

UNE AIDE A LA PHOTO-INTERPRETATION

DES IMAGES LANDSAT

Marie-France OUDIN, Denys CHAUME

Centre Scientifique I.B.M. France
36 Avenue Raymond Poincaré -PARIS 75016-

++++++

INTRODUCTION

L'utilisation des données LANDSAT tend à prendre de l'importance dans les domaines ayant trait à l'étude des sols (agronomie, pédologie, prospection minière, etc...).

L'exploitation de ces données nécessite certaines manipulations faisant souvent appel à des méthodes de calcul utilisées en statistiques pour le traitement des données multidimensionnelles. L'Analyse en Composantes Principales et son application au traitement des images LANDSAT est développée dans cet article.

Le traitement des données satellites devant aider à l'élaboration d'une carte thématique, la plus grande partie de l'information issue des quatre canaux transformés a été visualisée, en cherchant à améliorer les techniques de représentation.

Afin de contrôler la fiabilité de l'ACP pour la visualisation d'une part, et pour l'extrapolation de ses résultats dans l'espace d'autre part, des critères de comparaison ont été étudiés, permettant de montrer la stabilité des résultats pour des images voisines.

L'ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES

L'Analyse en Composantes Principales (cf. Lebart et Fénelon 1975), qui est l'une des méthodes d'analyse des données multidimensionnelles, se propose de fournir des représentations synthétiques de vastes ensembles de valeurs numériques. Ceci permet d'obtenir un résumé descriptif (que l'on peut représenter sous forme graphique) d'un ensemble de n observations de p variables sur lesquelles aucune hypothèse préalable particulière n'a été faite.

Partant du nuage des points représentés dans l'espace R_p des variables, on recherche le sous-espace R_k , de plus faible dimension, qui en optimise la variance.

Ce nouvel espace est représenté par le système d'axes que sont les vecteurs propres de la matrice de variances-covariances du nuage (matrice de corrélations lorsque les données sont réduites). Chaque valeur propre de cette matrice représentant la dispersion de la projection du nuage de points sur l'axe correspondant, il s'en suit que, plus la valeur propre est grande, meilleure est la représentation sur l'axe considéré.

APPLICATION AU TRAITEMENT D'IMAGES LANDSAT

Le nuage des observations est ici constitué des valeurs radiométriques des pixels d'une image dans les quatre canaux bruts (variables) du satellite LANDSAT.

Les valeurs propres ont pour principale caractéristique de décroître extrêmement vite et les deux premières valeurs propres contiennent en général plus de 95% de la somme de toutes les variances.

Ceci veut dire que le nuage statistique va s'aplatir de plus en plus, et très rapidement, dans les directions des axes correspondant aux valeurs propres décroissantes. Donc, si près de 95% de la variance totale est contenue dans les deux plus grandes valeurs propres, ce nuage de concentration n'a que deux dimensions observables. Ce sont les deux premiers vecteurs propres de la matrice d'inertie ou axes factoriels F_1 et F_2 , qui seront donc seuls pris en compte.

Dans le repère naturel des observations, l'ensemble des réalisations présente de fortes corrélations. La transformation (transformation de Karhunen-Loève, Lowitz 1976) prend pour nouveaux axes les axes principaux du nuage et, par construction, les projections des réalisations sur ces nouveaux axes sont décorrélées.

Ces projections sont numérisées de 0 à 255, la moyenne se situant à 128, pour fournir des "canaux artificiels". La visualisation de ces canaux donne deux images principales qui représentent la plus grande partie de l'information.

VISUALISATION DES IMAGES PRINCIPALES

Pour la photo-interprétation, nous sommes donc passés de quatre à deux images ce qui est une nette amélioration. Cependant l'analyse en parallèle de deux images reste malaisée.

Les compositions colorées habituellement utilisées pour la visualisation simultanée de plusieurs bandes spectrales ne donnent pas satisfaction car elles ne permettent pas de séparer facilement les deux composantes. Il est en effet difficile, en couleurs additives par exemple, de retrouver l'importance respective de F1 et de F2 dans un jaune issu d'une combinaison de vert et de rouge.

