

21

GIPSY

Un système d'informations géographiques orienté image

Jean-Paul DONNAY et Marc BINARD

SURFACES — Département de géographie, Université de Liège, 7 place du XX août, B4000 Liège, Belgique; Téléphone +32(41)665424; Télécopie : +32(41)66593

• Résumé •

Dans le cadre d'un contrat d'étude IBM (I), nous avons réalisé un système d'informations géographiques (S.I.G.) orienté image et intitulé GIPSY, pour Geographical Information and Processing System. La configuration matérielle est notamment caractérisée par un PS2/80 et une carte graphique 8514/A. Le logiciel est développé en Pascal sous DOS. Le système est composé de différents modules, dont trois sont réservés à l'environnement de travail. Le module Image couvre toutes les fonctions nécessaires au traitement des données issues, notamment, de la télédétection. Le module S.I.G. est conçu, dès le départ, pour exploiter les facilités du mode image, mais il permet une manipulation totalement hybride (maillé-vecteur) des informations spatiales. Un module est réservé à la constitution d'images géographiques de synthèse, parmi lesquelles le modèle numérique de terrain (M.N.T.) et ses produits dérivés, et les modèles gravitaires tels que le modèle de potentiel.

Présentation générale

Fin 1987, des logiciels de traitement d'images et plusieurs systèmes d'informations géographiques (S.I.G.) étaient déjà disponibles sur des configurations micro-informatiques. Cependant, ces derniers étant presque exclusivement orientés « vecteur », l'intégration de

(1) I.B.M. est une marque déposée de International Business Machines Corporation.

données telles que celles issues de la télédétection dans un S.I.G. posait des difficultés. La forme matricielle ou maillée convient bien à l'appréhension de surfaces géographiques continues, résultant de l'application de modèles par exemple, or ces surfaces ne pouvaient non plus être prises en compte directement par des S.I.G. orientés uniquement « vecteur ». La solution consistait à prévoir un S.I.G. hybride, capable de manipuler les données dans les deux modes et de faire appel alternativement aux algorithmes les plus performants selon le traitement envisagé.

Un contrat d'étude a été signé en décembre 1987 avec la cellule de recherches académiques (ACIS) d'IBM Belgique. Le cahier des charges prévoyait précisément le développement d'un S.I.G. hybride original sur une station micro-informatique alors en début de commercialisation. Bien qu'une version opérationnelle du logiciel GIPSY ait été présentée au terme du contrat (Donnay, 1989), le produit fait toujours, un an plus tard, l'objet d'ajouts et de développements. Il est actuellement utilisé dans le cadre d'enseignements en cartographie numérique, S.I.G. et télédétection et dans divers contrats d'étude. Il ne fait pas l'objet d'une commercialisation, mais nous espérons, notamment par le canal de l'AUPELF, favoriser sa diffusion auprès des écoles supérieures et universités.

Le logiciel est écrit en Pascal, sous le système d'exploitation DOS 4. Il n'utilise aucune bibliothèque additionnelle, toutes les procédures étant originales. La version actuelle totalise quelques 30 000 lignes de programme, regroupées en plus de 60 unités gérées par segmentation (tab. 1). Son exécution ne requiert que du matériel standard IBM, ou compatible. La configuration de base recommandée est la suivante :

- système d'exploitation : DOS 4 ou plus récent;
- PS-2/80 (ou équivalent 80 386), disque dur d'environ 100 Mo, 2 Mo de mémoire centrale, co-processeur mathématique;
- écran VGA couleur (éventuellement N/B) exploité en mode alpha-numérique;
- carte graphique 8 514A (1 024 X 768 pixels, 256 couleurs simultanées parmi 256k couleurs possibles) et écran couleur correspondant, exploité en mode graphique;
- imprimante matricielle du type Proprinter.

L'extension de la mémoire centrale, utilisée sous forme de disque virtuel, et le co-processeur ne sont pas indispensables mais très souhaitables. La taille du disque dur est fonction de l'intensité d'utilisation, en se souvenant qu'une image 512 X 512 occupe un quart de Mo. Le logiciel est en outre capable de fournir des fichiers images sous le format TIFF (Tag Image File Format, Aldus Corporation, 1988) permettant une impression de qualité sur une imprimante laser du type IBM PagePrinter.

Contexte d'exploitation

L'interface-utilisateur est totalement interactive et utilise les menus, fenêtres et masques de saisie. La sélection des options, la saisie des données et la confirmation des opérations sont confiées au clavier. Une aide en ligne, éventuellement sur plusieurs pages, une impression de la fenêtre courante et un retour temporaire au système d'exploitation sont accessibles à tout moment par l'intermédiaire de touches de fonction.

TABLEAU 1
Arbre des fonctions principales de GIPSY.

Fichier	Édition	Config.	Transfor.	Modèle	Image	S.I.G.	Quitter
Répertoire	Charge	Écran	Source	MNT	Charge Image	Masque	
Change Rép.	Nouveau	Disque Virtuel	Octets	Création	Sauve Image	Création	
Création Rép.	Classes	Répertoires	Réels	Élévations	Classifications	Valeur (img)	
Déplace Rép.	Image	Imprimante	Tiff	Isolignes	Zones test	Vecteur	
Supprime Fichier	En-tête.		Bna	Gradient	Distance min.	Intervalle (img)	
Copie Fichier	Dessin		Drw	Orientation	Hyper-Bofies	Opérations	
Déplace Fichier	Légende		Cible	Estompage	Résidus	Charge premier masque	
Espace libre	L.U.T.		Octets	Contour	Validation	NOT écran	
DOS	Texte		Tiff	Plages	Améliorations	Ecran AND Masque	
	Texte		Arclinfo	Isolignes	Contraste	Ecran N-ND Masque	
	Impression		Surfer	Visibilité	Édition	Ecran OR Masque	
			Bna	Potentiel	Régression	Ecran NOR Masque	
			Drw		Inverse	Ecran XOR Masque	
					Seuillage	Ecran NXOR Masque	
					Substitution	Sauve dernier masque	
					Filtres	Masque x Image	
					Utilisateur	Recherche	
					Contour	Table	
					Gradient	Image x Image	
					Passé-haut	Image x Vecteur	
					Passé-bas	Pondération vecteur	
					Texture		
					Morphologie		
					Erosion		
					Dilatation		
					Fermeture		
					Ouverture		
					Chapeau haut forme		
					Squelettisation		
					R.D.I.		
					Masque intérieur		
					Masque extérieur.		
					Incrustation		
					Transformation		
					Anthémique		
					Composition colorée		
					T.S.I.		
					Normalisation		
					Indices		

La plupart des fonctions sont accessibles au travers des menus et boîtes de dialogue affichés sur l'écran alphanumérique de la configuration. Quelques fonctions particulières, qualifiées par la suite de fonctions « cosmétiques », sont pourtant sélectionnées via une ou deux lignes de commandes apparaissant sur l'écran graphique.

L'écran graphique est subdivisé en plusieurs zones (fig. 1). Au-dessus, se situe la ligne principale de commandes, reprenant l'intitulé de toutes les fonctions cosmétiques. La sélection d'une de ces fonctions provoque l'affichage d'une ligne secondaire de commandes, directement en-dessous de la première, reprenant les différentes options relatives à la fonction choisie. Une partie importante de l'écran est occupée par la fenêtre dédiée à l'image, soit une zone de 512 X 512 pixels, entourée d'un cadre et surmontée du nom de l'image active. Sous cette fenêtre apparaissent la table active des couleurs et son intitulé. Le bas de l'écran est occupé par d'éventuels commentaires relatifs à l'utilisation de la commande en cours. La partie droite de l'écran est occupée par la zone de travail. Selon le cas, on y trouve les statistiques et l'histogramme de l'image, les coordonnées du curseur, une légende, etc.

