

ANALYSE D'IMAGES ET DÉCOUPAGE RÉGIONAL APPLICATION AU LANGUEDOC

Par Christine VOIRON-CANICIO (1)

Résumé : Cet article a pour objet de présenter une méthode de découpage d'un espace, selon un critère choisi (altitude, chiffres de population, nombre d'entreprises...), à partir de procédures d'analyse d'images fondées sur la morphologie mathématique². Il propose également un moyen de hiérarchiser les contrastes régionaux détectés. La démonstration est faite à partir d'images à teintes de gris correspondant aux densités de population communale du Languedoc, traduites en mode raster. Les procédures de segmentation et de hiérarchisation sont décrites dans un premier temps puis appliquées à l'étude spatio-temporelle des différences intra-régionales du Languedoc.

Mots clefs : image - morphologie mathématique - régionalisation - Languedoc.

1 - LE DÉCOUPAGE D'UNE RÉGION EN ZONES HOMOGÈNES

Jusqu'à présent la morphologie mathématique, sur laquelle repose la procédure de régionalisation présentée, a été utilisée en télédétection, notamment pour extraire des réseaux linéaires sur des images SPOT³ ou sur des cartes topographiques⁴. Les transformations morphologiques ont ici pour buts de marquer, extraire puis regrouper des régions à partir d'images différentes des précédentes puisqu'elles sont issues de tableaux de données dont les valeurs ont été traduites en niveaux de gris.

1.1. Gradient morphologique et ligne de «partage des eaux»

Les procédures d'analyse d'images utilisées pour segmenter un espace et hiérarchiser les contrastes

régionaux associent deux algorithmes de base de la morphologie mathématique : le gradient morphologique et la ligne de partage des eaux, tous deux conçus par S. BEUCHER du Centre de Morphologie Mathématique de Fontainebleau⁵.

1.1.1. Le gradient morphologique

La mise en évidence de contours, qu'il s'agisse d'objets ou de zones géographiques, utilise généralement les variations de contraste de l'image quantifiées par le calcul du gradient. Le gradient morphologique en est une variante. Soit une image à teintes de gris définie par une fonction $f(x)$ qui représente l'amplitude du signal au point x , le gradient morphologique $g(f)$ de la fonction f s'écrit :

$$g(f) = \frac{f \oplus B - f \ominus B}{2}$$

NOTES

¹ - Assistante-agrégée, Laboratoire d'Analyse Spatiale «R. Blanchard», Université de Nice-Sophia Antipolis

² - Cette technique a fait l'objet d'un développement plus approfondi dans notre thèse d'État intitulée : *Espace, structures et dynamiques régionales : l'arc méditerranéen*, soutenue en octobre 1992 à Nice (549 p., 175 fig., 39 tab.)

³ - I. Destival (1988). De l'extraction des réseaux linéaires à leur suivi sur des images SPOT par un système d'interprétation à base de connaissances in SPOT 1 *utilisation des images, bilan, résultats*. p1395-1399. Publication du CNES.

⁴ - M.A Serendero et M. Berthod (1988). Extraction des réseaux fins par un suivi directionnel de lignes de crête et de vallées in SPOT 1 *utilisation des images, bilan, résultats*. p1403-1410. Publication du CNES.

⁵ - S. Beucher (1990). *Segmentation d'images et morphologie mathématique*. Thèse de Doctorat de morphologie mathématique. Ecole des Mines de Paris.

où $f \oplus B$ est une dilatation de f par un élément structurant B ,
 et $f \ominus B$ est une érosion par un élément B

Les pixels où la transition de gris est la plus forte matérialisent alors les contours des objets, de même que les limites entre deux sous-régions (Fig. 1).

