

Modélisation spatio-morphologique de l'urbanisation du littoral languedocien

Christine Voiron-Canicio
Université de Nice – Sophia Antipolis / CNRS
UMR ESPACE

Parmi les types de modèles spatiaux existants, il en est un qui accorde aux règles de voisinage un rôle fondamental dans l'explication des phénomènes spatiaux. La démarche modélisatrice présentée se rattache à ce type. Elle a pour finalité de modéliser la diffusion du bâti dans le sous-ensemble littoral languedocien et de révéler les axes majeurs de l'urbanisation, leur direction et leur forme. Dans cette modélisation, la morphologie revêt une importance capitale. En effet, le processus de diffusion est déterminé à la fois par la proximité et par la morphologie des composantes bâties, situées dans un espace dont la configuration conditionne également le processus. Par ailleurs, les simulations sont réalisées par traitements d'images au moyen d'opérateurs de morphologie mathématique. Ces caractéristiques expliquent le qualificatif *spatio-morphologique* donné à cette modélisation. L'utilité du modèle est double, tester la validité, à une grande échelle, de certaines règles de diffusion spatiale du bâti et proposer un outil de géoprospective destiné à projeter, dans un sous-ensemble régional donné, les grandes lignes de l'urbanisation future.

Le modèle est hypothético-déductif. L'hypothèse qui sous-tend la modélisation est que le processus de propagation du bâti repose pour l'essentiel sur des règles élémentaires de distance et de voisinage aux taches bâties initiales qui rendent compte de la majeure partie du processus de diffusion et transcendent les prescriptions et les zonages des documents d'urbanisme. La démarche modélisatrice se décompose en trois étapes. La première est destinée à comprendre les modalités de la diffusion du bâti dans la zone littorale languedocienne, afin de déterminer les règles de diffusion qui seront introduites dans le modèle. La deuxième étape est celle de la modélisation spatiale proprement dite, qui s'effectue par analyse d'image et qui a pour objet de simuler l'extension progressive du bâti et de dégager les lignes directrices de l'urbanisation spontanée. La validation du modèle repose sur plusieurs formes de comparaison de l'urbanisation projetée avec l'urbanisation observée. Enfin, dans la troisième étape, celle de la géoprospective, la procédure de modélisation validée est appliquée à la recherche des grandes lignes de l'extension future du bâti, à l'horizon 2010.

Le littoral languedocien, entre Frontignan et le Grau-du-Roi, qui s'étend sur une dizaine de kilomètres à l'intérieur des terres, sert de cadre à cette démonstration. Cet espace côtier (Fig.1) a été retenu car il présente le paradoxe d'avoir connu, depuis 1960, un intense processus d'artificialisation et conjointement, la mise en place d'importantes protections foncières dans les espaces naturels situés autour des étangs et le long de certaines portions de rivage. La phase d'urbanisation qui s'est produite au cours de la période 1960-1990 a été liée, tout d'abord, à l'aménagement touristique du littoral, puis, à l'extension de l'aire urbaine montpelliéraine. Dans *l'Atlas des espaces naturels du littoral* publié en 1995, le Conservatoire de l'espace littoral et des rivages lacustres a cartographié l'état de l'artificialisation de la bande littorale à 3 dates, 1960, 1977 et 1990. C'est à partir de ces cartes, auxquelles ont été ajoutés les espaces naturels protégés et les voies de communication, que les modalités de croissance du bâti ont été analysées afin de déterminer les règles de diffusion du bâti sur lesquelles repose le modèle.

