

2.5 Conclusion

Toutes les investigations ont été réalisées en respectant les consignes méthodologiques définies dans le protocole d'étude élaboré au début du contrat et précisées lors de la réunion de juin 2002. Toutefois, comme nous l'avons souligné, chacune des équipes participant au projet a eu l'occasion de traiter des aspects particuliers en fonction des données disponibles. Ceci a donné l'occasion d'enrichir les expériences méthodologiques et d'étudier des thématiques plus spécifiques. Ainsi, pour les analyses de Bruxelles il a été possible d'approfondir l'étude des relations potentielles entre les facteurs socio-économiques et la morphologie urbaine. De même, dans le cas de Bâle, les changements dans l'organisation spatiale de l'agglomération au cours du 20^e siècle ont pu être retracés grâce à une séquence temporelle de données cartographiques.

L'utilisation d'une méthodologie de mesure commune permet de comparer les résultats obtenus par les différentes équipes. Toutefois une certaine prudence est nécessaire, car les données ne montrent pas toutes les mêmes caractéristiques. L'objectif de la conclusion n'est pas de retracer ce qui a été largement présenté dans les chapitres consacrés aux agglomérations, mais de résumer certains aspects communs qui sont ressortis des analyses¹.

Aspects méthodologiques

☞ L'influence des bases de données sur les résultats

Comme nous l'avons indiqué, les représentations cartographiques disponibles pour les différentes agglomérations se distinguent par leur qualité et par les paramètres utilisés lors de la transformation des données vectorielles en données rasterisées. Un déficit de détails, tel que nous l'avons observé pour la représentation du centre de Stuttgart où les cours intérieures dans les îlots ne figurent pas sur la représentation cartographique, est susceptible de rendre le tissu plus homogène. Ainsi il est possible de mesurer une dimension fractale plus élevée que celle de la situation réelle ; un tel manque d'information ne peut être compensé. En revanche le passage d'une résolution fine à une résolution plus grossière n'influence pas nécessairement le comportement fractal si on se limite à une échelle plus agrégée qui ne prend pas en compte les détails négligés. Dans ce contexte les analyses comparatives réalisées par *D. Badariotti* pour Sarrebruck confirment cette hypothèse : si on fait varier progressivement la résolution, les valeurs des dimensions fractales ne changent pas de façon importante tant qu'on n'affecte pas la disposition ou la forme des bâtiments. Or nous avons évité des transformations de données qui simplifient le tissu urbain d'une telle manière. C'était d'ailleurs la raison pour laquelle nous avons renoncé aux analyses de Nantes ou de Bayonne-Anglet-Biarritz. Cette observation encourage à la comparaison des résultats obtenus pour les différentes agglomérations en tenant compte de la qualité des différentes bases cartographiques.

☞ la taille des fenêtres

La question de la taille minimale des fenêtres a déjà été considérée lors de la réunion de travail de juin. A *Strasbourg* et à *Besançon* cette question a été approfondie par des tests

¹ Nous n'avons disposé des résultats pour Milan que très tardivement, ils n'ont donc pas été pris en compte dans la conclusion, ce qui ne retranche rien à leur intérêt.

supplémentaires. Ils ont montré que les fenêtres de taille trop restreintes sont à éviter, car la fourchette des valeurs ε devient trop restreinte, comme ceci a déjà été évoqué.

☞ des fenêtres de taille fixe ou de taille adaptée ?

Notamment l'équipe de *Louvain-la-Neuve* a couvert l'agglomération bruxelloise par une grille et les dimensions fractales ont été déterminées pour chacune des mailles de cette grille. Les autres équipes ont choisi la position et la taille des fenêtres en fonction de la taille et la morphologie des quartiers. Dans ce cas une analyse radiale a souvent été utilisée au préalable pour identifier les ruptures dans l'organisation spatiale du tissu urbain. Les zones ainsi choisies sont censées montrer un comportement fractal bien défini.

Les études comparatives effectuées par *L. Quiévreux* pour Angers ont montré que les deux méthodes sont compatibles : par exemple l'utilisation de l'une ou de l'autre méthode ne modifie pas les relations observées entre certaines valeurs des dimensions fractales et certains types de tissus urbains. Ceci justifie de comparer les résultats obtenus pour Bruxelles à partir d'une grille fixe avec les résultats des autres équipes. Notons toutefois que nous avons pu observer (par exemple pour Montbéliard ou Lyon) que les courbes d'analyses observées pour des zones qui sont constituées de différents types de textures urbaines tendent à être moins régulières.