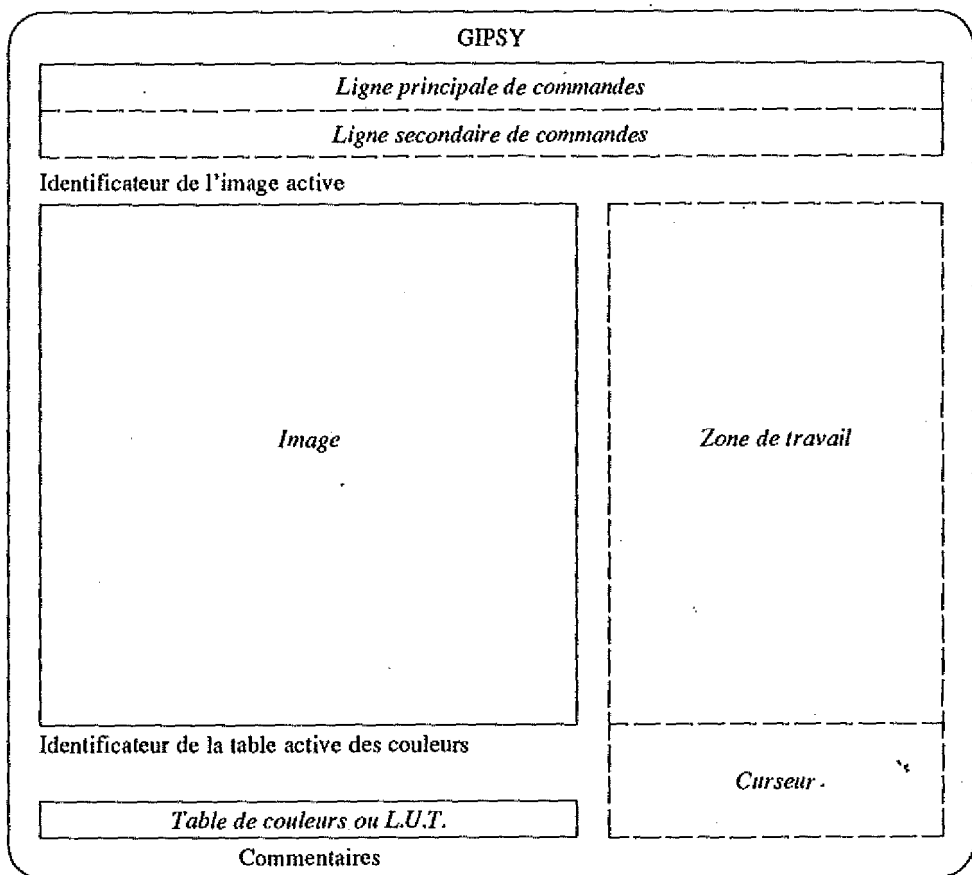


FIGURE 1 – Présentation de l'écran graphique sous GIPSY.

Trois modules sont consacrés à la gestion de l'environnement de travail. Le premier module offre toutes les fonctions classiques de manipulation de fichiers et de répertoires du DOS.

Le second module est dédié à l'édition et à l'impression des fichiers utilisés par GIPSY, à l'exception des fichiers-images qui disposent de leurs propres fonctions de traitement dans un module particulier. Le logiciel crée et utilise plusieurs types de fichiers au format binaire. C'est la raison pour laquelle des éditeurs originaux ont été développés pour permettre l'édition, l'impression et même la création de tous ces fichiers « en clair ». Ces éditeurs fonctionnent comme des tableurs, à l'exception d'un éditeur de texte classique, simplifié mais supportant plus de 32 000 lignes. La reconnaissance du type de fichier et l'appel à l'éditeur correspondant sont automatiques et ne sont pas fonction du nom ou du suffixe du fichier (le type de chaque fichier est incrusté).

Le troisième et dernier module de l'environnement est responsable de la définition et des modifications éventuelles de la configuration. Le type d'écran (couleur ou NB) utilisé en mode alphanumérique, l'affectation d'un disque virtuel, le type et les paramètres de mise en page, le choix de police, etc. de l'imprimante, sont ainsi gérés interactivement en cours d'exécution. De même, il est possible de préciser une série de répertoires spécifiques pour chaque application. Ces répertoires seront proposés par défaut lors de toute utilisation ultérieure de ces applications. Tous les paramètres de configuration sont sauves dans des fichiers de type texte au format ASCII (American Standard Code Information Interchange), pouvant être édités par ailleurs si nécessaire.

La manipulation des images sous GIPSY est soumise à une certaine standardisation. C'est ainsi que les images auront obligatoirement le format de 512 X 512 pixels. On peut s'y ramener par une opération préalable de sondage ou d'extraction offerte par le module de conversion de formats. En outre, chaque pixel doit être codé sur un octet. Des images codées sur un entier de plus de 8 bits ou un réel sont reconnues, et même engendrées et utilisées par GIPSY, mais elles ne pourront être visualisées qu'après mise au format par la fonction adéquate du module de conversion.

Chaque image est accompagnée d'un fichier d'en-tête, reprenant une dizaine de paramètres et disposant du vecteur des fréquences des 256 niveaux de l'image. Ce fichier peut être créé et édité par le module d'édition mentionné plus haut, qui reconstituera également le vecteur des fréquences de manière automatique. Le fichier d'en-tête est séparé du fichier-image, de sorte que ce dernier peut être importé ou exporté dans d'autres systèmes de traitement. Toutes les opérations de chargement et de sauvetage gèrent le couple de fichiers image/en-tête d'une manière transparente pour l'utilisateur.

Système d'informations géographiques orienté image

Principe du S.I.G. orienté image

En première approximation, on peut admettre que la raison d'être d'un S.I.G. est de permettre l'analyse simultanée de plusieurs variables spatialisées. Chacune de celles-ci constitue un niveau d'information qui est représenté, en mode maillé, par une image. L'utilisateur

détermine à chaque niveau un ou plusieurs critères de sélection de l'information, dont la forme dépend de l'échelle de mesure de la variable, soit différentielle, ordinale ou quantitative, et de son implantation spatiale, soit ponctuelle, linéaire ou zonale. En mode maillé, cette sélection se traduit par la constitution d'un masque binaire, où les pixels marqués (valeur 1) correspondent aux sites répondant aux critères de sélection choisis. Puisque chaque niveau d'information peut être soumis à une sélection, chaque image originale peut faire l'objet d'un masquage.

Lorsqu'une sélection adéquate a été appliquée à chaque niveau de l'information, il reste à analyser en chaque point de l'espace envisagé, les combinaisons des résultats issus de ces sélections. Selon la nature de la recherche, le travail consiste à relever les co-occurrences d'événements complémentaires, alternatifs ou exclusifs. Cela se traduit par une ou plusieurs opérations booléennes, éventuellement imbriquées, entré les masques binaires résultant des sélections appliquées aux couches d'information originales. Le résultat final est une image binaire où les pixels marqués (valeur 1) sont les sites recherchés par l'analyse (fig. 2 et DONNAY *et al.*, 1990).

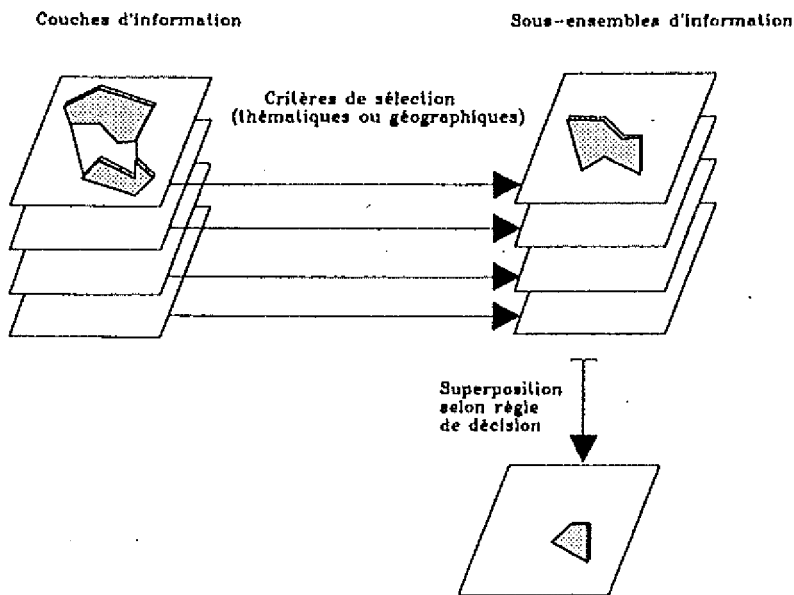


FIGURE 2— Principe d'un système d'informations géographiques.

Le module S.I.G. de GIPS Y est développé dans l'optique d'une exploitation des techniques propres au mode maillé. Les données entrant dans le système sont essentiellement sous la forme de fichiers-images, les traitements mis en oeuvre utilisent presque exclusivement des algorithmes relevant du mode maillé, tandis que tous les produits graphiques issus de ces traitements constituent des images répondant à la standardisation décrite plus haut. Cette approche possède plusieurs avantages. D'une part, les images satellitaires sont directement compatibles avec le système et, d'autre part, les résultats des traitements de ce

module peuvent être soumis, en aval, à toutes les opérations du module Image. En contrepartie, les limites sont celles du mode maillé; en particulier la perte de résolution spatiale éventuelle vis-à-vis du mode vectoriel. Rappelons cependant que cet inconvénient est inhérent à tout système s'efforçant d'intégrer les informations satellitaires.

Les données vectorielles ne sont pourtant pas évacuées des traitements. Elles peuvent être intégrées directement ou indirectement aux divers processus. Ainsi par exemple, les masques binaires, outils essentiels de l'approche en mode maillé, peuvent être engendrés sur la base d'éléments vectoriels. En outre, les données vectorielles peuvent être transformées en mode maillé et, inversement, les informations en mode maillé peuvent être vectorisées au terme des traitements.