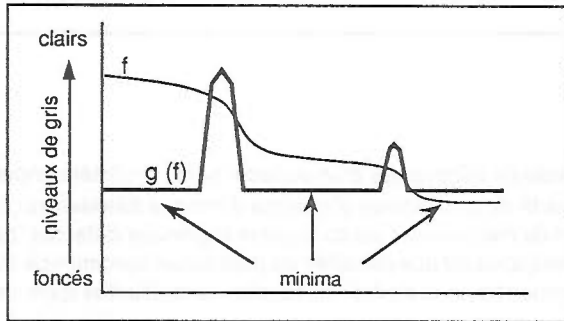


Fig. 1 : Fonction f , gradient de la fonction f et minima du gradient

1.1.2. La transformation dite de la ligne de partage des eaux

Le vocabulaire couramment utilisé en morphologie mathématique pour décrire les images à teintes de gris est emprunté à la topographie. La combinaison des niveaux de gris est assimilée à un relief où les pics : les *maxima régionaux*, correspondent aux zones les plus claires et les fonds de vallée : les *minima régionaux*, aux zones les plus foncées. C'est à partir des minima régionaux qu'est réalisée la transformation dite de la ligne de partage des eaux. Cette transformation constitue le prolongement et l'application aux fonctions numériques de la transformation morphologique ensembliste appelée *squelette par zone d'influence*. De façon imagée, la ligne de partage des eaux (LPE) correspond aux lignes de crêtes qui s'obtiennent lorsque l'on inonde un relief et que deux vallées se rejoignent (Fig.2). Cette transformation élaborée permet de délimiter les régions ou les bassins versants associés aux minima régionaux car le contour d'une ligne de partage des eaux est toujours fermé.

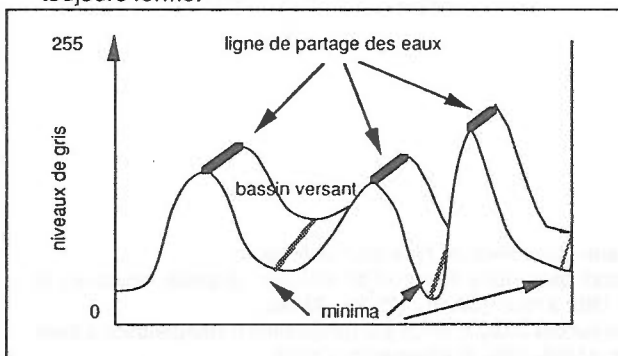


Fig. 2 : Ligne de partage des eaux délimitant

4 bassins versants

1.2. Délimitation et hiérarchisation des sous-régions

Comment définir une région sur une image ? Une région apparaît comme une zone homogène caractérisée par un niveau de gris constant et par le fait qu'elle est entourée par d'autres zones homogènes mais de teinte différente. Le passage d'une région à une autre se marque donc par une transition dans les niveaux de gris. Ce fait constitue le point de départ de la procédure de détection des régions. La mise en évidence des contours des régions utilise les variations de contraste de l'image quantifiées par le calcul du gradient. Les minima du gradient morphologique constituent les marqueurs des zones homogènes. La ligne de partage des eaux (LPE), calculée à partir de ces minima va produire une partition totale de l'image. Celle-ci sera segmentée en autant de zones qu'il y aura de minima ; chaque pixel sera donc rattaché à un bassin versant et ainsi affecté à une région.

La segmentation régionale dépend donc du nombre de minima de l'image. Or, dans le cas d'images complexes, les minima sont très souvent en surnombre et la ligne de partage des eaux construite à partir d'eux, produit une sur-segmentation. Dans ce cas, une simplification de l'image s'impose. Contrairement à d'autres images, les images à teintes de gris issues de tableaux de données ne présentent ni d'effets de bruit ni des parasites ; tous les minima détectés ont un sens géographique, tout dépend du degré de précision avec lequel on souhaite opérer la régionalisation. Il importe donc de choisir attentivement les critères sur lesquels se fera l'élimination de certains d'entre eux nécessaire à la simplification. Deux possibilités existent :

- soit intervenir « à l'amont » en simplifiant l'image initiale par un filtrage ;
- soit simplifier l'image « à l'aval », en appliquant au résultat de la LPE du gradient une hiérarchisation des contours. Cette seconde option, que l'on doit à S. BEUCHER et que nous avons appliqué aux données géographiques, est présentée dans les lignes qui suivent.