☞ les différents types d'analyses

Toutes les équipes ont utilisé l'analyse de corrélation et l'analyse de dilatation pour étudier la répartition de la surface bâtie, et l'analyse de corrélation ainsi que l'analyse gaussienne pour les investigations des bordures urbaines. Les analyses détaillées réalisées pour *Bruxelles* ainsi que des analyses réalisées à *Besançon* ont montré qu'il n'existe pas de relation forte entre les valeurs D_{dil} et D_{cor} pour les surfaces et D_{gauss} et D_{cor} pour les bordures (cf. fig...)

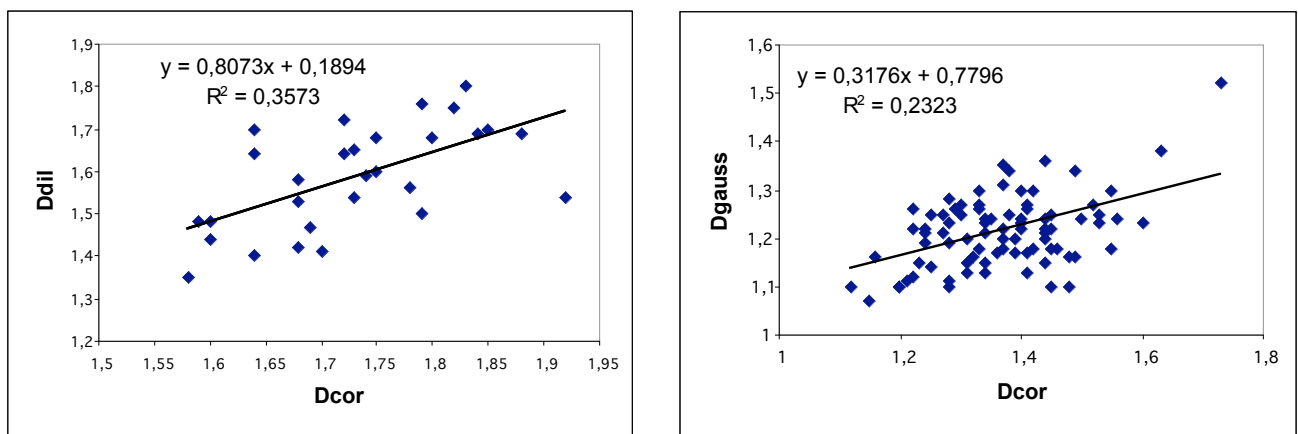


Fig. Analyses de relations potentielles entre les dimensions fractales obtenues pour Cergy-Pontoise, Lyon, Lille et Montbéliard. Les relations s'avèrent faibles

Les relations faibles confirment que les informations transcrites par les différentes dimensions ne sont pas les mêmes, il semble ainsi utile d'approfondir les études comparatives entre les méthodes.

Deux relations empiriques très générales semblent être confirmées par toutes les analyses :

$$D_{cor} \geq D_{dil} \qquad D_{cor} \geq D_{gauss}$$

Plusieurs équipes ont confirmé l'intérêt de l'analyse radiale pour identifier les ruptures dans les tissus urbains.

Uniquement l'équipe travaillant sur l'espace bâlois s'est servie de l'analyse des masses qui s'est avéré prometteuse pour étudier la disposition des différents habitats dans une agglomération.

☞ les ruptures dans les courbes

Beaucoup d'équipes ont confirmé que les courbes du comportement scalant s'avèrent utiles pour identifier les ruptures dans l'organisation spatiale des tissus urbains comme nous l'avons déjà évoqué dans le chapitre 1.2.5. Plusieurs fourchettes de distances apparaissent :

- les distances à l'échelle des bâtiments : la courbe est irrégulière et son allure varie selon que les grands bâtiments (usines ...) ou les petits bâtiments (maisons individuelles) dominent. Cette fourchette est peu intéressante ;
- les distances qui correspondent à la taille des îlots urbains et des quartiers ;
- les distances à l'échelle intra-urbaine, qui décrivent la disposition des quartiers les uns par rapport aux autres ;
- pour des analyses qui se réfèrent à des fenêtres plus étendues, les distances plus élevées décrivent la disposition des habitats. Celle-ci peut également montrer un comportement fractal spécifique.