Les opérations de masquage

Le masquage constitue l'outil original du SIG, en mode maillé. Là où le mode vectoriel impose l'évaluation d'une série de tests imbriqués pour rencontrer les critères de sélection de l'utilisateur, le mode maillé se contente de définir des masques binaires. Là où le mode vectoriel implique la longue et délicate constitution de polygones par intersection de frontières, le mode maillé effectue une simple opération booléenne entre masques binaires. Certes, le nombre d'opérations élémentaires effectuées en mode maillé est important et l'espace disque nécessaire à la sauvegarde des masques intermédiaires n'est pas négligeable. Cependant, la simplicité des algorithmes et les capacités du matériel actuel font plus que contrebalancer les inconvénients du mode maillé. En fait, les résultats sont obtenus d'une manière plus élégante et plus rapidement que ceux issus des traitements homologues vectoriels, qu'il s'agisse de construire une image-résultat, d'effectuer des comptages et des statistiques ou d'établir des fichiers de données thématiques.

GIPSY offre la possibilité de construire des masques binaires sur la base des valeurs attribuées aux pixels d'une image ou sur la base d'éléments vectoriels. Dans le premier cas, une ou plusieurs valeurs isolées ou encore un ou plusieurs intervalles de valeurs sont sélectionnés sur l'image de manière interactive. Les valeurs retenues sont ramenées à l'unité dans le masque final, tandis que le reste de l'image est annulé.

L'élaboration des masques sur la base des éléments vectoriels implique tout d'abord leur représentation dans l'espace de travail (chargement d'un fichier ou dessin interactif selon la fonction cosmétique de dessin). Ils sont ensuite sélectionnés interactivement mais, selon leur mode d'implantation, reconnu automatiquement, le masquage utilise des options distinctes. Dans le cas ponctuel, l'utilisateur fixe le rayon d'un cercle autour de l'élément ponctuel dont tous les pixels seront portés à 1. Dans le cas linéaire, l'utilisateur fixe la largeur d'un couloir de part et d'autre de la ligne, où tous les pixels seront mis à 1. Enfin, lors de la sélection d'un élément zonal, tous les¹ pixels inscrits sont automatiquement marqués.

Plusieurs sélections peuvent être effectuées en série avant de clôturer la constitution du masque, en mode maillé ou en mode vectoriel et quelle que soit l'implantation des éléments vecteurs. En outre, toute opération de masquage peut être inversée, auquel cas elle porte sur le complément des pixels sélectionnés.

Une fois les masques constitués, le système doit être en mesure de les analyser simultanément. Cette fonction correspond à l'application d'une opération logique entre les pixels homologues des masques (fig. 3). La fonction travaille entre un masque affiché à l'écran et un masque lu sur disque. Le résultat, binaire, étant toujours porté sur l'écran, la fonction peut être utilisée en série sur un nombre illimité de masques. Les 7 opérations booléennes sont accessibles lors de cette opération (fig. 4).

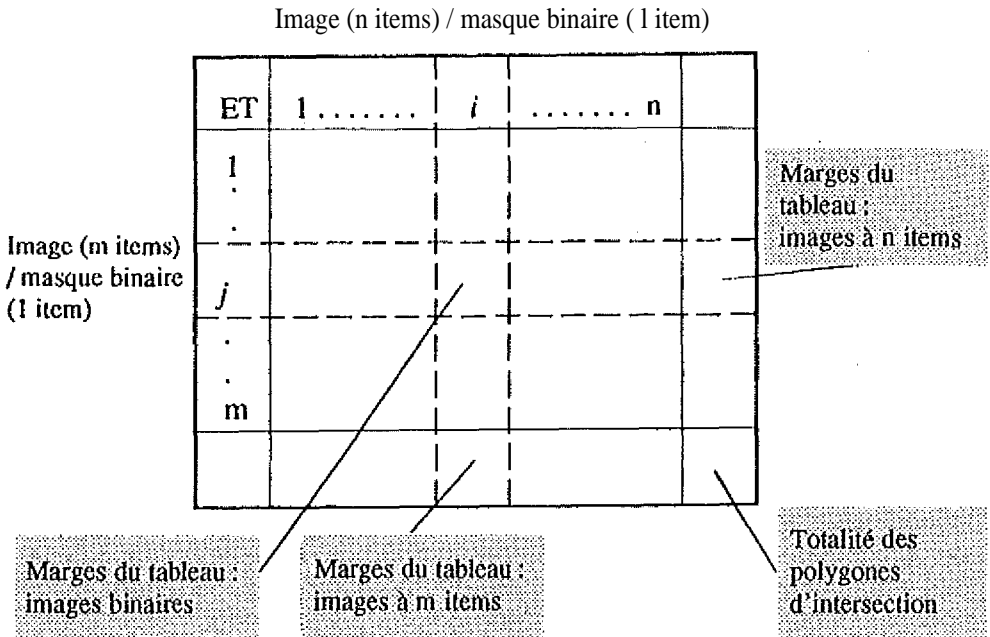


FIGURE 3 — Résultats d'une opération booléenne (ET logique) pixel par pixel entre 2 images / masques binaires.

Une dernière fonction de masquage permet d'introduire, au terme du processus, une image non binaire croisée avec le dernier masque issu de l'opération précédente. Le résultat, non binaire, correspond à éliminer de l'image soumise in fine, tous les pixels non marqués dans ce dernier masque. Elle est obtenue par simple multiplication, pixel à pixel, de l'image non binaire par le masque.

L'extraction de données

Les statistiques, telles que les effectifs, moyennes et autres paramètres descriptifs, sont facilement extraites de l'image, soit dans sa totalité, soit pour des parties de l'image délimitées par un ou plusieurs éléments vectoriels, soit encore après sélection par masquage selon la procédure décrite ci-dessus. Ces informations peuvent être affichées, imprimées ou sauvegardées dans des fichiers de type ASCII facilement intégrés à des bases de données externes.

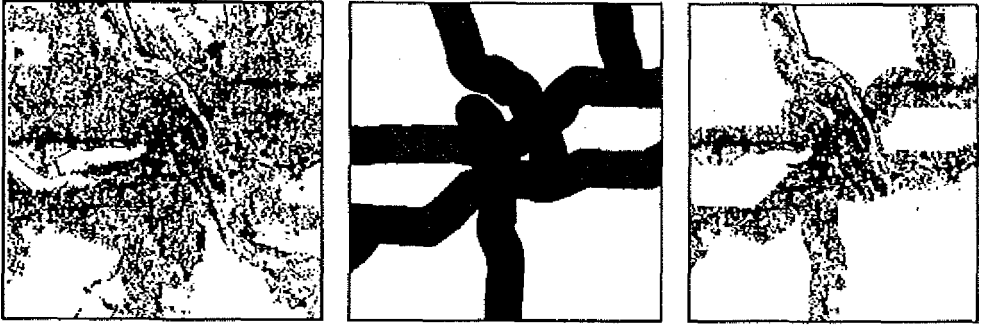


FIGURE 4 — Opération ET logique entre deux masques binaires, le premier étant construit par sélection des modes d'affectation du sol (espaces construits) issus d'une classification supervisée d'une scène satellitaire et le second étant obtenu sur base d'éléments vectoriels rapportés (réseau routier).

Une fonction particulière permet en outre le calcul de tableaux de fréquences entre deux couches d'information soumises au module. Ces couches sont constituées, soit par deux images, soit par une image et une collection d'éléments vectoriels superposables à l'image et sauvegardés dans un fichier adéquat.

La première dimension du tableau correspondant toujours à l'image affichée, le nombre de lignes (ou de colonnes, le tableau pouvant être transposé) peut être déterminé de deux manières distinctes :

- autant de lignes que de valeurs différentes dans l'image;
- autant de lignes que de classes de valeurs dans l'image, les limites de classes étant fournies dans un fichier.

Si l'image est codée de manière différentielle (résultat d'une classification d'une scène satellitaire par exemple) ou si des classes sont imposées à l'intervalle de variation des valeurs de l'image (deuxième cas signalé ci-dessus), un intitulé alphanumérique peut être associé à chaque code ou classe. Cet intitulé est repris en tête des lignes du tableau et si des codes ou classes présentent des intitulés identiques, ils sont réunis au sein d'une même ligne.

Si la seconde dimension du tableau est constituée par une deuxième image, le nombre de colonnes peut être déterminé de la même manière. Si par contre, cette dimension correspond à une couche vectorielle, le nombre de colonnes est égal au nombre d'éléments vectoriels présents dans le fichier.

Le tableau de fréquences peut être présenté selon cinq formes différentes : fréquences absolues, relatives en % du total des lignes ou du total des colonnes ou du total général, ou encore en termes de surfaces, la taille des pixels étant lue dans le fichier d'en-tête de l'image. Les paramètres statistiques sont en outre fournis pour chaque colonne et/ou ligne du tableau.

L'image affichée soumise à cette fonction peut avoir été agrandie ou masquée partiellement (voir les fonctions du module image à la section 4), auquel cas, les tableaux de fréquences ne tiendront compte que des pixels de l'image originale effectivement sélectionnés par le zoom ou la région d'intérêt.

