



Commission économique pour l'Europe**Conférence des statisticiens européens****Cinquante-huitième réunion plénière**

Paris, 8-10 juin 2010

Point 6 de l'ordre du jour provisoire

Statistiques spatiales**Mesure de la compacité des localités en Israël****Note du Bureau central de statistique d'Israël***Résumé*

La présente étude traite de la mesure des schémas de développement des localités urbaines allant de la compacité à l'étalement. La compacité est souvent associée à un développement concentré dans une zone de forme régulière, par opposition à un développement dispersé et fragmenté, qui influe sur le coût des infrastructures et des services publics. L'étude a été réalisée à la demande du Ministère de l'intérieur dans le cadre d'un projet plus vaste dont l'objet est de décrire les collectivités locales israéliennes à l'aide de divers indicateurs pertinents pour la fourniture de services municipaux à la population locale.

L'indice de compacité est calculé pour 197 municipalités et conseils locaux à partir des caractéristiques de leur développement en 2006. On obtient le niveau de compacité d'une localité donnée en associant plusieurs dimensions d'une localité urbaine, notamment la configuration, la concentration, le remplissage de l'espace, la continuité interne et l'intensité de l'utilisation des sols, chacune de ces dimensions étant également un concept, qui peut être mesuré de plusieurs façons.

Mots-clés: mesure de la compacité, mesure de l'étalement, dimensions spatiales, schéma de développement urbain, utilisation des sols.

I. Contexte

1. Le terme «compacité» et son opposé «étalement» sont largement employés pour décrire les schémas de développement urbain et rural. L'étalement se caractérise par une faible densité, l'éloignement par rapport aux installations centrales, la ségrégation spatiale dans l'utilisation des sols, la progression par bonds et le développement linéaire (Galster *et al.*, 2001; SCATTER Project, 2002-2004). La compacité et la concentration présentent certes des problèmes (encombrement urbain), mais il est communément reconnu dans les publications que les structures dispersées et fragmentées sont plus difficiles à desservir et rendent l'interaction plus coûteuse, de sorte que les effets environnementaux, économiques et sociaux globaux d'une expansion étalée sont négatifs. L'étalement entraîne des coûts plus élevés en matière d'infrastructures et de services publics et un gaspillage de l'énergie, aggrave les embouteillages, allonge la durée des déplacements à cause de l'absence de transports publics et d'une utilisation intensive des véhicules privés, et crée un déséquilibre spatial et professionnel entre la population et l'emploi.

2. Depuis plusieurs années, de gros efforts sont déployés dans le monde pour mettre en œuvre un concept de croissance urbaine durable et un modèle de ville compact. La mesure de la compacité et de l'étalement est traitée dans un grand nombre d'ouvrages. Bien que de nombreuses mesures soient proposées et appliquées, seuls quelques auteurs donnent une définition des termes et aucune ne représente plus qu'une liste de différents aspects du développement allant de la compacité à l'étalement. L'absence d'une définition précise est expliquée par Ewing *et al.* (2002): *l'étalement et son opposé, le développement compact, sont des concepts, c'est-à-dire des abstractions théoriques, comme l'«intelligence» dans l'enseignement ou l'«utilité» en économie. En tant que tels, ils doivent être représentés par des variables instrumentales (dimensions) qui peuvent être mesurées avec objectivité. Il est possible que ces variables ne représentent pas complètement les concepts sous-jacents auxquels elles se rapportent, mais elles rendent compte de l'essence même des concepts. Les différentes dimensions du développement qui différencient le développement compact de l'étalement (densité, utilisation mixte des sols, etc.) sont également des concepts, qui peuvent être mesurés de nombreuses façons.* Même les auteurs qui adoptent plus ou moins la même notion de définition proposent des manières très différentes de mesurer le schéma de développement. Le choix d'une mesure dépend des objectifs d'un projet déterminé et de la disponibilité de données pour le calcul.