A l'intérieur des fourchettes, la *qualité d'ajustement* de la loi fractale à la courbe empirique est *habituellement très bonne*. Parfois les ruptures sont très nettes, dans d'autres cas elles sont pratiquement absentes. L'analyse diachronique de Bâle montre que les ruptures s'atténuent au cours de l'urbanisation, ce que nous avons déjà pu constater lors d'études antérieures (Frankhauser (2000)).

Les résultats des analyses morphologiques des tissus urbains

Un des principaux objectifs de ce projet était de vérifier si les descripteurs fractals permettent de distinguer différents types de tissus urbains et dans quelle mesure le contexte de l'urbanisation influence la morphologie des tissus urbains.

l'analyse des surfaces bâties

Toutes les analyses ont confirmé que les dimensions fractales synthétisent en effet des propriétés morphologiques des tissus urbains et permettent ainsi d'explorer les liens entre la forme et leur émergence. L'équipe de Louvain-la-Neuve a recouru à des méthodes statistiques afin d'étudier ces relations. Il a ainsi été possible d'explorer le lien potentiel entre les valeurs des dimensions fractales et des indicateurs socio-économiques et historiques tels les différents types de quartiers, leur date de construction, leur éloignement au centre ... *Il s'est avéré que les caractéristiques urbanistiques des quartiers ainsi que la période de leur construction influencent fortement leur dimension de corrélation, notamment pour la surface.*

Pour *Angers* la relation entre les valeurs des dimensions fractales et la typologie des quartiers a également été confirmée. Les autres équipes se sont plutôt appuyées sur des études historiques et urbanistiques pour interpréter les résultats. Nous présentons ici un tableau synthétique pour les analyses réalisées à *Besançon*.

Dans ce tableau nous avons introduit *ad hoc* différentes catégories de quartiers selon des critères plutôt urbanistiques et historiques. Cette démarche paraît justifiable, car les mêmes critères ont servi à choisir ces quartiers. Nous avons distingué dans un premier temps :

- les centres villes qui correspondent dans la plupart des cas à des noyaux urbains historiques ;
- les zones pavillonnaires ;
- certaines zones périphériques des centres historiques qui sont issues d'une situation historique particulière (péri-centre lâches) ;
- les cités ouvrières ;
- les zones mixtes transitoires qui apparaissent souvent dans des systèmes polycentriques et qui s'intercalent entre les noyaux plus denses ;
- les « cités nouvelles » qui montrent un tissu contrasté ;
- d'autres cités d'habitat sans concept d'urbanisme particulier (collectif non spécifique) ;
- des tissus mixtes comprenant des noyaux anciens et des zones périphériques plus lâches (une segmentation n'a pas été possible vu la taille restreinte de ces agglomérations (centre et péri-centre) ;
- les zones industrielles et les zones industrielles et commerciales périphériques.

Certaines catégories étaient peu représentées dans l'échantillon : elles ont été affectées à des classes qui, par leur aspect morphologique, paraissaient comparables. Ainsi les cités ouvrières ont été incluses dans les zones pavillonnaires, ce qui correspond dans les exemples étudiés à la réalité. De même les zones désignées comme « mixte transitoire » ont été regroupées avec la catégorie « centre et péri-centre ». Nous n'avons retenu dans cette liste que les quartiers pour lesquelles la variation de la dimension fractale n'était pas trop grande dans la fourchette étudiée des distances ε : il a été alors possible de ne retenir qu'une, ou parfois deux, valeurs de dimension. Le tableau indique pour tous les quartiers les dimensions de corrélation pour la surface bâtie.