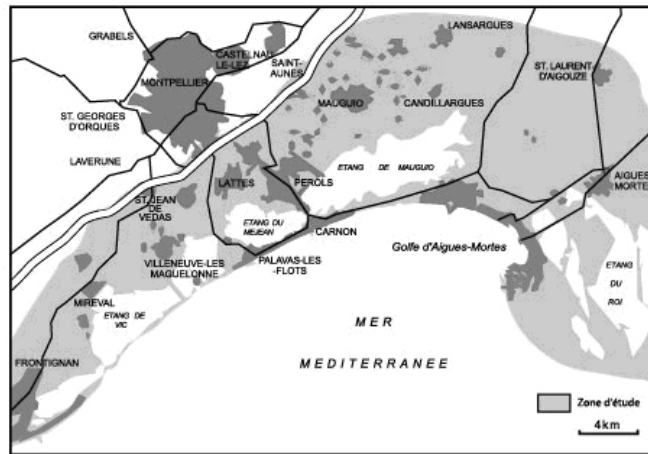


Fig. 1 : Le littoral languedocien et le champ d'étude en gris clair

1. La modélisation spatiale du bâti par analyse d'image

1.1. La modélisation spatiale à une grande échelle

La modélisation spatiale de l'extension du bâti consiste d'une part, à déterminer le rythme de croissance des surfaces bâties dans le champ étudié, au cours d'une période donnée, et d'autre part, à localiser les zones qui seront progressivement touchées par la diffusion de l'habitat. Le taux de croissance du bâti peut être déterminé de plusieurs manières. La plus fréquente, car la plus simple, prend pour base le taux de croissance moyen observé lors des années antérieures et l'applique à l'ensemble du champ d'étude. Plus rare est la méthode qui consiste à anticiper l'évolution spatiale de l'habitat en s'appuyant sur des règles d'interaction spatiale pour estimer l'intensité de l'étalement urbain dans un certain voisinage autour des zones urbaines. Dans ce cas, le taux de croissance du bâti n'est plus uniforme, comme précédemment, mais varie en fonction de la situation de chaque lieu par rapport aux foyers moteurs de l'étalement urbain. Si la prospective est réalisée à grande échelle, comme dans le cas d'un SCOT ou d'un PLU, par exemple, les futurs espaces bâtis doivent être localisés avec précision. La spatialisation de ces espaces nécessite la prise en compte de variables supplémentaires jouant un rôle déterminant à l'échelle micro, telles que les conditions naturelles - dénivelé et exposition - qui, selon les situations, peuvent freiner ou favoriser l'extension du bâti, et les contraintes réglementaires, au premier rang desquelles se trouvent les protections foncières et les zonages des plans de prévention des risques. Toutefois, ce type de modélisation spatiale à grande échelle reste encore peu employé. En effet, plus l'échelle spatiale est grande, plus la variabilité locale du phénomène modélisé est forte. Au niveau du pixel, des écarts importants peuvent exister entre les localisations bâties observées et les localisations estimées par le modèle. De nouvelles méthodes de modélisation, couplées aux données des SIG, doivent donc être développées pour permettre de simuler, à cette échelle, la diffusion d'un phénomène et de prévoir les orientations futures des territoires. La démarche proposée a été conçue dans cet esprit.

1.2. Les traitements d'image utilisés pour la modélisation spatiale.

La modélisation spatiale de l'urbanisation et la détection des lignes directrices de la diffusion du bâti ne sont réalisées que par traitements d'image. L'analyse d'image par la morphologie mathématique est une méthode particulièrement bien adaptée à la modélisation spatiale. Les transformations d'image comme la modélisation, procèdent selon une même démarche : simplifier pour révéler ce qui est fondamental et significatif (Voiron-Canicio,

1992). La simplification n'est donc pas appauvrissement mais enrichissement puisqu'elle doit permettre de dégager l'épure du phénomène étudié. Par ailleurs, la méthode de la morphologie mathématique repose entièrement sur les relations entre les pixels, dans un espace à deux dimensions comme à trois dimensions. Ce qui compte n'est pas tant la valeur d'un lieu ou d'un objet contenu dans l'image, que son poids relatif et la relation qu'il entretient avec les lieux voisins.

Les simulations de propagation du bâti s'effectuent par des traitements d'image utilisant des opérations de morphologie mathématique telles que les transformations de la *fermeture* et du *squelette*.

- La *fermeture* permet de réaliser le processus de diffusion par extension des noyaux existants avec coalescence des composantes les plus proches. Cette transformation s'effectue en deux temps. Tout d'abord, les composantes bâties sont dilatées de un pixel puis, l'image résultat est érodée d'une taille équivalente. Comme l'indique l'exemple de la figure 2, cette séquence a pour effet de réunir les surfaces les plus proches, de combler les concavités des contours et de rattacher les aires bâties les unes aux autres par comblement des vides interstitiels.