3. S'il n'y a pas de définition exacte du terme, la compacité est intuitivement assimilée à l'absence de dispersion ou à la concentration. Pour un objet constitué d'éléments distincts et éloignés les uns des autres, cette interprétation peut s'exprimer et se mesurer en termes de proximité des éléments les uns par rapport aux autres ou par rapport à un point central. Ainsi, en Israël, la compacité d'un conseil régional constitué d'un certain nombre de localités se mesure par la distance moyenne entre ces localités et le centre opérationnel municipal. La mesure de la compacité d'une municipalité ou d'un conseil local est plus complexe du fait que la collectivité locale comprend une seule localité et ne peut donc pas être considérée simplement comme plusieurs éléments distincts. La présente étude traite du calcul de l'indice de compacité des municipalités et conseils locaux israéliens, défini comme étant une combinaison de plusieurs dimensions géographiques du développement urbain.

II. Aspects fondamentaux

4. Une localité compacte est souvent associée à un développement concentré dans une zone de forme régulière, par opposition à un développement dispersé et fragmenté. Il est

possible de différencier trois aspects principaux parmi les nombreuses dimensions du développement urbain mentionnées dans la littérature consacrée à la question: la configuration, l'intensité de l'utilisation des sols et les caractéristiques spatiales visant la diversité, la continuité interne et l'accessibilité. Ces aspects ne sont pas forcément liés entre eux et, considérés séparément, peuvent déboucher sur une interprétation, une définition et une mesure différentes de la compacité.

A. Configuration (dimensions géométriques telles que taille, forme et dispersion)

5. Du point de vue géométrique, la compacité correspond à une définition type du dictionnaire citée par Niemi *et al.* (1990): une figure est compacte si elle est contenue dans un espace relativement petit ou si ses parties sont très proches les unes des autres. Par contre, une figure n'est pas compacte si elle est étalée. Par conséquent, les cercles et les carrés sont réputés être compacts tandis que les formes longues, étroites et irrégulières ne sont pas censées l'être.

6. Nombre de mesures de la configuration examinées dans les ouvrages s'appuient sur les figures géométriques utilisées comme critère de comparaison entre les différentes formes. Il existe aussi de nombreuses mesures non normalisées de la dispersion, qui reposent sur une comparaison de la longueur et de la largeur, le rapport entre le périmètre et la superficie, ou la distance entre le centre et les limites de la localité, tout comme il existe des mesures pondérées en fonction de la population (pour une analyse détaillée et une comparaison des diverses mesures, voir Niemi *et al.* (1990) et Siegel (1996)). Selon Niemi *et al.* (1990), il importe de noter que le problème reste multidimensionnel même si l'on ne considère que l'aspect «configuration». Aucun nombre ne peut à lui seul exprimer adéquatement la qualité bidimensionnelle de l'espace, pour ne pas parler de la population ou d'autres éléments additionnels, de sorte qu'aucune définition à une seule variable ne convient et qu'il faudrait examiner plusieurs mesures simultanément pour définir le concept.

7. Les mesures de la configuration décrivent le cadre dans lequel s'inscrit le développement, mais ne rendent pas compte de l'intensité du développement à l'intérieur d'une forme donnée, ni de sa continuité interne.

B. Intensité de l'utilisation des sols ou de l'espace (dimension «densité»)

8. Comme le font observer Torrens et Alberti (2000), il ne se dégage des textes aucune véritable communauté de vues sur la définition de la densité au regard des points suivants: variable (activité) à utiliser – logement, population ou emploi; échelle de l'étude – zone métropolitaine, district urbain ou voisinage; zone géographique à mesurer – zone totale (densité brute) ou zone résidentielle (densité nette).

9. De plus, deux principales méthodes de mesure de la densité sont applicables, la première étant la mesure de l'espace absolu à l'intérieur de la zone totale disponible qui est consacré à une utilisation particulière des sols et la deuxième étant la mesure du taux de remplissage de l'espace relativement à la distance par rapport à un point central de la ville (généralement le quartier commercial central). La deuxième approche suppose le calcul d'une atténuation de la densité fondée sur des fonctions de densité de population urbaine et le calcul de la dimension fractale (voir Batty et Kwang (1992) et Mesev *et al.*, (1995) pour une analyse détaillée).