La dernière fonction de ce groupe est typiquement hybride. Elle permet d'extraire l'information en mode maillé sous-jacente à un ou plusieurs éléments vectoriels, non nécessairement zonaux, et de la récupérer dans un fichier ASCII. Les valeurs des pixels inscrits dans des polygones, situés sur le chemin des éléments linéaires ou situés à l'endroit des éléments ponctuels sont seules examinées. Ces éléments vectoriels sont choisis interactivement et pour chacun d'entre eux, l'utilisateur peut obtenir les caractéristiques suivantes :

- présence/absence d'une ou plusieurs valeurs précises;
- fréquences absolues ou relatives de toutes les valeurs présentes;
- statistiques établies sur toutes les valeurs présentes (minimum, maximum, moyenne, écart type, mode, fréquence et surface).

À titre d'exemple, si l'image correspond aux pentes obtenues par traitement d'un M.N.T., on peut extraire la pente moyenne d'un élément linéaire superposé à l'image.

Interrogation interactive

Le module S.I.G. dispose enfin d'une fonction de recherche interactive permettant de visualiser simultanément les valeurs d'un même pixel dans tous les niveaux d'information spécifiés. Seules des couches d'information constituant des fichiers-images peuvent être consultées. L'une d'elles est affichée à l'écran et supporte l'opération de pointage interactif du pixel.

Un tableau est simultanément affiché sur l'écran alphanumérique et reprend les intitulés des images sélectionnées, soit 10 au maximum en plus de l'image affichée. A chaque pointage d'un pixel sur l'écran graphique, ses coordonnées ainsi que les valeurs qu'il présente dans les plans consultés sont visualisées et peuvent être imprimées.

Module image

Standardisation et présentation des images sous GIPSY

Ce module du logiciel est prévu pour le traitement des images de télédétection, plus particulièrement les images satellitaires, et des images géographiques de synthèse construites par un autre module de GIPSY détaillé plus loin.

En ce qui concerne les images satellitaires, il est clair que la configuration décrite précédemment ne convient que partiellement aux traitements pressentis. Le système graphique 8 514 ne dispose que d'un plan graphique 8 bits, c'est-à-dire qu'une seule image

peut être visualisée à la fois, et non toute une scène constituée de 3 images (canaux) ou plus. Malgré la bonne résolution du système, il n'est évidemment pas possible d'afficher l'image sur toute son étendue, mais il faut réaliser soit un sondage, soit une extraction d'une sous-image, compatibles avec la résolution.

Les opérations de traitement des images sont réparties en deux catégories, selon qu'elles affectent, ou non, les valeurs radiométriques des images. Le chargement, le sauvetage et les opérations modifiant la radiométrie sont accessibles via un menu et une série de sous-menus affichés sur l'écran alphanumérique (tab. 2). Les opérations ne modifiant pas la radiométrie, qualifiées par la suite d'« opérations cosmétiques », sont accessibles par une ou plusieurs lignes de commandes affichées sur l'écran graphique (tab. 3).

Traitements monospectraux

Deux fonctions permettent le chargement d'une image sur l'écran graphique et sa sauvegarde sur disque. Cette dernière opération copie sur disque le contenu de la fenêtre-image de l'écran graphique quel que soit l'état de l'image affichée (zoom, masque, avec ou sans textes et dessins vectoriels rapportés, etc.). Le fichier d'en-tête est affiché pour confirmation lors du chargement et pour édition lors du sauvetage. Le vecteur des fréquences des 256 niveaux est utilisé pour afficher l'histogramme au chargement, tandis qu'il est mis à jour au moment de la sauvegarde.

GIPSY conserve continuellement en mémoire, sur disque virtuel, une copie de l'image originale. Les modifications apportées sur l'image affichée ne sont reportées dans l'image virtuelle qu'après acceptation, le plus souvent implicite (invocation d'un nouveau traitement par exemple, par l'utilisateur. L'image virtuelle est insensible aux opérations cosmétiques : elle reste en pleine résolution et n'est pas altérée par les éléments de dessin ou de texte éventuellement rapportés sur l'image affichée.

Amélioration d'image

Quatre catégories de fonctions agissent sur les valeurs de l'image affichée dans la fenêtre graphique. La première rassemble des fonctions d'amélioration d'image.

Le contraste de l'image peut être accentué selon cinq techniques différentes, L'extension linéaire simple et l'égalisation de l'histogramme sont bien sûr du nombre (fig. 5). L'amélioration de contraste qualifiée d'automatique n'est rien d'autre qu'une extension linéaire dans l'intervalle compris entre la moyenne plus ou moins trois écarts-types. Il est aussi possible de définir interactivement sur l'histogramme plusieurs fonctions de transfert linéaires. Enfin, la distribution des valeurs de l'image peut être normalisée par l'ajustement sur une moyenne et un écart-type choisis par l'utilisateur.

L'édition interactive des valeurs de l'image, individuellement ou dans une fenêtre, fait également partie des fonctions d'amélioration. Les valeurs du ou des pixels sélectionnés interactivement sur l'image peuvent être modifiées au moyen de l'éditeur de texte de GIPSY avant d'être ré-introduites dans l'image.

TABLEAU 2
Arbre des fonctions principales du module image

Module Image

Charge Image	Filtres (suite)
Sauve Image	Passe-bas
Classifications	Moyenne
Zones d'entraînement	Médiane
Préparation	Modal
Rapport	Texture
Distance minimum	Compacité
Hyper-boîtes	Intervalle
Résidus	Écart-type
Validation	Morphologie
Améliorations	Érosion
Contraste	Dilatation
Automatique	Fermeture
Égalisation	Ouverture
Normalisation	Chapeau haut de forme
Linéaire	Squelettisation
Interactif	Région d'intérêt
Édition	Masque intérieur
Un pixel	Masque extérieur
Fenêtre 20 x 20	Incrustation
Régression linéaire	Transformation
Inversion	Arithmétique
Seuillage	Addition
Fichier	Division
Equidistance	Maximum
Centiles	Minimum
Interactif	Moyenne
Substitution	Multiplication
Filtres	Soustraction
Utilisateur	Composition colorée
Contour	Teinte Saturation Intensité
Roberts	RVB → TSI
Sobel	TSI → RVB
Gradient	Normalisation
Horizontal	Moyenne / écart-type
Vertical	Histogramme
45°	Indices
135°	Végétation normalisée
Isotopique	Perpendiculaire (vég.)
Gradient max.	Brillance
Passe-haut	Luminance
Contraste local	
Laplacien	

TABLEAU 3

Arbre des fonctions cosmétiques du module image

Module Image

Contraste	Impression
Automatique	Valeurs des pixels
Égalisation	N/B discret
Linéaire	N/B continu
Normalisation	Cyan Magenta Jaune
Interactif	Fichier Tiff
Dessin	Vectorisation
Charge fichier	Seuillage
Boîte	Fichier
Cercle	Equidistance
Grille	Centiles
Ligne	Interactif
Polygone	Statistique
Symbole	Stat. image
Attributs	Stat. polygone
Suppression	Impression stat. img.
Suppression totale	Impression stat. poly.
Sauve fichier	Intervalle min/Max
Légende	Texte
Charge fichier	Charge fichier
Création	Interactif
Édition	Haut de l'image
Fichier octets	Bas de l'image
FichierTiff	Attributs
Sauve fichier	Suppression
LUT	Suppression totale
Charge fichier	Sauve fichier
Inverse	Zoom
Déroule	Coefficient
Examine	Agrandissement
Modifie	Réduction
Interpole	Loupe
Sauve fichier	Précédent
	Original

Une fonction particulière permet d'effectuer une transformation linéaire des valeurs de l'image, en choisissant un coefficient multiplicateur et une constante additive. Une autre fonction réalise l'inversion pure et simple de l'image, en soustrayant la valeur de chaque pixel de 255. La substitution d'une valeur ou d'un intervalle de valeurs, par une valeur de remplacement unique et au choix fait également l'objet d'une fonction particulière.

Enfin, quatre techniques sont offertes pour effectuer des équidensités colorées. Les limites des classes peuvent être décrites dans un fichier, ou choisies interactivement sur

l'histogramme de l'image. Des classes de mêmes intervalles ou de mêmes fréquences peuvent aussi être réalisées.

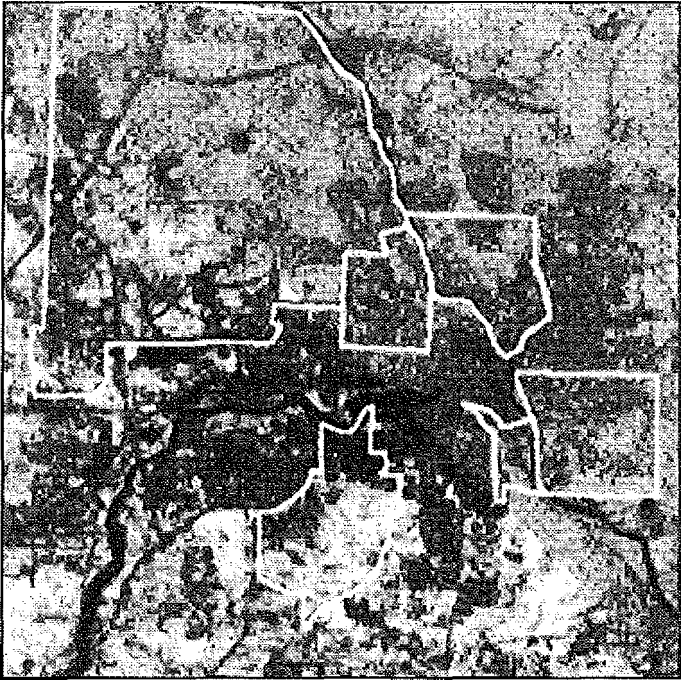


Figure 5 — Illustration de deux techniques d'amélioration de contraste et de la superposition de quelques éléments vectoriels apparaissant en blanc sur l'image (extrait scène SPOT sur Sherbrooke, 1987).