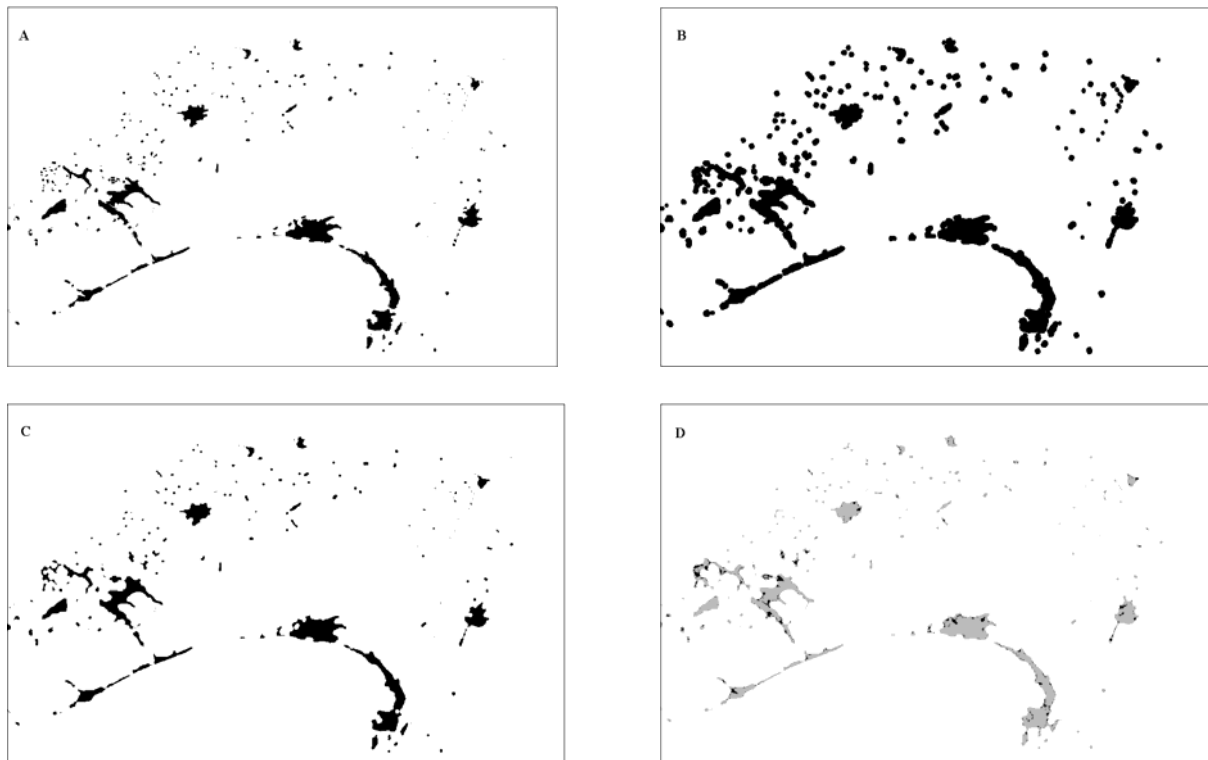


Fig. 2 : Décomposition du processus de diffusion par fermeture

A : image de départ, B : dilatation de taille 3, C : érosion de taille 3 et résultat de la fermeture, D : en noir nouveaux pixels bâtis résultant de la fermeture.

- La transformation morphologique du *squelette* est utilisée dans la détection des lignes directrices de l'urbanisation. Le squelette d'un objet représente son ossature réduite à un pixel. De façon imagée, le squelette est obtenu par la concaténation de tous les centres des boules maximales incluses dans l'objet. La forme du squelette, en particulier, le nombre de petites arêtes - les barbules - rattachées à la branche principale du squelette est le reflet des irrégularités du contour de l'objet (Fig. 3). La squelettisation de l'extension du bâti, simulée par les fermetures, produit des structures linéaires, mobiles et protéiformes. Le squelette, obtenu à un pas de simulation donné, renseigne alors sur les caractéristiques morphologiques de l'urbanisation.