La première étape consiste à transformer l'image en une *image-mosaïque*. La procédure a pour but de simplifier l'image sans que l'information majeure ne soit perdue et, notamment, sans que les contours ne soient modifiés. A chaque minimum du gradient $g(f)$ correspond une valeur de gris sur la fonction f ; cette valeur est alors étendue à l'ensemble du bassin versant rattaché au minimum. Il en résulte une nouvelle fonction f' appelée *fonction-mosaïque* car l'image est plus contrastée et les contours plus apparents.

L'image-mosaïque offre l'avantage de pouvoir être interprétée comme un graphe sur lequel peuvent être effectuées des transformations morphologiques (Fig.3). Chaque bassin versant est valué avec f_j . L'arc C_{ij} séparant deux bassins versants adjacents BV_i et BV_j sera valué selon la formule :

$$h(C_{ij}) = |f_j - f_i|$$

Le *gradient-mosaïque* correspond donc à la fonction h définie sur tous les arcs de l'image-mosaïque. Il peut être représenté de façon imagée, sous la forme de murets plus ou moins hauts selon la valeur du gradient-mosaïque ; plus le contraste est fort entre deux régions, plus le muret sera élevé. Le graphe est défini de la manière suivante : ses sommets correspondent aux arcs C_{ij} de la LPE et les arêtes du graphe sont les arcs qui relient les sommets ; ces derniers sont valués par la valeur de $h(C_{ij})$.

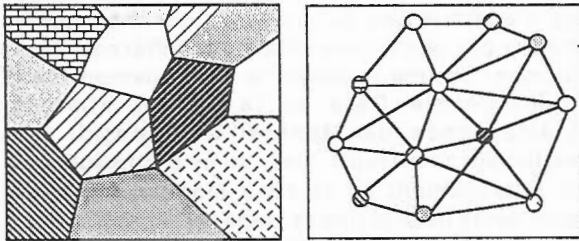


Fig. 3 : Image-mosaïque et graphe associé

La hiérarchisation des contours des bassins versants ou des sous-régions est réalisée en supprimant à chaque étape les arcs correspondant au plus faible contraste (Fig.4). Dans le cas des densités de population, cette suppression entraîne le regroupement de zones contiguës de même densité. La hiérarchisation peut être réitérée ; si elle n'est pas interrompue, elle conduit à l'ensemble vide.

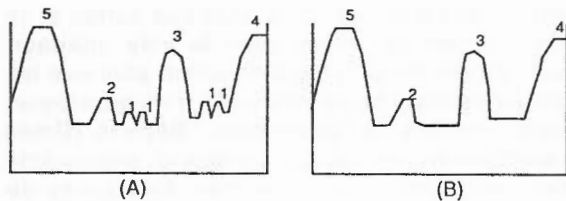


Fig. 4 : Hiérarchisation des contrastes du gradient-mosaïque (A) et suppression des contrastes de niveau 1 (B)

L'intérêt de cette transformation d'images complexe est démontré à partir de l'analyse d'image des densités de population communale des départements du Gard et de l'Hérault à trois dates différentes.

2 -EVOLUTION DES DIFFERENCIATIONS REGIONALES EN LANGUEDOC

2.1. Grille de lecture des images résultant de la hiérarchisation du gradient-mosaïque

Les images des densités (Fig. 5 A) ont été obtenues en appliquant sur le fond de carte communale un maillage régulier de 5 km de côté et en divisant la population de chaque commune par le nombre de mailles tombant dans ses limites. L'échelle des niveaux de gris va de 0 à 255 ; le niveau de gris le plus foncé (valeur 0) correspond à la densité maximum. Comme nous ne voulions mettre en évidence que les contrastes majeurs, nous avons procédé à un lissage des densités par une ouverture de taille 1, avant de calculer l'image-mosaïque (Fig. 5 B). La ligne de partage des eaux du gradient de l'image-mosaïque (Fig. 5 C) fait apparaître de nombreuses petites cellules reflétant tous les niveaux de contrastes de population existant dans le champ. Cette image donne une première information sur les différenciations intra-régionales ; en effet, plus une image est subdivisée en cellules, plus les différenciations locales sont nombreuses.