Filtrages

La seconde catégorie de fonctions travaillant sur la seule image affichée rassemble une vingtaine de procédures de filtrage. A l'exception de quelques cas prédéfinis, les fonctions de filtrage laissent le choix de la taille de la fenêtre de voisinage et permettent l'obtention de résultats binaires, tronqués ou calibrés sur 256 niveaux.

La détection de contours peut être réalisée soit par le filtre de Sobel, soit par le filtre de Roberts. Le filtre de gradient isotrope peut être aussi considéré comme un filtre de contours (JOLY, 1986, p. 71). Quatre filtres de gradients directionnels, selon les quatre directions principales de l'image, sont également disponibles. En outre, le gradient maximum, parmi les quatre directions précédentes, est calculé par une procédure de filtrage spécifique.

Trois filtres « passe-bas » sont offerts : le filtre par la moyenne, le filtre médian et le filtre modal ou majoritaire. Pour ce dernier, il est possible de spécifier le seuil minimum de fréquence conditionnant la substitution.

Parmi les filtres « passe-haut », un filtre laplacien classique est disponible, ainsi qu'un filtre d'amélioration locale du contraste. Ce dernier ajoute à la valeur du pixel central de l'assiette, la différence entre cette valeur et le résultat du filtre par la moyenne (RICHARDS, 1986, p. 120).

Trois filtres élémentaires de texture sont fournis. Le premier rend une mesure de la compacité, définie par le nombre de pixels de même valeur que le pixel central dans la fenêtre. Le second donne l'écart maximum dans la fenêtre, soit la différence entre les valeurs maximum et minimum. Le troisième filtre calcule l'écart-type des valeurs de la fenêtre.

Enfin, il est possible à l'utilisateur de définir complètement la taille et les coefficients de pondération de la fenêtre de convolution. La fonction correspondante invoque l'éditeur de texte de GIPSY, permettant à l'utilisateur d'introduire les pondérations de chaque cellule de l'assiette et de fixer ainsi, implicitement, le nombre de lignes et le nombre de colonnes (non nécessairement égaux).

Traitement partiel de l'image

La troisième catégorie de fonctions permet de sélectionner une partie de l'image affichée, intitulée région d'intérêt, au sein de laquelle tous les traitements monospectraux décrits précédemment peuvent être appliqués. Cette région d'intérêt est délimitée par une limite polygonale vectorielle. Il s'agit donc d'une catégorie de fonctions hybrides. La limite vectorielle peut résulter d'une numérisation, réalisée extérieurement et récupérée par le module de conversion, ou être fixée interactivement par l'utilisateur grâce aux fonctions de dessin vectoriel offertes par GIPSY. La région d'intérêt peut être constituée d'un ou plusieurs polygones distincts, et correspondre à la surface intérieure ou extérieure au(x) polygone(s) sélectionné(s).

Lorsque le ou les polygones sont sélectionnés par l'utilisateur, la fonction provoque un masquage, c'est-à-dire une mise à zéro, de tous les pixels de l'image affichée situés en dehors de la zone d'intérêt.

Après avoir défini une zone d'intérêt et l'avoir soumise à d'éventuels traitements spécifiques, il est possible de l'incruster dans une image quelconque sélectionnée par l'utilisateur. La partie extérieure à la zone d'intérêt, annulée lors du masquage, est alors remplacée par les pixels homologues de la nouvelle image sélectionnée, tandis que les pixels situés à l'intérieur de la zone d'intérêt ne sont pas affectés par cette procédure (fig. 6).



FIGURE 6 — Extraction d'une zone d'intérêt délimitée de manière vectorielle (voir fig. 5).

Morphologie mathématique

La dernière catégorie de fonctions est incluse dans le sous-module de morphologie mathématique et constitue une plate-forme de développement. Plusieurs fonctions simples sont implantées définitivement, telles que les érosions et dilatations, mais des fonctions plus élaborées sont en cours de mise au point. Les recherches menées actuellement au laboratoire portent en particulier sur l'application des critères de morphologie mathématique à la segmentation d'images (COLLETTE, 1990).

GIPSY apparaît ainsi comme un outil d'aide au développement, offrant toutes ses routines d'entrée/sortie, d'affichage et de sauvegarde, ses fonctions d'édition et cosmétiques, etc. C'est une des raisons pour lesquelles GIPSY a été divisé en autant de segments distincts et spécialisés. Son usage comme plate-forme de développement suppose cependant, outre une connaissance de la programmation, une information complète sur la structure du programme, en particulier sur sa segmentation, voire, dans certains cas, la version source de certains segments de programme.

Traitements multispectraux

Une série de traitements porte sur plusieurs images simultanément et elle est donc, par construction, particulièrement adaptée aux images multispectrales de télédétection. Dans tous les cas, les images sources sont sélectionnées sur disque et, à l'exception de la fonction I.T.S., l'image résultat est affichée sur l'écran graphique.

Transformations d'images

La première famille de traitements multispectraux concerne les opérations arithmétiques simples entre deux images. On dispose des 4 fonctions élémentaires (addition, soustraction, division et multiplication), mais aussi du calcul de la moyenne et de la sélection des extrema (maximum ou minimum) entre les pixels homologues des deux images.

L'affichage d'une composition colorée est basé sur l'association de trois canaux d'une image avec les trois couleurs additives rouge, verte et bleue (R, V et B). Le matériel de visualisation utilisé ne disposant que d'un plan graphique de 8 bits, il faut accepter une certaine réduction de l'information pour arriver à y loger une composition colorée qui impliquerait idéalement 24 bits de profondeur graphique, soit 2 563 couleurs possibles. L'algorithme effectue automatiquement une partition des trois histogrammes en classes d'égales fréquences, soit respectivement : 7, 6 et 6 classes pour les canaux associés à autant de niveaux d'intensité des couleurs R, V et B. La combinaison de ces niveaux d'intensité conduit à une distinction de 252 couleurs. Malgré la perte d'information, la procédure reste efficace, en particulier pour les compositions colorées en fausses couleurs.

Contrairement aux autres commandes de ce groupe, le résultat de la manipulation I.T.S. n'est pas affiché à l'écran. Cette commande effectue en fait la transformation de trois canaux d'une même image, arbitrairement associés aux couleurs R, V et B, en trois nouveaux fichiers images traduisant la décomposition des couleurs en teinte, saturation et intensité (LANGLOIS, 1987). Il s'agit donc d'un changement du codage des couleurs, qui peut être réalisé dans les deux sens. L'algorithme présenté par MATHER (1987, p. 230) a été utilisé après correction. Les pixels du fichier des intensités restent codés sur un octet, tandis que ceux des fichiers teinte et saturation sont codés en réels. Cette transformation trouve plusieurs utilités en traitement d'images (filtrage du canal intensité puis retour au domaine R, V, B par exemple) et en télédétection particulièrement (intégration du canal panchromatique SPOT avec deux canaux multispectraux ré-échantillonnés, voir par exemple THORMODSGARD et FEUQUAY, 1988).

Deux autres commandes réalisent le calage d'une image sur une autre, du point de vue radiométrique, par ajustement de la distribution d'une image de travail, à celle d'une image de référence. Une fonction effectue la normalisation sur la base de la moyenne et de l'écart-type de l'image de référence, tandis que l'autre réalise un ajustement entre les deux histogrammes.

La littérature relative à la télédétection propose plusieurs indices thématiques, traduits par des opérations arithmétiques généralement simples entre les canaux d'une même

scène. Quatre indices sont offerts par GIPSY. Les indices de végétation normalisés et perpendiculaires font appel aux canaux rouge et proche infra-rouge de la scène (ABEDNEGO *et al.*, 1986). Les indices de brillance et de luminance peuvent utiliser la totalité des canaux, mais selon des formulations distinctes (BARIOU *et al.*, 1985).

Classifications d'images

La classification supervisée constitue sans doute l'opération la plus complexe en télédétection, au moins du point de vue de l'utilisateur. À cet égard, GIPSY offre quelques solutions originales et s'efforce de conserver le maximum d'interactivité dans le fonctionnement.

Les parcelles d'entraînement sont définies de manière vectorielle, généralement sous la forme de limites de polygones, mais GIPSY accepte également des zones d'entraînement linéaires ou ponctuelles. Ces éléments vectoriels peuvent être issus d'une numérisation externe ou d'une délimitation interactive par la fonction de dessin propre à GIPSY (voir 4.4.2.). Chaque site d'entraînement est associé à un numéro de classe et, bien entendu, on peut trouver plusieurs sites pour une même classe.