C. Caractéristiques spatiales du développement (diversité et dispersion dans l'utilisation des sols, continuité interne et accessibilité)

10. Torrens et Alberti (2000) utilisent le terme «scatter» (éparpillement) pour définir des caractéristiques du développement non compact comme la fragmentation, la progression par bonds, la discontinuité, la dispersion et l'aménagement parcellaire. De nombreuses expressions provenant de différents domaines de connaissances (morphologie urbaine, écologie des paysages, théorie de l'interaction spatiale, théorie de l'information, sociologie) sont employées ou peuvent l'être pour mesurer les caractéristiques spatiales des types d'utilisation des sols. Elles peuvent comprendre des variables comme la densité d'utilisation des sols (mesurée de différentes façons), le nombre de types d'utilisation des sols, les distances entre les zones (définies à différentes échelles) etc., et peuvent se présenter sous les formes suivantes: moyenne modérée, coefficient de corrélation, entropie, etc. Nous tenterons ci-après de regrouper ces mesures en tenant compte de leur forme mathématique et du domaine de connaissances auquel elles appartiennent.

a) Torrens et Alberti (2000) proposent un indice d'éparpillement calculé en tant que distance moyenne pondérée entre les parcelles résidentielles et leur centroïde pondéré. Une mesure de la concentration proposée dans le cadre du projet SCATTER (2002-2004) qui s'appuie sur une idée analogue est calculée en tant que densité moyenne des zones urbaines, pondérée par le carré de la distance entre les centres de gravité des zones et l'ensemble de la ville. Pour mesurer l'interaction spatiale et la dispersion des implantations urbaines, Thinh *et al.* (2001) proposent un indicateur de compacité inspiré de la loi de la gravitation et calculé en tant que puissance d'attraction moyenne entre les mailles de la trame.

b) Des indicateurs d'association spatiale (Morans's I-statistic et d'autres) permettant de déterminer dans quelle mesure l'espace considéré est homogène ou hétérogène pourraient être interprétés comme étant des mesures de l'éparpillement des zones de développement (SCATTER Project, 2002-2004).

c) L'indicateur d'entropie de Shannon est utilisé pour mesurer la concentration et la dispersion spatiales représentées par une variable géographique, par exemple la densité (Yeh et Li, 2001), ou comme indicateur d'une utilisation mixte des sols (Allen, 2001).

d) Des mesures de la diversité et de la ségrégation, largement utilisées en démographie, en sociologie et en écologie des paysages, servent à mesurer les différentes dimensions du développement étalé (Galster *et al.*, 2001; Ewing *et al.*, 2002).

e) Diverses mesures de l'accessibilité sont très souvent utilisées pour mesurer la compacité du développement urbain et rural (Allen, 2001; Galster *et al.*, 2001; Hasse et Lathrop, 2003).

11. La section 4 décrit les mesures spécifiques du développement urbain retenues pour la présente étude d'après leur intérêt pour le projet réalisé à la demande du Ministère de l'intérieur, les avantages théoriques des mesures proposées dans la littérature spécialisée, la disponibilité des données et les contraintes du modèle d'analyse factorielle utilisé pour créer l'indice de compacité intégré.

12. Le projet a pour but de décrire et de classer les localités israéliennes (municipalités et conseils locaux) selon la structure de la zone urbaine, dans la mesure où cela est pertinent pour la fourniture de services municipaux à la population des localités. Ces objectifs, ainsi que la disponibilité des données, ont défini le principal ensemble de mesures, choisi à partir des nombreux indicateurs mentionnés ci-dessus ou inspiré des idées énoncées dans les différents écrits consacrés à la question. Il s'agissait de mesures de la configuration se rapportant à la taille, à la forme et à la dispersion de la zone urbaine, de mesures spatiales

concernant la concentration, l'interaction et la continuité interne, ainsi que de mesures de la densité de population. Nous privilégions les structures d'entités physiques telles que les zones bâties ou les espaces ouverts, qui sont distinctes de celles de l'activité ou de l'utilisation des sols, malgré les liens qui les unissent. Nous n'abordons pas les questions de l'accessibilité, de l'utilisation mixte ou diversifiée des sols et n'examinons pas les mesures axées sur la répartition de la population à une échelle détaillée, par exemple les mesures de l'entropie ou de l'atténuation de la densité. À ce stade, nous nous concentrons sur les mesures statiques des schémas de développement et ne traitons pas des schémas de développement dynamique.

