieure des vallées et du piémont de la falaise périphérique. Cette zone est marquée par l'activité humaine.
- de 37 à 316 mètres : cette classe correspond à l'étage où se concentre l'activité agricole.
- de 317 à 539 mètres : quelques pâturages et de rares vergers subsistent à cet étage qui est dominé par des formations arborées.
- au dessus de 539 mètres : l'activité agro-pastorale a entièrement disparu. Les crêtes et les lanières de plateau sont occupées par des taillis spécifiques.

La combinaison des classes des deux canaux permet donc de distinguer 8 "faciès morphologiques" (figure 5). Ils se sont avérés suffisants pour lever les principales confusions observées lors de la classification avec les canaux radiométriques seuls. Une présentation détaillée de la classification est donnée dans Féau et al. (1990).

4. VERS UNE TELEDETECTION ELARGIE

L'introduction de données exogènes dans le traitement d'images de télédétection n'a été que marginale jusqu'à nos jours bien que nombre de thématiciens aient eu conscience que cet élargissement soit la seule planche de salut. On peut s'interroger sur ce relatif isolement de la télédétection au sein de la grande famille de l'infographie dont elle fait partie. Ce "splendide isolement" semble prendre fin alors que certains "télédétecteurs" constatent un plafonnement de leur discipline dû à la complexité de l'interprétation physique des mesures radiométriques.

Les MNT, pour les raisons évoquées précédemment, sont sans doute un des principaux éléments susceptibles de permettre à la télédétection de dépasser ses limitations actuelles. De plus, ils contribuent à rendre les résultats plus intelligibles auprès des thématiciens qui sont en général davantage aptes à concevoir un paysage en termes morphologiques qu'en termes radiométriques.

Certes, le relief seul ne peut prétendre expliquer tout ce qui échappe à la télédétection. Toutefois, par ces conséquences sur le climat et les contraintes qu'il exerce sur les sols, la végétation et les activités humaines, il peut apparaître comme un critère global intégrant bon nombre des caractéristiques des milieux étudiés. Hier simple outil de correction d'image ou gadget infographique permettant de produire des vues perspectives, le MNT acquiert ses lettres de noblesse auprès du grand frère télédétection. La synergie entre les deux types d'images ne peut que contribuer à une meilleure compréhension des paysages et de leur utilisation.

REFERENCES

- Bruneau M., Kilian J., 1986 :L'apport des données satellitaires dans l'établissement de cartes utilisées par le développement rural. V. CNES SPOT IMAGE. Colloque international SPOT 1. Premiers résultats en vol, 17-19 décembre 1986.
- Depraetere C., 1989 :LAMONT : Logiciel d'Application des MODèles Numérique de Terrain. Notice OVNIh n°4, Laboratoire d'Hydrologie, ORSTOM, centre de Montpellier, décembre 1989.
- Depraetere C., 1990, a :TOPOLOG : Logiciel de saisie et de planimétrage à partir de table à numériser. Notice OVNIh n°5, Laboratoire d'Hydrologie, ORSTOM, centre de Montpellier, juin 1990.
- Depraetere C., 1990, b :OROLOG : Logiciel d'interpolation de Modèle Numérique de Terrain à partir de courbes de niveau. Notice OVNIh n°6, Laboratoire d'Hydrologie, ORSTOM, centre de Montpellier, juillet 1990.
- DIDACTIM, 1990 :Société AES Image, Miniparc, Innopole, voie 2 B.P. 302, 31328 Labege, Version 3.3/C.1, juin 1990, (fonctionnalités calcul pentes et orientations, visualisation 3D filaire et par facette, seuillage plage de niveau et courbes de niveau).
- Dupéret, A., 1989 :Contribution des MNT à la géomorphométrie. DEA en Sciences de l'Information Géographique, Ecole nationale des Sciences Géographiques de l'IGN et Laboratoire IMAGEO du CNRS, Saint-Mandé, septembre 1989.
- Evans, I.S., 1981 :General Geomorphometry. In Geomorphological Techniques, British Geomorphological Research Group, Allen & Unwin, pp. 31-37.
- Féau C., Fol P., 1990 :Cartographie des états de surface : presqu'île de Taravao (Tahiti). Congrès Pix'iles, IFREMER-ORSTOM, Mouméa et Papeete, Novembre 1990.
- Féau C., Fol P., 1990. Utilisation d'images satellitaires SPOT pour la mise en valeur agricole des terres (Taravao, Nuku-Hiva) Volet I: île de Tahiti, Presqu'île de Tairapu (Taravao) CIRAD-IRAT, 26p. 1 carte des états de surface au 1/20000.

Fol P., 1989:Classification d'une image seuillée pour l'évaluation cartographique de l'emprise agricole. CIRAD-IRAT, décembre 1989.

MULTISCOPE, 1988 :société CAP-sesa-région, Technopolis 8, rue Mesple, B.P. 1155, 31036 Toulouse, Version 1,2, Septembre 1988 (fonctionnalités calcul des pentes et des orientations)

PLANETES, 1990 :Développé par Mamy Rakoto, Laboratoire d'Informatique Appliquée, ORSTOM, Bondy (fonctionnalités calcul des pentes et des orientations, vue 3D filaire).