La première étape de la classification consiste à identifier les fichiers utiles, c'est-à-dire : le fichier vectoriel des sites d'entraînement et les fichiers images au nombre de 7 au maximum. Lorsque cette sélection est effectuée, les statistiques par classe et par image sont calculées et sont sauvegardées dans un fichier éditable et imprimable.

L'utilisateur a alors le choix entre deux algorithmes de classification : par distance minimum au centroïde ou par hyper-boîtes. Dans les deux cas, différents paramètres sont disponibles, permettant une exécution soit automatique, soit adaptée par l'utilisateur. Le résultat de la classification est affiché sur l'écran graphique et plusieurs essais (méthodes ou paramètres différents) peuvent être réalisés sans qu'il ne soit nécessaire de repasser par l'étape d'identification des fichiers et du calcul des statistiques de base.

Une troisième possibilité de classification est également offerte au menu mais, comme pour d'autres fonctions, il s'agit d'une ouverture permettant la mise au point d'algorithmes, GIPSY servant alors de plate-forme de développement. Dans ce cadre, une méthode basée sur des hyper-boîtes polygonales (polygones extérieurs convexes) a été développée et a des chances d'être définitivement intégrée au terme des tests.

Ce sous-module offre en outre deux fonctions de post-classification. La première permet la création d'autant de fichiers de résidus de classification qu'il y avait de fichiers images utilisés. Le résidu d'un pixel sur un canal correspond à la différence entre, sa valeur et la moyenne, sur le même canal, de la classe à laquelle il appartient. La seconde fonction permet le calcul des statistiques de validation de la classification. Elle demande en entrée une matrice de confusion, fournie sous forme de fichier texte, et fournit les statistiques Kappa globales et par classe (ROSENFELD and FITZPATRICK-LINS, 1986).

Traitements cosmétiques

Les commandes cosmétiques et leurs sous-commandes respectives ne modifient jamais les valeurs de l'image. Elles opèrent sur la table des couleurs ou sur des éléments vectoriels ou alphanumériques rapportés, elles engendrent des fichiers nouveaux ou modifient l'échelle de l'image, mais sans toucher aux valeurs radiométriques (tab. 3).

Simulations d'amélioration d'image

Les fonctions d'amélioration de contraste et d'équidensité colorée telles que décrites précédemment modifiaient totalement le contenu de l'image. Le même résultat visuel peut cependant être obtenu par simple transformation de la table des couleurs, sans altérer l'image.

Deux commandes cosmétiques jouent ce rôle. Elles proposent les mêmes options que les fonctions homonymes décrites précédemment. L'amélioration cosmétique du contraste comprime l'échelle des couleurs dans l'intervalle de variation des valeurs radiométriques, soit la transformation inverse de celle effectuée de manière classique. L'équidensité cosmétique, quant à elle, réalise une partition et un échantillonnage de la table des couleurs plutôt qu'une partition des valeurs radiométriques. La présence de ces deux fonctions permet de simuler et de tester très rapidement toute amélioration de l'image, la visualisation originale étant récupérée par simple chargement de la table de couleurs de départ. Elles évitent le sauvetage systématique des résultats de traitements préalables et un nouveau chargement de l'image à chaque essai d'amélioration.

Toutes les manipulations de la table des couleurs sont en outre permises par le biais d'une commande spécifique, proposant 7 options. Les tables peuvent être chargées, modifiées de diverses manières interactivement (par valeur individuelle ou par intervalle) et sauvegardées dans des fichiers adéquats. La visualisation et le comptage des valeurs de l'image correspondant à une ou plusieurs couleurs sélectionnées par l'utilisateur font aussi l'objet d'une procédure.

Dessin vectoriel sur l'image

Il s'agit d'une catégorie très importante de fonctions graphiques, autorisant les manipulations hybrides entre les modes maillé et vectoriel. Toutes les fonctions proposées ici travaillent en mode vectoriel, permettant de dessiner, modifier ou supprimer des éléments que l'on souhaite rapporter sur l'image active. Pour l'utilisateur, tout se passe comme si les commandes agissaient sur un plan graphique différent de celui de l'image. Les opérations vectorielles n'affectent pas l'image affichée en fond. Les éléments vectoriels sont sauvegardés dans des fichiers possédant un format spécifique, mais éditables par le module d'édition de GIPSY. En outre, le module de conversion permet le transfert, dans les deux sens, vers un format standard ASCII, autorisant par exemple la récupération de coordonnées digitalisées par ailleurs.

Six primitives sont disponibles pour réaliser un dessin vectoriel ponctuel (symboles), linéaire (lignes et grilles) ou zonal (formes géométriques et polygones), et elles supportent toutes plusieurs paramètres de tracé (type de trait, couleur, etc.) (fig. 5). Les éléments de dessin, ainsi que leurs attributs, peuvent être modifiés ou supprimés individuellement ou collectivement. Toutes les possibilités de modification d'échelle (voir infra) sont disponibles durant la manipulation des éléments vectoriels.

Des éléments numérisés et ramenés au format adéquat peuvent être mélangés à des éléments créés interactivement et subir les mêmes transformations. La sauvegarde d'une image, alors que des éléments vectoriels sont présents, provoque une « incrustation » des éléments vectoriels dans l'image.

Les éléments vectoriels sont utilisés par différentes fonctions de GIPSY. On a déjà mentionné leur usage pour délimiter u., zone d'intérêt et les sites d'entraînement nécessaires à une procédure de classification. Ils jouent en outre un rôle important dans le cadre du module S.I.G. comme nous l'avons vu précédemment.

Une commande particulière permet l'affichage ou l'impression, plus complète, des statistiques de l'image. Cette commande peut aussi tirer profit des éléments vectoriels rapportés, les statistiques pouvant être calculées pour les seuls pixels contenus à l'intérieur d'un ou de plusieurs polygones délimités par un dessin en mode vecteur.

Habillage de l'image

L'image peut être habillée par des éléments vectoriels rapportés, décrits au paragraphe précédent. En outre, il est possible de manipuler des informations alphanumériques sur l'image et de lui associer une légende.

La commande gérant l'écriture de textes est analogue, dans son principe, à celle de dessin vectoriel. Pour l'utilisateur, les informations alphanumériques surimposées à l'image active sont écrites dans un plan graphique distinct de celui de l'image. Les écritures peuvent être positionnées interactivement sur l'image ou justifiées au-dessus ou en-dessous de celle-ci. Elles peuvent aussi être supprimées individuellement. Différents paramètres sont également disponibles (police, taille, couleur, etc.) et modifiables à tout moment. Les écritures sont sauvegardées dans un fichier au format spécifique, mais pouvant être édité par le module d'édition de GIPSY.

Une commande permet de définir une légende associée à l'image affichée. Si l'information supportée par l'image est de nature qualitative, une série de caissons colorés est utilisée. Si l'information est quantitative et continue, l'utilisateur peut afficher la table des couleurs en tout ou en partie. Des commentaires divers sont prévus (titres, commentaires associés aux caissons, etc.), tandis qu'une échelle graphique et une flèche d'orientation sont proposées par défaut (calculées sur base des informations du fichier d'en-tête de l'image). Une légende peut être sauvegardée dans un fichier, modifiée, associée systématiquement à une image et imprimée avec ou sans cette dernière. La légende occupe la partie droite de l'écran graphique, sans altérer l'espace réservé à l'image (fig. 7).

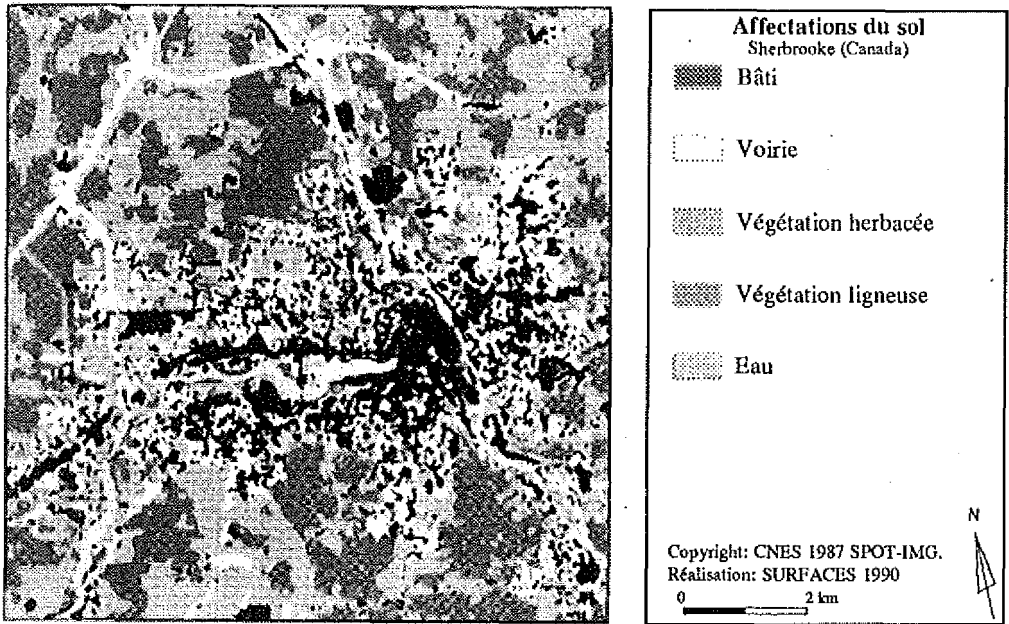


FIGURE 7— Présentation d'une image et de sa légende (classification ramenée à 5 postes pour des impératifs d'impression).