La décomposition des teintes restituable par trois filtres (trichromie) en luminance et chrominance n'est pas une nouveauté. Elle est à la base des procédés de télévision en couleur. On la retrouve aussi dans les modèles mathématiques de la vision (Faugeras 1978).

La chrominance peut elle-même être décomposée en couleur (argument) et saturation (module) (Chaume 1977).

Si on construit une image en attribuant à chaque pixel une teinte dont la luminance est proportionnelle à sa valeur sur F1, et dont la couleur est proportionnelle à sa valeur sur F2, la saturation étant choisie la plus grande possible, on obtient un document sur lequel on peut "lire" simultanément l'information contenue dans les deux premières images principales.

Ce document présente, pour le thématicien qui désire utiliser les images LANDSAT, plusieurs avantages dont les principaux nous semblent être les suivants:

- 1) La visualisation unique contient la majeure partie (95% de la variance) de l'information contenue dans l'image LANDSAT.
- 2) Par un choix judicieux des coefficients de proportionnalité, les objets représentés peuvent apparaître avec des couleurs rappelant leurs couleurs naturelles (forêts et prairie en vert, sols nus en magenta très lumineux, rocailles et zones urbaines en rouge, eau en noir, etc...).
- 3) A une teinte de l'image correspond une zone du plan principal F1/F2. Cette propriété peut apporter une aide importante lors des classifications automatiques utilisant l'histogramme bi-dimensionnel (F1, F2) (Lowitz 1976, Chaume-Nguyen 1980).

STABILITE DU CODAGE DE KARHUNEN-LOEVE

Le codage de Karhunen-Loève se révèle comme étant un outil intéressant pour l'exploitation des images multi-spectrales, aussi bien pour la classification automatique ou semi-automatique, que pour l'obtention de documents destinés à une analyse manuelle. Cependant, il reste un traitement adapté à l'image prise en considération, et on peut se demander si les clés d'interprétation ou les classes définies pour une zone limitée restent valables lorsqu'on s'en éloigne un tant soit peu.

Dans le but d'étudier la variation dans l'espace des plans factoriels issus de différentes Analyses en Composantes Principales, l'image de Gale (Mali) comportant 480 lignes sur 480 points, ce qui représente une surface d'environ 1000 km², a été divisée en seize sous-images (120 X 120) (tableau 1).

+-----+	+-----+	+-----+	+-----+	+-----+				
!	L11	!	L12	!	L13	!	L14	!
+-----+	+-----+	+-----+	+-----+	+-----+	+-----+	+-----+	+-----+	+-----+
!	L21	!	L22	!	L23	!	L24	!
+-----+	+-----+	+-----+	+-----+	+-----+	+-----+	+-----+	+-----+	+-----+
!	L31	!	L32	!	L33	!	L34	!
+-----+	+-----+	+-----+	+-----+	+-----+	+-----+	+-----+	+-----+	+-----+
!	L41	!	L42	!	L43	!	L44	!
+-----+	+-----+	+-----+	+-----+	+-----+	+-----+	+-----+	+-----+	+-----+

Tableau 1 : Partition de l'image de Gale (L88) en 16 sous-images

Les ACP ont été calculées pour chacune de ces sous-images, fournissant ainsi 16 systèmes d'axes, auxquels s'ajoute l'ACP effectuée sur l'image entière et dont on trouvera, dans le tableau 2, les principales caractéristiques pour certaines sous-images.

La variation dans les plans principaux des valeurs radiométriques recalculées, attribuées à chaque pixel, présente deux aspects suivant le degré de tolérance que peut accepter le traitement effectué en aval de l'ACP:

- Aspect qualitatif (tolérance pour la visualisation).
- Aspect quantitatif (tolérance pour la classification manuelle).

I ASPECT QUALITATIF.

La sous-image L23 a été choisie comme image de référence et les images principales F1 et F2 ont été calculées et visualisées pour cette zone, dans les différents systèmes issus des 17 ACP.