Tableau - Classement des échantillons selon leurs caractéristiques urbanistiques

D_{cor} (surface bâtie)	Centre	pavillonnaire	péri-centre lâche	cité ouvrière	mixte transitoire	Cité nouvelle petites dist.	cité nouvelle grandes distances	collectif non spécif.	centre + péri-cent. Petites distances	centre + péri-cent. grandes distances	industrie
STUTTGART											
Centre	1,95										
Doggenburg			1,78								
Gablenberg		1,92		1,92							
Fasanenhof								1,92			
Freiberg						1,63					
Botnang		1,85									
Cannstatt									1,8		
Fellbach									1,81		
Ludwigsburg									1,73		
Esslingen									1,61		
Benningen		1,75									
Bissingen-centre		1,87									
Buch		1,87									
MONT-BELIARD											
centre	1,8										
Mandeure		1,81		1,81							
Valentigney									1,87		
Valentigney-Buis						1,66					
Audincourt									1,75		
Etupes									1,8		
Bethoncourt						1,7					
Fougère								1,67			
Chiffogne					1,8				1,8		
Petite Hollande								1,77			
LILLE											
hypercentre	1,89										
Villeneuve-d'Asq						1,74					
Wasouehal					1,74				1,74		
Mons-en-Baroeul									1,87		
Haubourdin			1,75								
Ronchin											1,79
Linselles									1,64		

D_{cor} (surface bâtie)	Centre	pavillonnaire	péri-centre lâche	cité ouvrière	mixte transitoire	Cité nouvelle petites dist.	cité nouvelle grandes distances	collectif non spécif.	centre + péri-cent. Petites distances	centre + péri-cent. grandes distances	industrie
LYON											
centre											
Venissieux									1,79		1,47
Venissieux dense											
St Priest									1,86	1,74	1,83
Meyzieu		1,83									
Meyzieu ind											
Chassieux						1,77					
Lyon Ouest		1,82									
Lyon Ouest		1,99									
Lyon Ouest		1,92									
RUHR											
Hamborn	1,9										
Essen	1,87										
Bottrop	1,86										
Herne	1,8										
Dortmund	1,88										
Lünen centre	1,84										
CERGY											
Cergy-Préfecture						1,68	1,5				
St-Christophe						1,6					
St-Christophe						1,7					
Jouy-le-Moutier						1,73					

Valeurs moyennes

	centre	pavillonnaire	péri-centre lâche	cité ouvrière	mixte transitoire	cité nouvelle petites dist	cité nouvelle grandes dist	collectif non spéc	centre+ péri-centre	centre+ péri-centre	industrie
moyenne	1,866	1,863	1,765	*	*	1,69	*	1,7867	1,7746	*	*

Pour les *centres villes* on observe en général des dimensions assez élevées. Les valeurs observées s'approchent de celles des centres de *Strasbourg* et *Kehl* ainsi que de *Bruxelles* dont les tissus sont assez homogènes. Ces valeurs se situent dans une fourchette qui est très proche de celle des *quartiers pavillonnaires*, ce qu'on observe aussi à *Strasbourg-Kehl* (*Offiziersinsel, Meinau*) : les valeurs correspondent aussi à celles mesurées à Bruxelles pour les « *cités-jardins* ». Ceci montre que les quartiers pavillonnaires tendent, comme les centrevilles, vers une *répartition homogène* de la surface bâtie, ce qui est en concordance avec la logique répétitive des plans de certains lotissements. ***Ces résultats mettent en évidence que l'information transcrite par les dimensions fractales est complètement différente de celle d'une mesure de densité.***

Dans certains cas, les lotissements situés dans la périphérie des agglomérations sont moins homogènes, comme par exemple à *Marlen* et à *Reichstett* en région strasbourgeoise ou à *Benningen*, près de Stuttgart.

Nous avons déjà constaté que l'objectif de certains concepts d'urbanisme est une forte articulation entre des zones vertes publiques et des zones bâties. On trouve ce type d'organisation spatiale aussi bien pour des quartiers de grands ensembles que pour certains quartiers à maisons individuelles. Dans le tableau nous avons regroupé ces quartiers sous la désignation « *cités nouvelles* ». L'organisation spatiale très contrastée de ces quartiers s'exprime par des dimensions relativement basses (environ 1,63 à 1,77). Pour Strasbourg on observe pour certaines « cités nouvelles » (par exemple à *Hautepierre*) des dimensions encore plus basses (1,54) que pour d'autres tissus de ce genre (*Valentigney-les-Buis* (1,66), *Bethoncourt* (1,74) ou *Stuttgart-Freiberg* (1,63)). A *Angers* ces quartiers se situent dans la même fourchette (1,65 pour les grands ensembles et 1,7 pour le quartier résidentiel du *Lac de Maine*). Rappelons aussi le cas de *Chassieux* (région lyonnaise) avec une dimension de 1,77. En revanche il existe aussi de quartiers de grands ensembles à texture plus homogène comme c'est le cas pour certaines parties de la *Meinau* (Strasbourg) ou pour le *Fasanenhof* (Stuttgart).