Autres fonctions cosmétiques

Deux dernières catégories de fonctions sont offertes. Il s'agit, d'une part, des commandes de modification d'échelle et, d'autre part, des commandes d'impression.

Les opérations de zoom sont nombreuses (6) mais classiques. Il faut savoir que l'échelle la plus petite disponible reste le 1/1, soit l'image en pleine résolution. Le coefficient d'agrandissement est en outre toujours un entier (2/1, 3/1, etc.). La partie de l'image affichée à la suite d'une modification d'échelle constitue une « région d'intérêt », dans le sens où toute fonction modifiant la radiométrie de l'image ne portera que sur les pixels effectivement affichés à l'écran. Les manipulations du curseur, fréquentes à travers tout le logiciel, et les fonctions utilisant l'adresse des pixels en ligne et en colonne conservent pour référence le pixel-image, quelle que soit l'échelle de l'image affichée, et non le pixel-écran. Lors de toute manipulation de curseur, quelle que soit la fonction invoquée, les facilités de zoom sont toujours disponibles moyennant l'usage d'une touche de fonction.

Les possibilités d'impression sont également assez nombreuses. Tout d'abord, les valeurs numériques des pixels d'une fenêtre quelconque sélectionnée par l'utilisateur peuvent être imprimées. Du point de vue graphique, deux sorties sur papier sont prévues sur imprimante matricielle : l'une correspondant à une image d'intensités continues, traduites

par 16 classes niveaux de gris, l'autre correspondant à une image qualitative, les valeurs des pixels (numéros des classes d'affectation par exemple) pouvant être associées interactivement à des trames graphiques NB (50 trames prédéfinies).

La même commande d'impression propose également parmi ses sous-fonctions la création de divers fichiers graphiques utilisables pour des impressions externes. Le plus utile est sans conteste le fichier-image sous format TIFF imprimable sur une imprimante laser et fournissant des images telles que celles illustrant cet article. Les intensités des trois couleurs additives R, V, B, conservées dans la table des couleurs, sont en outre utilisées pour réaliser une conversion en couleurs soustractives cyan, magenta, jaune. Quatre fichiers sont alors construits, un pour chaque couleur soustractive et un pour le noir, permettant la réalisation numérique des typons nécessaires à une impression par quadrichromie. Une dernière fonction offre la possibilité de vectoriser l'image affichée. La vectorisation peut concerner toutes les plages de l'image ou celles liées à certains niveaux d'intensité seulement. L'algorithme utilisé est celui présenté par GONZALEZ et WINTZ (1983, p. 253), légèrement revu et complété, notamment pour offrir un lissage paramétrique des contours (NICKERSON, 1988). Les informations vectorielles issues de cette transformation présentent une structure topologique complète, mais peuvent être converties dans un fichier séquentiel au format standard ASCII.

Images géographiques de synthèse

Le module image qui a fait l'objet du chapitre précédent est largement conçu pour le traitement des images satellitaires. Cependant, la plupart des fonctions offertes peuvent être appliquées sur tout autre type d'images numériques. En géographie, particulièrement, il est possible de concevoir avantageusement bon nombre de cartes sous forme d'images numériques en mode maillé. À cet égard, GIPSY prévoit plusieurs procédures de constitution d'images, rassemblées dans le module intitulé Modèles.

Modèle numérique de terrain

Le modèle numérique de terrain (M.N.T.) constitue une matrice d'altitudes, traduite par des cotes d'élévation selon les sommets d'une grille en mode vectoriel, et par une image où la valeur de chaque pixel correspond à son altitude en mode maillé.

GIPSY permet de construire un M.N.T. en mode maillé selon deux approches distinctes, dépendant de la façon dont se présentent les données. Dans les deux cas, l'image obtenue est constituée de nombres réels et ne peut être affichée sans conversion préalable.

La première méthode travaille sur des points cotés distribués irrégulièrement sur l'espace, ces triplets de coordonnées pouvant être fournis sous une forme vectorielle. La procédure calcule une cote d'altitude pour chaque pixel de l'image par interpolation (pondération par l'inverse du carré de la distance).

La seconde méthode utilise les courbes de niveau comme données de base. Celles-ci sont d'abord converties en mode maillé, au sein de GIPSY, avant que ne soit lancée une procédure d'interpolation originale (DONNAY, 1988). Cette seconde technique, ne demandant que quelques dizaines de minutes, est sensiblement plus rapide que la première.

Une fois le M.N.T. calculé, un certain nombre de sous-produits intéressants peut être réalisé très rapidement. Ces sous-produits constituent d'ailleurs fréquemment le but essentiel de la réalisation d'un M.N.T. Les orientations et les gradients des pentes sont calculés en utilisant une fenêtre de convolution pour obtenir les dérivées partielles selon X et selon Y de la surface orographique (SKIDMORE, 1989). Les données de pente peuvent ensuite servir au calcul des ombres propres, en fixant l'origine de la source lumineuse (fig. 8). Ces trois sous-produits sont calculés par GIPSY et sont fournis sous la forme de fichiers d'octets directement traitables par le module image décrit précédemment. Il est en outre aisé de reconstituer une image des courbes de niveau, en choisissant l'équidistance et en fixant éventuellement les niveaux minimum et maximum. Ces traitements correspondent à autant de manipulations élémentaires du mode maillé (équidensité, filtre de contours, etc.) appliquées en série de manière automatique.

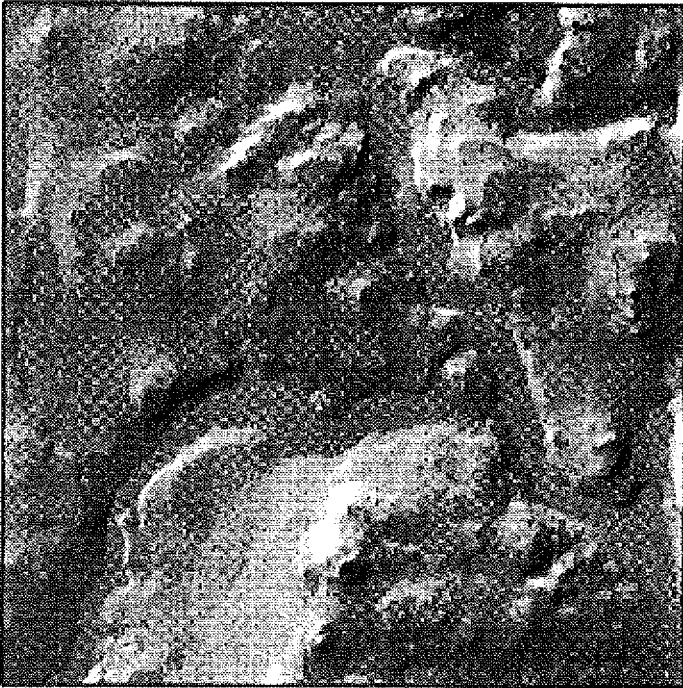


FIGURE 8 – Estompage d'un modèle numérique de terrain.

Des traitements plus spécialisés sont également possibles. GIPSY offre ainsi la possibilité de visualiser, sous la forme d'une image binaire, la surface d'inter-visibilité au départ d'un point de l'image du M.N.T. sélectionné interactivement, tandis que la délimitation de bassins versants fait l'objet d'un développement utilisant notamment les critères morphologiques (SMITH *et al.*, 1990).

Modèles d'interaction

L'analyse spatiale propose plusieurs modèles géographiques susceptibles d'être résolus graphiquement (polygones de Thiessen, modèle continu de Weber, etc.) ou conduisant à l'obtention de surfaces statistiques (potentiel, surface de tendance, etc.). L'image en mode maillé constitue un excellent support pour de telles applications et nous intégrons progressivement ces solutions au logiciel GIPSY. Ces images peuvent être soumises aux modules image et S.I.G., au même titre que les images de télédétection ou les M.N.T.

Le modèle de potentiel a été résolu d'une manière originale et a donné lieu à plusieurs applications urbanistiques intégrant les données télédéteectées (fig. 9 et NADASDI *et al.*, 1991). La résolution du modèle passe par l'utilisation d'une large fenêtre de convolution mais demande un temps d'exécution assez considérable. Les modèles de Thiessen, Weber ou Reilly ainsi que les surfaces de tendance, utilisent des données géographiques sous forme vectorielle, tout en présentant les résultats en mode maillé, et sont résolus classiquement.