III. Éléments mesurés

13. Les localités israéliennes sont divisées en deux principales catégories selon la taille de la population: les localités urbaines qui sont définies comme ayant une population de 2 000 habitants ou plus (même si elles sont de type rural) et les localités rurales, qui sont définies comme ayant une population de moins de 2 000 habitants ou plus (même si elles ne sont pas de type rural). Le statut municipal des localités est défini conformément aux règlements législatifs et administratifs, de sorte qu'il existe trois types de collectivités locales: la municipalité, qui comprend une seule localité et qui a le statut de municipalité; le conseil local, qui comporte une seule localité et qui n'a pas le statut de municipalité; le conseil régional, qui est généralement constitué de plusieurs localités rurales, mais qui peut aussi comporter des localités urbaines. Le statut municipal des localités peut évoluer dans le temps, notamment lorsque plusieurs localités sont fusionnées en une seule municipalité ou un seul conseil local.

14. La présente étude traite de la mesure de la compacité au niveau de la collectivité locale et analyse les 197 municipalités et conseils locaux israéliens selon leur statut municipal à la fin de 2004. Les collectivités locales en question comprennent 112 localités juives, 72 localités arabes ou druzes et 8 localités dont la population est mixte. Il existe quatre localités rurales et 193 localités urbaines (classées selon la taille de la population), qui comptent entre 1 291 et 733 329 habitants et dont la zone bâtie varie entre moins de 1 km² à plus de 80 km².

15. En nous inspirant de Frenkel et Ashkenazi (2005), qui ont appliqué un ensemble d'indicateurs disponibles pour mesurer l'étalement dans un échantillon de 78 localités urbaines habitées par une population juive ou mixte, nous avons défini une **zone bâtie urbaine** comme étant un objet constitué d'un nœud central et éventuellement de nœuds ou noyaux périphériques. Les nœuds sont définis comme suit:

a) Le **nœud central** est une zone bâtie continue à l'intérieur des limites municipales d'une localité urbaine, qui contient la plupart des terrains résidentiels et autres terrains bâtis, ainsi que des terrains intérieurs ouverts et non utilisés entourés par les terrains bâtis;

b) Le **nœud périphérique** est une zone bâtie continue à l'intérieur des limites municipales d'une localité urbaine, située séparément à une certaine distance du nœud central mais qui lui est fonctionnellement liée (par exemple quartiers résidentiels, zones industrielles, institutions, etc.). Les nœuds périphériques comprennent des terrains utilisés ou non utilisés ouverts entourés par les terrains bâtis.

16. Les données sur l'utilisation des sols ont été obtenues dans le cadre du projet de 2004 relatif à l'utilisation des sols réalisé pour le compte du Ministère de l'intérieur par le Département SIG (Système d'information géographique) du Bureau central de statistique d'Israël et actualisé pour prendre en compte les nouvelles constructions jusqu'en 2006. Les catégories de terrains bâtis comprennent les bâtiments destinés à l'habitation, à

l'enseignement, aux services de santé et de protection sociale, aux services publics, à la culture et aux loisirs, au commerce, à l'industrie et aux infrastructures, aux transports et aux structures agricoles. Ce dernier groupe n'a pas été inclus dans la catégorie des terrains bâtis aux fins de la présente étude et a été traité de la même façon que les espaces ouverts (zones ouvertes au public, forêts, plantations et vergers, champs cultivés) et les terres non utilisées.

17. Le logiciel Arc GIS 9.3 a été utilisé pour répertorier les nœuds de chaque localité. Réalisé par le Département SIG du Bureau central de statistique d'Israël aux fins de la présente étude, l'exercice s'est déroulé en plusieurs étapes:

- a) Les polygones bâtis ont été entourés par des zones tampons d'une largeur de 50 mètres pour garantir une distance minimale de 100 mètres entre les zones bâties des nœuds adjacents (dans le cas contraire, ils viendraient s'ajouter au même nœud);
- b) Les parties nodales se trouvant au-delà des limites municipales ont été enlevées;
- c) Les nœuds d'une superficie inférieure à 60 000 m² (60 dunams) ont été exclus de la zone bâtie urbaine;
- d) Le nœud ayant la plus grande superficie a été définie comme étant le nœud central;
- e) Les nœuds périphériques qui n'ont aucun lien fonctionnel direct avec la collectivité locale et qui contiennent uniquement des carrières, une station d'épuration des eaux usées, une usine de production de gaz ou de combustibles, un réservoir d'eau ou un cimetière ont été exclus de la zone bâtie urbaine.