La matrice de transformation obtenue pour chacune des ACP a permis de recalculer les valeurs radiométriques des points de cette sous-image.

On constate que, moyennant des améliorations de contraste adaptées aux images résultantes (ajustement des valeurs moyennes et des écarts-type), les images visualisées sur huit niveaux de gris, apparaissent toutes identiques, aussi bien dans le cas de la première image principale que dans le cas de la seconde.

L'observation des images ainsi visualisées permet de conclure qu'il n'existe pas de différences notables entre toutes ces représentations d'une même zone. Ceci signifie que les différences entre les valeurs des moyennes des facteurs correspondants ne sont pas suffisamment importantes pour que les radiométries ainsi recalculées subissent des variations qui entraîneraient des changements de classe. Ce phénomène ne concerne en effet qu'un nombre très restreint de pixels, et qui se répartissent d'une façon aléatoire sur l'ensemble de la sous-image, si bien que globalement, les visualisations sont toutes semblables.

II ASPECT QUANTITATIF.

Trois critères de comparaison ont été retenus:

- Les angles entre facteurs homologues.
- L'angle entre les plans principaux.
- La corrélation entre images principales de même rang.

1) Calcul des valeurs des angles.

D'une manière générale, les angles entre les axes 1 sont plus petits que les angles entre les axes 2, les premiers ne dépassant pas deux degrés, alors que les seconds peuvent atteindre plus de douze degrés.

Cependant, les valeurs de ces angles n'ont de signification que par leur incidence sur les valeurs attribuées aux pixels lors du calcul des images principales.

Si on projette un point de l'espace des radiométries sur deux axes F1 issus des analyses effectuées sur deux sous-images différentes, l'angle entre ces projections est égal à l'angle entre les axes et la variation relative des radiométries sur les axes est fonction du sinus de cet angle.

On voit que la variation est significative pour la visualisation (variation de 4 radiométries) lorsque l'angle entre les axes atteint 16° (cf. tableau 3).

Cela explique la très grande similitude que l'on observe entre les différentes visualisations sur huit niveaux de gris, de la même sous-image L23.

La variation est quantitativement significative (une radiométrie) lorsque la valeur de l'angle atteint 4° (cf. tableau 3).

Les résultats obtenus permettent donc de conclure que quelques angles seulement entre les facteurs F2 peuvent entraîner des variations dont il faudra tenir compte lors d'une extension à une classification.

2) Calcul du coefficient de corrélation.

Les coefficients de corrélation entre les images "principales", issues de l'utilisation des différentes ACP ont été calculés.

On constate qu'ils sont très voisins de un, avec cependant des écarts plus nets dans le cas des F2 que dans le cas des F1. Ceci confirme la très grande similitude observée entre les images.

Le coefficient de corrélation R, entre la i-ème image principale et l'image obtenue en projetant les canaux bruts sur un axe faisant avec celui-ci un angle x, vérifie la formule:

$$1 - R^2 = (VP_1 / VP_i) \operatorname{tg}^2(x)$$

avec: VP_1 = première valeur propre.

VP_i = les autres valeurs propres.

On voit, par cette formule, que le coefficient de corrélation est nécessairement plus proche de 1 pour les premières images principales (VP_i grand), que pour les images suivantes.

Dans le cas extrême d'un angle de $12^{\circ}39'$, nous avons:
 $\text{tg}^2(x) = 0,0452$

Ce qui donne pour la valeur absolue des coefficients de corrélation les valeurs minimales suivantes:

0,9771 pour le premier axe.

0,8203 pour le deuxième axe.

Ces valeurs sont très inférieures à celles qui ont été trouvées (cf. tableau 4).

Les trois critères utilisés pour la comparaison des deux premiers axes issus des ACP effectuées sur les sous-images d'une même image mettent en valeur la très grande stabilité du codage de Karhunen-Loève.

CONCLUSION

Le codage de Karhunen-Loève et l'ACP dont il est issu nous ont permis de fabriquer un document, contenant l'essentiel de l'information de l'image LANDSAT, susceptible d'être emmené sur le terrain, et assurant le lien nécessaire entre le travail du thématicien et la classification automatique.