Échange de données

Le dernier module présenté offre des fonctions de conversion de formats, soit en mode maillé, soit en mode vectoriel.

En mode maillé, les images codées en octets, en réels ou sous le format TIFF peuvent être converties entre ces formats. Cette fonction offre en plus la possibilité de procéder à une extraction d'une sous-image ou à un sondage sur l'image originale.

Le résultat d'un tel sondage peut être fourni dans un format ASCII. Les informations sont alors présentées selon les standards utilisés par les logiciels SURFER ou ArcInfo pour manipuler des grilles de valeurs.

En mode vectoriel, le module permet l'échange entre le format BNA (fichier ASCII) utilisé notamment par les logiciels de la série ATLAS (Draw, Graphics, GIS) et le format vectoriel propre à GIPSY. Le même format BNA peut être utilisé en entrée pour réaliser une transformation en mode maillé des informations vectorielles.

D'autres procédures de conversion, notamment avec ERDAS en mode maillé et avec le format DXF en mode vecteur, ont été réalisées récemment et seront à court terme intégrées dans ce module de GIPSY.

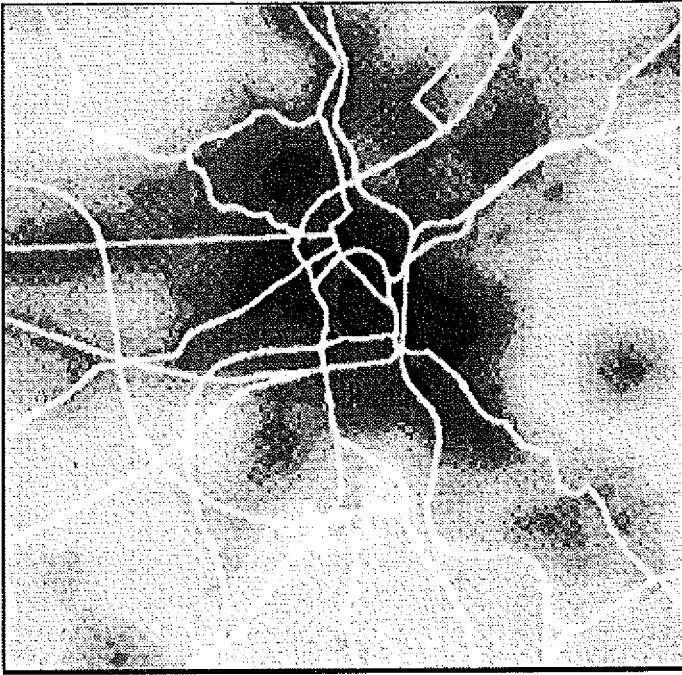


FIGURE 9 — Surface de potentiel calculée sur base d'une seule catégorie d'affectation (habitat), issue d'une classification supervisée d'une scène satellitaire.

Conclusions

Au moment où GIPSY a été mis sur le chantier, la plupart des S.I.G. disponibles étaient conçus pour travailler en mode vectoriel. Contrairement à ces derniers, GIPSY s'appuie très largement sur le mode maillé, tout en offrant un maximum de fonctions hybrides. Cela lui permet de couvrir efficacement le domaine du traitement d'images. La notion d'imagerie est étendue au-delà de la seule télédétection, vers laquelle cependant le logiciel reste orienté. L'image en mode maillé est en effet perçue comme un support de représentation privilégié de champs géographiques naturels et théoriques. Cette considération est rencontrée par GIPSY au travers de procédures de modélisation incluses, mais aussi par le fait qu'il offre aux auteurs d'applications une plate-forme d'expérimentation bien équipée.

GIPSY a été prévu pour un environnement de recherche et d'éducation, Dans le domaine de la recherche, en se chargeant du traitement d'images, il peut occuper un créneau, souvent laissé libre dans les petits laboratoires, entre les quelques logiciels commerciaux financièrement accessibles mais, ipso facto, incomplets (digitalisation et cartographie thématique simple, base de données et bibliothèque statistique, etc.). Pour les équipes spécialisées, comme déjà signalé, il constitue une base de mise au point méthodologique intéressante et, en outre, il peut prétendre jouer un rôle de système alternatif. Du point de

intéressante et, en outre, il peut prétendre jouer un rôle de système alternatif. Du point de vue didactique, la diversité et le haut degré d'interactivité des procédures disponibles, l'actualité des solutions préconisées et la banalisation du matériel requis sont autant d'arguments qui ont fait leurs preuves et qui plaident en faveur de l'utilisation d'un système de ce type.

Au terme de cette présentation, il nous serait agréable d'envisager une diffusion de GIPSY au sein du réseau académique francophone. D'abord, auprès de quelques équipes spécialisées, susceptibles d'évaluer et, le cas échéant, de participer à l'évolution du produit. Ensuite, auprès des laboratoires et centres de formation plus modestes, souhaitant disposer d'un tel système, indépendamment des contingences de distribution commerciale. Un projet de diffusion, éventuellement accompagné d'un programme de formation et d'un plan d'évolution du logiciel, pourrait être confié aux instances du groupe de télédétection de l'AUPELF.

Remerciements

Le travail a pu être réalisé grâce au soutien de la cellule ACIS (Academic Information System) d'IBM Belgique, contrat d'étude « Image-ULG », 1987-1989. Ce texte présente en outre des résultats de recherche du Programme national de recherche scientifique dans le domaine de la télédétection spatiale (Service du Premier Ministre — Programmation de la politique scientifique). La responsabilité scientifique est assurée par les auteurs.

Références

- ABEDNEGO, B., CALOZ, R., COLLET, C. and MEYLAN, P., 1986. Description of a methodology for biomass change mapping with the use of Landsat TM data. IGARSS'86, Zurich, septembre • 1986.
- ALDUS CORPORATION, 1988. Tag Image File Format Specification, Revision 5.0, Aldus/Microsoft Technical Memorandum, 27 p. + annexes.
- BARIOU, R., LECAMUS, D. et LE HENAFF, F., 1985. Indices de végétation. Dossiers de télédétection, Centre régional de télédétection, Université de Rennes 2, Haute Bretagne, 121 p.
- COLLETTE, B., 1990. Segmentation d'image par propagation, sur les érodés ultimes. Application 4 l'imagerie satellitaire. Bulletin de la Société belge de photogrammétrie, télédétection et cartographie, no 179-180, p. 21-33.
- DONNAY, J.-P., 1988. Constitution d'un modèle numérique de terrain : une approche en mode raster sur micro-ordinateur. — Bulletin de la société belge de photogrammétrie, télédétection et cartographie, no 171-172, p. 47-60.
- DONNAY, J.-P., 1989. GIPSY (Geographical Information & Processing System) : IBM ACIS Study Contract. Rapport de recherche présenté à la cellule ACIS d'IBM Belgique, SURFACES, Université de Liège, 73 p.

- DONNAY, J.-P., COLLETTE, B. and BINARD, M., 1990. Vector data handling with a G.I.S. raster based. EGIS'90, vol 1, Amsterdam, p. 263-271.
- GONZALEZ, R.C. and WINTZ, P., 1983. Digital Image Processing. Addison-Wesley, Advanced Book Program / World Science Division, Reading (Mass.), 431 p.
- JOLY, G., 1986. Traitements des fichiers-images. Collection télédétection satellitaire, n° 3, Paradigme, Caen, 137 p.
- LANGLOIS, P., 1987. Modélisation et algorithmes de traitement de la couleur. Cahiers géographiques de Rouen, no 27, p. 1-44.
- MATHIER, P.M., 1987. Computer processing of remotely sensed images. John Wiley & Sons, Chichester, 352 p.
- NADASDI, I., BINARD, M. et DONNAY, J.-P., 1991. Transcription des usages du sol par le modèle de potentiel. Mappemonde, 1991-9, p. 27-31.
- NICKERSON, G., 1988. Automated cartographic generalization for linear features. Cartographica, vol. 25, no 3, p. 15-66.
- RICHARDS, J.A., 1986. Remote Sensing Digital Image Analysis. — Springer-Verlag, Berlin, 281 p.
- ROSENFELD, G.H. and FITZPATRICK-LINS, K., 1986. A coefficient of agreement as a measure of thematic classification accuracy. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, vol. 52, no 2, p. 223-227.
- SKIDMORE, A.K., 1989. A comparison of techniques for calculating gradient and aspect from a gridded digital elevation model. International Journal of Geographical Information Systems, vol. 3, no 4, p. 323-334.
- SMITH, T.R., ZHAN, C. and GAO, P., 1990. A knowledge-based, two-step procedure for extracting channel networks from noisy DEM data. Computers & Geosciences, vol. 16, no 6, p. 777-786.
- THORMODSGARD, J.M. and FEUQUAY, J.W., 1988. Larger scale image mapping with SPOT. SPOT 1 : utilisation des images, bilans, résultats, Paris, novembre 1987, Cepadues-Editions, Toulouse, p. 1273-1279.