18. On trouvera à la Figure 1 (voir la page 10) quelques exemples de zones bâties urbaines définies pour les localités.

IV. Méthode appliquée

19. L'indice de compacité concernant la totalité des 197 localités est calculé à l'aide d'une analyse factorielle sous la forme d'une combinaison linéaire d'indicateurs choisis dans l'ensemble principal de mesures défini ainsi qu'il est indiqué dans la section 2.

A. Mesures retenues

20. L'ensemble final d'indicateurs a été choisi sous réserve des critères de base du modèle d'analyse factorielle: couverture équilibrée des dimensions étudiées; degré d'adéquation suffisant des variables utilisées dans l'analyse factorielle; prise en compte d'une variance substantielle des mesures de la compacité par un petit nombre de facteurs – pour mieux différencier les localités. Selon les critères précités, nous avons évité d'inclure des variables fortement corrélées pour décrire la même dimension, privilégiant les variables à variance élevée (pour tenir compte des différences très importantes entre les localités). La mesure de Kaiser, qui indique l'adéquation de l'échantillonnage et qui a été effectuée pour l'ensemble des variables et séparément pour chaque variable, a été utilisée comme critère de base pour inclure ou éliminer une variable donnée. Une valeur supérieure à 0,5 (0,73 en l'espèce) indique que la totalité des variables appartient à la même sphère de contenu. La valeur de la mesure pour chaque variable montre séparément sa contribution au groupe auquel elle a été incorporée. Nous avons tenté d'inclure des variables pour lesquelles la valeur était supérieure à 0,5. La décision finale a été prise en fonction de la mesure dans laquelle une variable a contribué à expliquer la variance totale et en fonction de l'incidence sur les facteurs relatifs à d'autres variables si cette variable n'avait pas été incluse.

21. Les indicateurs ci-après ont finalement été inclus dans le calcul de l'indice:

a) **Coefficient de variation des radiales** par rapport à la radiale moyenne (selon Niemy *et al.*, 1990 et Siegel, 1996):

$$C1 = 100 * \frac{\sqrt{\frac{1}{359} \sum_{i=1}^{360} (r_i - \bar{r})^2}}{\bar{r}}, \quad \bar{r} = \frac{1}{360} \sum_{i=1}^{360} r_i$$

r_i étant la longueur de la radiale entre le point central et la limite de la zone construite urbaine (c'est-à-dire le point le plus éloigné sur la limite du nœud périphérique le plus éloigné). Le point central est défini comme étant le centre géométrique du nœud central. Les radiales sont espacées à angles égaux au point central. Un cercle reçoit la valeur zéro alors que les surfaces allongées ou de forme irrégulière reçoivent des valeurs élevées. Les valeurs des localités étudiées s'échelonnent entre 13,86 et 171,30;

b) **Rapport entre le périmètre du district et le périmètre du cercle de même superficie** (Niemy *et al.*, 1990), également appelé «indice de forme»:

$$L / 2\sqrt{\pi S}$$

L et S étant respectivement le périmètre et la superficie du district. Le cercle est considéré comme étant la forme idéale car il maximise la superficie dans un périmètre donné. La valeur du rapport varie entre 1 (pour un cercle) et des chiffres plus élevés pour les zones de forme irrégulière. On calcule le rapport pondéré pour chaque localité en additionnant les indices de forme de chaque nœud pondérés par leur taille relative:

$$C2 = \sum_{i=1}^n \frac{S_i}{S} \frac{L_i}{2\sqrt{\pi S_i}}$$

n étant le nombre total de nœuds, S_i et S étant respectivement les superficies du nœud i et de la zone construite urbaine, et L_i étant le périmètre du nœud i. Les valeurs obtenues pour les localités étudiées sont comprises entre 1,29 et 5,18;

c) **Pourcentage représenté par la zone construite urbaine dans le polygone de circonscription le plus petit:**

$$C3 = 100 * \frac{S}{S_p}$$

S et S_p représentant respectivement la zone construite urbaine et la superficie du polygone le plus petit circonscrivant tous les nœuds de la zone en question et qui a été calculé par la fonction Convex Null du logiciel Arc GIS 9.3. Les valeurs de la mesure s'échelonnent entre 6,10 et 94,76, les valeurs les plus faibles indiquant une expansion moins compacte;

d) **Pourcentage représenté par la superficie des nœuds périphériques dans la zone construite urbaine:**

$$C4 = 100 * \frac{\sum_{i=1}^{n-1} S_i}{S}$$

(n-1) étant le nombre de nœuds périphériques, et S_i et S représentant respectivement les superficies du nœud périphérique i et de la zone construite urbaine. Les valeurs des localités étudiées varient entre 0 et 69,39, les valeurs élevées indiquant une progression par bonds.