L'allongement des arêtes des différents sous-ensembles du squelette permet d'appréhender l'orientation dominante de l'urbanisation simulée.

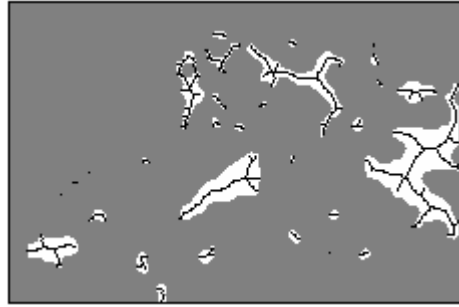
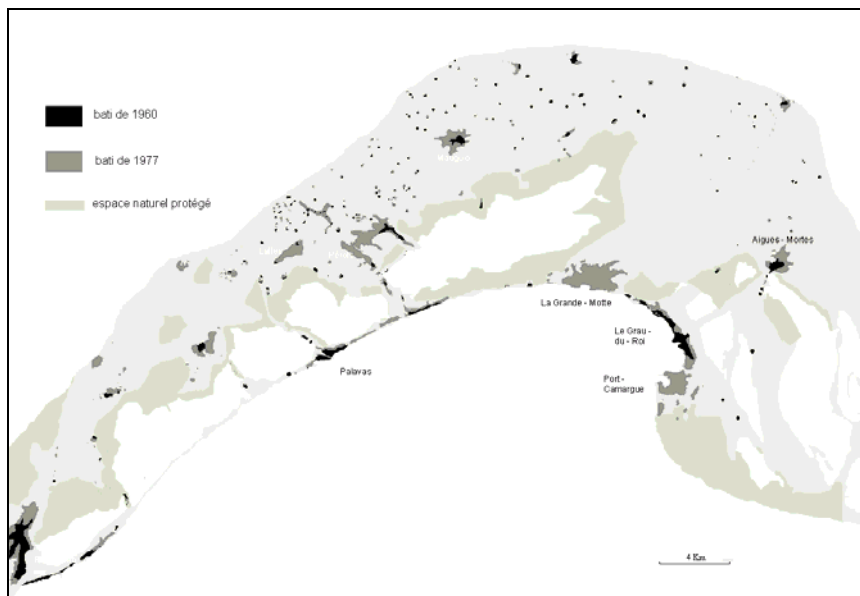


Fig. 3 : Squelette (en noir) des surfaces résultant d'une fermeture de taille 3 (en blanc)

2. Recherche des règles de diffusion du bâti

2.1 Les modalités de croissance du bâti, entre 1960 et 1990

L'espace littoral étudié est l'un des plus attractifs de la façade méditerranéenne. Les taux de croissance annuels de la population y ont été parmi les plus forts de France : 3,2 % par an entre 1962 et 1975 et 3,4% entre 1975 et 1990. L'évolution corrélative des surfaces bâties, depuis les années 60, a été examinée à partir de la cartographie de l'urbanisation figurant dans l'Atlas des espaces naturels du littoral (Fig. 4). Les cartes de 1960, 1977, 1990 qui sont produites au 1/100000^e ne permettent pas d'avoir un état très précis de l'urbanisation, toutefois, elles donnent une vue d'ensemble de l'urbanisation du littoral. Les surfaces urbanisées portées sur ces cartes ont augmenté au rythme soutenu de 8 % (période 60-77) et de 6% (période 77-90).