Des dimensions autour de 1,77 sont trouvées pour les *quartiers mixtes* qui sont issus d'une urbanisation plutôt progressive, sans plan précis, ce qui est par exemple observé à *Bruxelles*.

Les valeurs les plus basses sont observées pour les zones industrielles et commerciales.

Ces exemples montrent que l'on trouve des situations semblables dans différents pays européens auxquelles correspondent des dimensions fractales comparables. ***Le contexte de l'urbanisation semble le plus conditionner les valeurs des dimensions.*** Ceci est directement confirmé par les comparaisons réalisées pour l'agglomération de *Sarrebruck-Forbach* et *Strasbourg-Kehl*. Toutefois il est évident que certains types de quartiers sont plus présents dans certains pays que dans d'autres (par exemple on trouve plus de grands ensembles en France que dans la partie Ouest de l'Allemagne).

L'analyse des bordures

Afin d'étudier l'impact réel de la volonté politique de maîtriser l'étalement urbain, l'analyse des bordures urbaines s'avère particulièrement intéressante. En considérant différents quartiers situés en périphérie, nous avons pu constater que la volonté des aménageurs d'arrondir la bordure urbaine s'exprime à cette échelle par une dimension faible de la bordure. En revanche, des tissus qui se sont développés progressivement se caractérisent souvent par une dendricité plus forte. Ceci peut même apparaître à l'échelle des villes : la bordure de *Stuttgart* n'est pas trop dendritique avec une dimension de 1,31 ; en revanche, pour *Esslingen*, la valeur de 1,42 montre que la bordure est plus tentaculaire et pour *Fellbach* nous avons même mesuré 1,45. Sous cet aspect, la partie Nord de *Montbéliard* se situe dans une fourchette intermédiaire : la dimension varie entre 1,31 à 1,42².

² Les valeurs obtenues pour les bordures de Strasbourg-Kehl sont assez élevées, mais elles ont été déterminées avec la version non mise à jour du logiciel.

Afin de mieux mettre en évidence ces aspects morphologiques, nous avons introduit deux descripteurs fractals, un *indice de dendricité* δ qui a également été utilisé pour Sarrebruck, et un *indice de fragmentation* ϕ :

$$\delta = \frac{D_{surf}}{D_{bord}}$$

$$\phi = \frac{D_{tot}}{D_{bord}}$$

On peut donner une interprétation directe de ces indices à partir des lois fractales de bases

$$N_{surf} = \varepsilon^{D_{surf}}$$

$$N_{bord} = \varepsilon^{D_{bord}}$$

En substituant la distance ε dans la première relation on obtient

$$N_{surf} = N_{bord} \frac{D_{surf}}{D_{bord}}$$

L'exposant exprime donc la relation entre la masse bâtie et la bordure. Si on applique cet indice à nos modèles fractals de référence, on obtient pour un *tapis de Sierpinski* et une *poussière de Fournier* $\delta = 1$, tandis que pour un objet géométrique euclidien on obtiendrait $\delta = 2$. Le téragone se situe entre ces deux valeurs.

L'indice ϕ établit la relation entre *l'allongement de la bordure totale de tous les agrégats* et celle du *bord de l'agrégat principal*. Cette information correspond aux réflexions évoquées dans le **chapitre 1.2.1** où nous avons mis en évidence que D_{tot} indique si la structure observée est constituée d'un grand nombre d'agrégats isolés (« îles ») contenant des lacunes tandis que D_{bord} indique la dendricité des bordures.