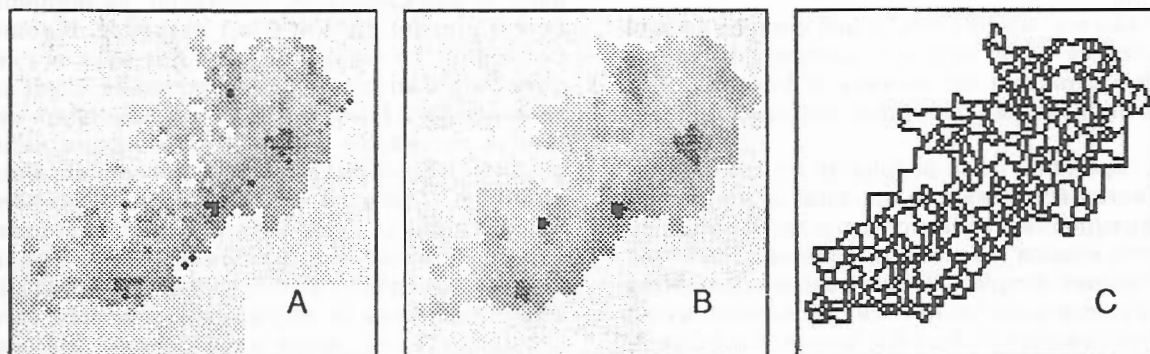


Fig. 5 : densités communales (A) ; image-mosaïque des densités après une ouverture (B) ; ligne de partage des eaux du gradient de l'image B (C)

Au cours de la procédure de hiérarchisation, le nombre de cellules va décroître et la taille des sous-régions augmenter. Le rythme avec lequel les limites intérieures disparaissent renseigne sur l'intensité des contrastes de densités à l'intérieur du champ. En effectuant la même analyse à des dates différentes, par exemple en 1936, 1975 et 1990, et en comparant les résultats à chaque étape de la procédure, on perçoit alors comment les structures spatiales se sont modifiées au cours du temps :

- ainsi, des limites intérieures qui persistent sont le signe de contrastes intra-régionaux élevés ;
- comme à chaque étape, le plus faible contraste de l'image est supprimé, ne demeurent au bout du compte que les oppositions majeures ; les derniers niveaux de la hiérarchisation permettent donc de situer les clivages fondamentaux et d'apprécier les variations de leur intensité ;
- les premiers niveaux sont porteurs d'informations sur la dynamique micro-régionale. Tout changement, qu'il s'agisse d'extension de l'occupation, de déprise ou de « reconquête », entraîne des déséquilibres au niveau micro-régional. Les évolutions se diversifient localement ; l'espace se craquelle. Une analyse diachronique des différents niveaux de la hiérarchisation permet alors de distinguer les zones en mutation de celles qui restent stables.

2.2. Analyse comparative des contrastes intra-régionaux à trois dates différentes (Fig.6)

Les images de la figure 6, tirées de la procédure de hiérarchisation du gradient-mosaïque, présentent les niveaux jugés les plus significatifs pour la compréhension de la dynamique intra-régionale. Deux premières remarques s'imposent :

- l'examen comparatif des images du niveau 3 révèle une augmentation des clivages intérieurs au cours du temps, notamment dans le bas-pays (zone inférieure à 200 m) et dans le Languedoc oriental ;
- par ailleurs, les différenciations internes se sont accentuées au fil des ans, comme l'indique le nombre croissant de niveaux à franchir avant d'individualiser les contrastes majeurs.