e) **Indice d'éloignement pondéré des nœuds périphériques**, la somme des distances entre la limite du nœud central et celle de chaque nœud périphérique étant pondérée par le pourcentage représenté par la superficie des nœuds dans la zone construite urbaine:

$$C5 = \sum_{i=1}^{n-1} 100 * \frac{S_i}{S} d_i$$

(n-1) étant le nombre de nœuds périphériques, S_i et S représentant respectivement les superficies du nœud périphérique i et de la zone bâtie, et d_i étant la distance aérienne la plus courte entre la limite du nœud central et celle du nœud périphérique i . Les valeurs obtenues oscillent entre 0 et 322,09, les valeurs les plus élevées indiquant un développement moins compact.

f) **Indicateur du degré de compacité**, fondé sur la méthode de la gravitation et l'analyse des trames SIG (Thin *et al.*, 2001):

$$C6 = \frac{1}{0.5h(h-1)} \sum_{i=1}^{h-1} \sum_{j=i+1}^h A_{ij} ; A_{ij} = \frac{z_i * z_j}{cd_{ij}^2}$$

A_{ij} étant la puissance d'attraction réciproque entre les mailles i et j calculée par analogie avec la loi de la gravitation, z_i étant la zone bâtie de la maille i , d_{ij} étant la distance euclidienne entre les centres des mailles i et j , c étant un facteur de proportionnalité rendant A_{ij} non dimensionnel ($c = 100 \text{ m}^2$), et h étant le nombre total de mailles d'une zone bâtie d'une superficie supérieure à 5 m^2 . Un réseau de trames d'une taille de 100 mètres par 100 mètres a été utilisé pour le calcul.

L'indicateur est considéré comme étant une mesure de l'interaction spatiale entre les grappes de la zone, les valeurs les plus élevées témoignant d'une interaction plus forte et d'une dispersion moindre, d'où une structure urbaine plus compacte. Les valeurs obtenues pour les localités varient entre 0,07 et 5,06.

g) **Superficie totale des nœuds (zone construite urbaine)**: $C7 = S$ -, qui indique la taille totale des objets étudiés et s'échelonne entre 0,21 et 81,57 km^2 .

h) **Densité de population**, mesurée en nombre d'habitants par km^2 de la zone construite urbaine:

$$D = \frac{P}{S}$$

P représentant la population de la localité et S la zone construite urbaine. Les valeurs obtenues varient entre 813 et 22 450 habitants par km^2 , les densités les plus élevées correspondant à un développement plus compact.

22. En raison des résultats de l'analyse factorielle et de l'évaluation du classement des localités par indice de compacité calculé avec et sans une mesure de la densité de population, il a été décidé de ne pas inclure la densité de population dans l'indice de compacité intégré, mais de la garder comme indicateur séparé d'un schéma de développement urbain, distinct de la structure physique de la zone bâtie dans un espace bidimensionnel mesuré par le reste des indicateurs.

B. Indice intégré

23. Deux facteurs importants correspondant aux valeurs propres supérieures à 1 et expliquant 73 % de la variance totale ont été définis par le modèle d'analyse factorielle

reposant sur les valeurs du z (valeurs normalisées) des sept variables retenues. Par souci de commodité, les indicateurs C3 et C6 ont été multipliés par (-1), de sorte que les valeurs plus élevées indiquent un développement moins compact comme le fait le reste des mesures.

24. Les facteurs (ou principales composantes) sont des combinaisons linéaires des valeurs du z des variables initiales, les coefficients de pondération étant calculés de manière à maximiser les différences de valeurs des facteurs entre les unités examinées (zones construites urbaines des localités). Le premier facteur a une efficacité discriminatoire maximale au niveau des unités. Le deuxième facteur prend en compte la variance maximale des variables initiales non prises en compte par le premier facteur, et ainsi de suite. Les vecteurs de pondération sont orthogonaux, les facteurs définissant un ensemble d'axes orthogonal dans l'espace des variables multidimensionnelles.