Nous avons calculé ces indices pour un certain nombre de quartiers situés en bordure des villes et pour des habitats isolés. Considérons quelques exemples dans la région de *Stuttgart*. On observe que pour des villes très tentaculaires comme *Esslingen* ou *Fellbach*, les valeurs de δ sont basses, la morphologie s'approche de celle d'un tapis de Sierpinski. En revanche pour des habitats où les aménageurs ont fait preuve d'une volonté de limiter l'étalement, les valeurs sont plus élevées comme on l'observe pour les communes de *Botnang* ou de *Benningen* dans la région de *Stuttgart*.

Tableau des descripteurs δ et ϕ

		D_{surf}	D_{tot}	D_{bord}	$D_{bord(2)}$	$D_{bord(3)}$	δ	ϕ
STUTTGART	global	1,8	*	1,27				
	Botnang	1,85	1,81	1,26	1,19		1,47	1,44
	Fellbach	1,81	1,7	1,45			1,25	1,17
	Ludwigsburg	1,73	1,75	1,3			1,33	1,35
	Esslingen	1,61	1,85	1,42			1,13	1,30
	Benningen	1,75	1,75	1,2			1,46	1,46
	Bissingen	1,86	1,8	1,26			1,47	1,42
	Buch	1,87	*	1,45			1,28	
MONTBELIARD	Audincourt global	1,75	1,75	1,23			1,42	1,43
	Etupes	1,8	1,78	1,3				1,37
LYON	Venisseux	1,79		1,52	1,35	1,45	1,18	
	ST Priest	1,74	1,87	1,51	1,45		1,15	1,24
	Chassieux	1,77		1,34			1,32	
LILLE	Villeneuve d'Asq	1,74		1,38	1,42		1,26	
	Wasouehal	1,74	1,77	1,44			1,21	1,23
	Mons-en Bareuil 1	1,87	1,87	1,38			1,36	1,36
	Mons-en Bareuil 2	1,87	1,87	1,55			1,21	1,21
	Mons-en Bareuil 3	1,87	1,87	1,13			1,66	1,65
	Ronchin	1,79	1,83	1,33			1,35	1,38
	Linselles	1,64	1,37	1,27			1,30	1,08
CERGY	zone 1	1,6	1,78	1,29	1,66		1,24	1,38
	zone 2	1,6		1,29			1,24	
	zone 3	1,73		1,28			1,35	

Pour des agrégats dont la bordure est moins dendritique comme c'est le cas pour *Botnang*, *Benningen* ou *Bissingen*, les deux indices ont souvent des valeurs proches. Ceci indique que ces tissus sont assez fragmentés à l'intérieur avec des lacunes de tailles différentes. Pour les villes tentaculaires, en revanche, les dimensions sont souvent plus basses, ce qui confirme que ces tissus s'approchent de la logique des tapis de Sierpinski. ***Cette conclusion est extrêmement intéressante du point de vue de la thématique même de cette étude : compacts ou tentaculaires, tout se passe comme si des lacunes de tailles différentes devaient toujours être associées au tissu urbain, que ces lacunes soient intégrées dans l'ensemble bâti ou qu'elles soient disposées à sa périphérie.***

Pour les autres exemples, un raisonnement équivalent est possible. Citons encore le cas particulier de *Bâle* ou l'analyse diachronique de l'évolution des dimensions de bordure a permis de montrer que l'agglomération devient dans son ensemble plus homogène au cours de l'urbanisation. Cette observation est en concordance avec des résultats antérieurs obtenus pour l'évolution de Munich.

Le projet de recherche a donc confirmé l'intérêt d'utiliser des descripteurs fractals pour caractériser la forme des tissus urbains et d'étudier l'influence de la politique d'aménagement sur la morphogenèse urbaine. Il a aussi été possible de mieux mettre en évidence la signification des dimensions fractales. Toutefois il est évident que des investigations supplémentaires seront nécessaires afin de clarifier certaines démarches par exemple pour l'extraction des bordures urbaines. Ceci permettra de rendre opérationnel l'utilisation de certains descripteurs morphologiques basés sur les mesures fractales comme par exemple l'indice de dendricité ou l'indice de fragmentation. Certains aspects comme les critères applicables au choix des fenêtres d'analyses ou l'influence de la base cartographique sur les résultats sont également à approfondir. En outre la classification des quartiers devrait davantage s'appuyer sur des méthodes statistiques. Il est aussi prévu de tester des descripteurs morphologiques complémentaires issus de la théorie fractale comme la lacunarité ou des mesures multifractales.