La répartition de la population en 1936, après plusieurs décennies d'exode rural ayant conduit au dépeuplement de la montagne tout d'abord, du piémont ensuite, au profit de la plaine viticole, est relativement simple. Globalement les contrastes sont peu marqués, les densités décroissent assez progressivement du Sud-Est vers le Nord-Ouest, excepté le long du littoral et dans le Languedoc occidental. Au niveau 4, on remarque une ligne de contrastes élevés séparant nettement les fortes densités du Biterrois viticole de celles, plus faibles, du piémont et de la montagne. Cependant, les limites intérieures ne résistent pas très longtemps ; dès le niveau 5, ne demeurent plus que

les contrastes de la frange côtière et ceux des principales unités urbaines.

Quarante ans plus tard, en 1975, les contrastes se sont multipliés à l'échelle micro-régionale. Le vide intérieur s'est réduit avec, d'une part, l'apparition de nouvelles cellules de contrastes sur le rebord des Cévennes entre Ganges - Le Vigan et la région d'Alès, et, d'autre part, la densification de la plaine littorale. Cette croissance du bas-pays ne s'effectue pas de manière uniforme mais se traduit par une accentuation des différenciations locales, comme le révèle le morcellement de la plaine entre Sète et la région nîmoise. L'émergence de Montpellier apparaît très nettement au niveau 6, avec, comme conséquence, le rattachement de la zone montpelliéraine au patchwork de la plaine et, dans la périphérie Nord, l'apparition d'un contact brutal avec l'arrière-pays qui prolonge ainsi vers l'Est la césure observée précédemment dans le Nord du Biterrois.

Les images de l'année 1990 signalent une recrudescence des différenciations locales, autant dans le bas-pays que dans l'arrière-pays. La zone centrale intérieure, englobant montagne et piémont, est davantage compartimentée. L'arrière-pays bouge ; les zones en mutation se situent entre Ganges - Le Vigan et Montpellier et le long d'un couloir allant de la région d'Alès à celle de Nîmes. Dans la zone littorale, toutes les cellules sont à présent soudées les unes aux autres et ce foisonnement contraste avec le vide intérieur. Aux derniers niveaux ne demeurent plus que les contrastes liés à la présence des trois principales agglomérations de l'avant-pays : Béziers, Nîmes et Montpellier, avec, autour de celle-ci, une auréole péri-urbaine nettement dessinée. Des zones de contrastes persistent également le long de la frange côtière et, dans l'intérieur, autour de Bédarieux et de Clermont-l'Hérault.

Ces trois séries d'images signalent donc un déplacement des clivages intra-régionaux, au cours de ces cinquante dernières années. Alors qu'en 1936, les clivages majeurs étaient localisés dans le Bas-Languedoc occidental, ils prédominent à présent dans le Bas-Languedoc oriental. Les formes de contact entre le bas-pays et l'arrière-pays s'en sont trouvées modifiées. C'est au niveau 6 de la hiérarchisation que l'évolution est la plus perceptible. En 1936, une césure nette séparait à l'Ouest les deux sous-ensembles, alors qu'à l'Est, existaient des niveaux de transition. Aujourd'hui la situation est renversée. Le processus de *rurbanisation*, particulièrement marqué dans la zone comprise entre Nîmes et Montpellier, a fait disparaître le dégradé des densités vers l'intérieur. La limite entre le bas-pays et l'intérieur se calque désormais à l'Est, sur le front d'avancée de la péri-urbanisation. Le moindre dynamisme démographique et économique de la partie occidentale, s'est traduit par une atténuation des contrastes ; la ligne de contact entre les fortes densités viticoles et le vide relatif intérieur persiste mais s'est réduite.

Conclusion

Cette procédure de segmentation et de hiérarchisation régionale est intéressante à plus d'un titre. D'une part, elle donne une vision précise des discontinuités existant à travers le champ : leur nombre, leur intensité, leur localisation et, dans le cas d'analyses diachroniques, leur évolution. D'autre part, elle offre une méthode fiable de découpage régional

qui permet d'éviter le choix plus ou moins arbitraire des valeurs de seuils. Sa robustesse devrait en faire un précieux outil d'aide à la décision, que ce soit en aménagement du territoire (regroupement de communes, localisation de bassins d'emploi...) ou bien en politique, lors des opérations, toujours contestées, de redécoupage des circonscriptions électorales. ■