25. On procède à une rotation orthogonale des facteurs pour renforcer les coefficients de corrélation entre un sous-ensemble de variables initiales et un facteur déterminé, ce qui permet de définir deux ensembles de variables. Celles du premier ensemble présentent une forte corrélation (supérieure à 0,82) avec le premier facteur uniquement et comprennent les indicateurs C1, C3, C4 et C5 (mesures de la configuration et des bonds). Les variables du deuxième ensemble ont une forte corrélation (supérieure à 0,73) avec le deuxième facteur uniquement et comprennent les indicateurs C2, C7 et C6 (mesures de la forme, de la taille, de la continuité interne et de l'interaction).

26. L'indice de compacité a été calculé en tant que moyenne pondérée des valeurs des facteurs, qui sont pondérés par le pourcentage de variance expliqué par chaque facteur (après la rotation). Les valeurs de l'indice sont normalisées aux valeurs du z dans une fourchette comprise entre -2,12 et 3,78, la localité la plus compacte recevant la valeur la plus faible (valeur négative) et la localité la plus compacte recevant la valeur la plus élevée (valeur positive).

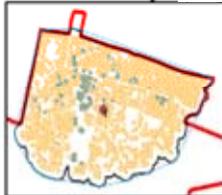
27. D'après les valeurs de l'indice, les 197 localités ont été divisées en grappes selon la méthode de l'analyse par grappes de Ward. Il s'agit d'une analyse de la variance qui permet d'évaluer les distances entre les grappes pour minimiser les différences au sein d'un groupe et maximiser les différences entre les groupes. En d'autres termes, les localités ont été affectées à des grappes, la variance des valeurs de l'indice étant minimisée à l'intérieur des grappes et maximisée entre les grappes. On trouvera à la Figure 1 des exemples de localités (zones construites urbaines) affectées à différentes grappes de compacité.

V. Conclusions

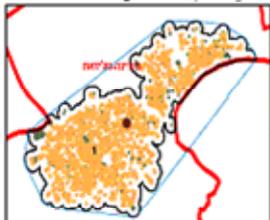
28. La compacité d'une zone urbaine est un phénomène multidimensionnel qu'il faudrait mesurer en associant plusieurs indicateurs relatifs à différentes dimensions d'un schéma de développement urbain. Le présent document décrit le calcul de l'indice de compacité des municipalités et conseils locaux israéliens, le but étant de définir et de classer les localités selon le niveau de compacité de la zone urbaine de manière à permettre la fourniture des services municipaux à la population des localités. L'étude vise essentiellement à mesurer la configuration d'entités physiques telles que zones bâties ou espaces ouverts. Cet objectif, ainsi que la disponibilité des données et les critères de l'analyse factorielle, ont défini l'ensemble de mesures intégrées dans le calcul de l'indice, notamment les mesures de la configuration ayant trait à la taille, à la forme et à la dispersion de la zone urbaine, ainsi que les mesures spatiales relatives à la concentration, à l'interaction et à la continuité internes. Finalement, la mesure de la densité de population n'a pas été incorporée dans l'indice intégré et a été considérée comme un indicateur distinct du schéma de développement urbain.

Figure 1
Zones construites urbaines des localités affectées à différentes grappes de compacité
 (L'échelle utilisée varie d'une carte à l'autre)

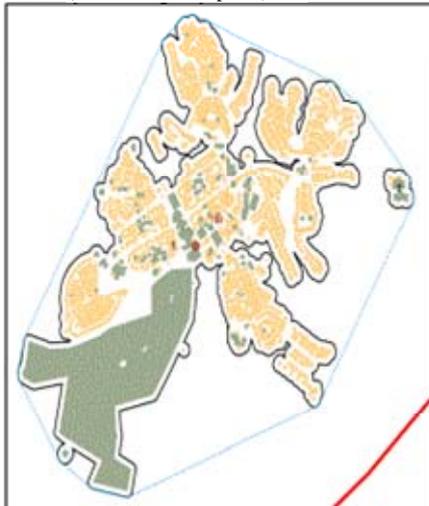
Mazkeret Batya (localité très compacte)



Bu'eine-Nujeidat (localité compacte)



Arad (localité non compacte)



Légende:

-  Limite municipale
-  Limite et numéro de nœud
-  Polygone de circonscription
-  Utilisation résidentielle des sols
-  Utilisation non résidentielle des terrains bâtis
-  Point central

Nom de la localité	Mazkeret Batya	Bu'eine- Nujeidat	Arad
Taille de la population en 2006	8 800	7 853	23 323
Densité de la population brute (D)	5 232	4 736	3 613
Zone bâtie urbaine en km ² (C7)	1,68	1,66	6,46
Coefficient de variation des radiales (C1)	20,56	43,84	38,04
Indice de forme pondéré (C2)	1,29	1,99	3,29
Pourcentage de zones bâties dans le polygone de circonscription (C3)	93,14	72,97	61,70
Pourcentage de nœuds périphériques (C4)	0,00	0,00	1,21
Indice d'éloignement pondéré des nœuds périphériques (C5)	0,00	0,00	0,31
Indicateur du degré de compacité (C6)	2,65	1,88	0,70
Indice de compacité intégré (fondé sur les indicateurs C1 à C7)	-1,60	-0,65	0,31

VI. Références

- Allen, E. (2001): *INDEX: Software for Community Indicators*. In R. K. Brail & R. E. Klosterman (Eds.), *Planning Supporting Systems: Integrating Geographic Information Systems, Model and Visualization Tools*. Rutgers University Center for Urban Policy Research and ESRI Press. [<http://www.crit.com/>]
- Batty, M. and Kwang, S. K. (1992): *Form Follows Function: Reformulating Urban Population Density Functions*. *Urban Studies* 29(7), 1043-1070.
- Ewing, R., Pendall, R., Chen, D. (2002): *Measuring Sprawl and Its Impact*. Washington, DC: Smart Growth America. [<http://www.smartgrowthamerica.org/sprawindex/>]
- Frenkel, A. and Ashkenazi, M. (2005): *Measuring Urban Sprawl; How Can We Deal With It?* [http://www.feweb.vu.nl/ersa2005/final_papers/50.pdf]
- Galster, G., Hanson, R., Ratcliffe, M. R., Wolman, H., Coleman, S., Freihage, J. (2001): *Wrestling Sprawl to the Ground: Defining and Measuring an Elusive Concept*. *Housing Policy Debate* 12(4), 681-717.
- Hasse, J. and Lathrop, R. G. (2003): *A Housing_Unit_Level Approach to Characterizing Residential Sprawl*. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 69(9), 1021-1030.
- Mesev, T. V., Longley, P. A., Batty, M., Xie, Y. (1995): *Morphology from Imagery: Detecting and Measuring the Density of Urban Land Use*. *Environment and Planning A* 27(5), 759-780.
- Niemi, R. G., Grofman, B., Carlucci, C., Hofeller, T. (1990): *Measuring Compactness and the Role of a Compactness Standard in a Test for Partisan and Racial Gerrymandering*. *Journal of Politics* 52, 1155-1181.
- SCATTER Project (2002-2004): *Sprawling Cities and Transport: from Evaluation to Recommendations*. The European Commission. EESD (Energy, Environment and Sustainable Development) 5th Framework Programme.
[<http://www.casa.ucl.ac.uk/scatter/>]
- Siegel, J. S. (1996): *Geographic Compactness vs. Race/Ethnic Compactness and Other Criteria in the Delineation of Legislative Districts*. *Population Research and Policy Review* 15, 147-164.
- Thinh, N. X., Arlt, G., Heber, B., Hennemersdorf, J., Lehmann, I. (2001): *Pin-pointing Sustainable Urban Land-Use Structures with the Aid of GIS and Cluster Analysis*. Institute for Ecological and Regional Development, Dresden. In: L. M. Hilty & P. W. Gilgen (Eds.), *Sustainability in the Information Society, 15-th International Symposium Informatics for Environmental Protection (Zurich)*, metropolis Verlag Marburg, 559-567.
[<http://www.ioer.de/PublPDF/thinh01.pdf>]
- Torrens, P. M. and Alberti, M. (2000): *Measuring Sprawl*. Unpublished Paper No.27. Center for Advanced Spatial Analysis. University College, London.
[http://www.casa.ucl.ac.uk/working_papers.htm]
- Yeh, A. G. and Li, X. (2001): *Measurement and Monitoring of Urban Sprawl in a Rapidly Growing Region Using Entropy*. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 67(1), 83-90