L'étude de la stabilité de ce codage permet de mesurer l'étendue (c'est à dire les limites) de la validité des clés d'interprétation et des classifications dont il est à l'origine.

Il reste à poursuivre cette étude en étendant la zone de variation spatiale et aussi en regardant la stabilité du codage entre des images prises à des moments différents.

Enfin traitement et visualisation vont être prochainement mis à l'épreuve lors d'une prospection morphopédologique dans la zone soudanienne de l'Afrique.

REMERCIEMENTS

Le travail présenté ici à bénéficié des recherches menées conjointement par les pédologues de l'Institut de Recherches Agronomiques Tropicales et des Cultures Vivrières, et des chercheurs du projet "télédétection" du Centre Scientifique d' IBM-France. Que tous en soient remerciés.

BIBLIOGRAPHIE

- CHAUME D. : Image visualisation on TV screen. NATO-ASI Digital Image Processing and Analysis, Simon and Rosenfeld ed., Noordhorf 1977.
- CHAUME D. et NGUYEN P.T. : Interactive processing of Landsat image for Morphopedological studies. Machine Processing of Remotely Sensed Data Symposium (june 1980), Purdue University, W-Lafayette, Indiana.
- FAUGERAS O. : Application d'un modèle homomorphique de vision au traitement des images couleur. Congrès AFCET-IRIA, Châtenay-Malabry, (février 1978).
- LEBART L. et FENELON J.P. : Statistique et informatique appliquées. Dunod éd. (1975).
- LOWITZ G.E. : Etude de Morphographie Dynamique. Matra Espace (1976).

image	MSS4	MSS5	MSS6	MSS7
L88	22.66	30.06	35.46	14.90
L12	22.64	29.90	35.70	15.30
L23	22.05	28.93	34.71	14.72
L31	22.58	30.04	35.66	15.05
L33	22.25	29.58	34.63	14.37
L34	21.48	28.29	33.62	13.99
L44	22.31	29.43	34.10	13.91

a) Valeurs moyennes des radiométries dans les canaux bruts.

image	F1	é.t.	F2	é.t.	v.p.1	v.p.2
L88	128.05	6.91	127.99	2.63	3.33	0.46
L12	126.30	6.36	128.05	2.89	3.35	0.47
L23	128.01	6.72	128.00	3.00	3.14	0.62
L31	126.81	4.86	128.37	2.29	3.26	0.49
L33	127.82	6.67	128.78	2.97	3.20	0.56
L34	129.65	6.21	128.11	2.74	3.22	0.52
L44	128.32	6.13	126.82	2.81	2.85	0.78

b) Moyennes et écarts-type des facteurs F1 et F2, première et deuxième valeurs propres.

Tableau 2 : Propriétés statistiques des canaux bruts et des canaux F1, F2.

e. angulaire	e. radiométrique
2°23'	1
3°52'	1
12°39'	3
15°40'	4

Tableau 3 : Relation entre la variation angulaire d'un axe et la variation de la radiométrie calculée par projection sur cet axe.

image	F1	F2	P. P.	corr F1	corr F2
L23/L88	0°48'	3°28'	0°08'	0.9978	0.9841
L23/L12	0°43'	0°04'	0°00'	0.9979	0.9911
L23/L31	0°44'	12°39'	0°54'	0.9963	0.9263
L23/L33	0°09'	1°37'	0°00'	0.9983	0.9891
L23/L34	0°52'	7°17'	0°11'	0.9979	0.9847
L23/L44	2°07'	-5°51'	0°08'	0.9977	-0.9525

Tableau 4 : Variations des axes F1 et F2 calculés sur différentes sous-images, par rapport à ces mêmes axes calculés sur la sous-image L23. (F1: angles entre axes F1, F2: angles entre axes F2, P.P.: angles entre les plans F1-F2, corr F1: coefficient de corrélation entre les 1-ères images principales, corr F2: coefficient de corrélation entre les 2-èmes images principales).