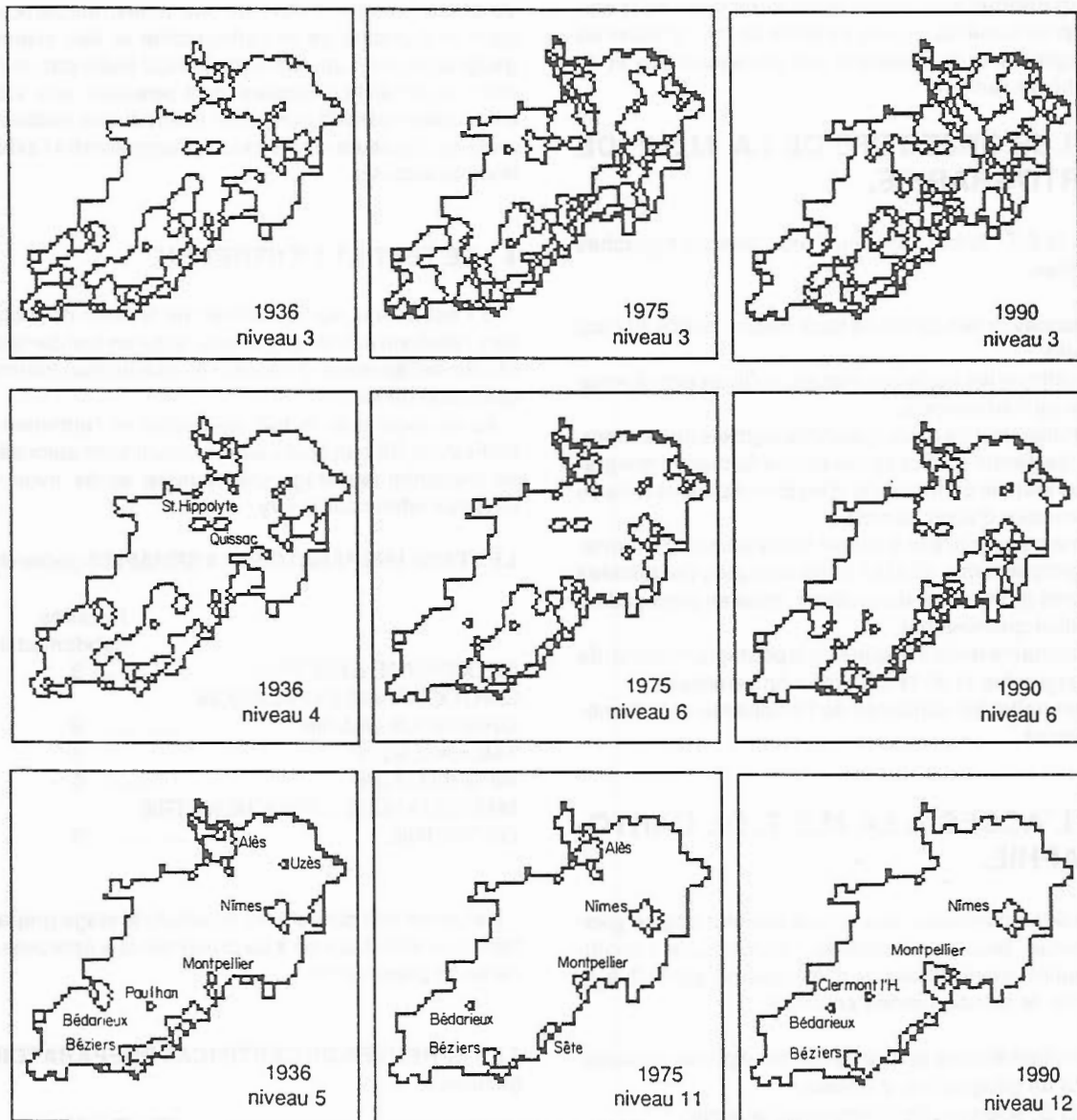


Fig. 6 : Hiérarchisation du gradient des densités communales du Languedoc.