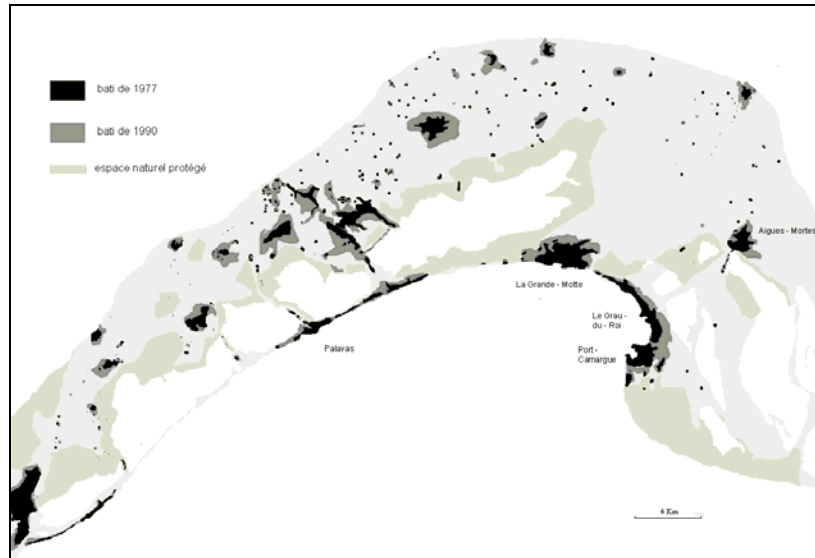


Fig. 4 : Diffusion du bâti dans l'espace littoral languedocien entre 1960 et 1990

La diffusion du bâti à l'échelle régionale présente des caractères particuliers qui apparaissent nettement sur le graphique de la figure 5 où les nouvelles surfaces bâties sont reportées selon la distance au trait de côte. Au cours de la première période, les surfaces bâties se localisent prioritairement le long du rivage. Avec la création des nouvelles stations touristiques du Grau-du-Roi, de la Grande-Motte, de Carnon ainsi que le développement de zones balnéaires plus anciennes, comme celle de Palavas-les-Flots, 44 % des surfaces ont été créées à moins de 2 km du rivage. Un ralentissement de la croissance sur le front de mer s'observe au cours de la période 1977-1990 (28 % des constructions). L'habitat se propage davantage dans l'intérieur, 56 % des nouvelles surfaces bâties se situent entre 4 et 8,5 km du trait de côte.

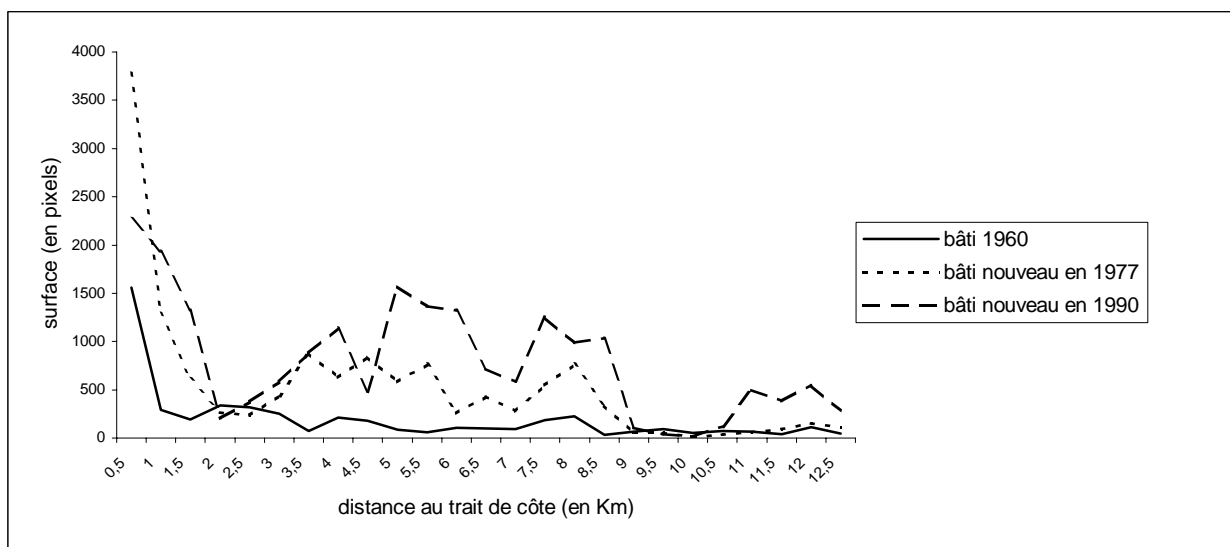


Fig. 5 : Répartition des surfaces bâties selon la distance au trait de côte

De manière générale, l'urbanisation progresse selon 3 processus distincts qui conjuguent leurs effets :

- l'extension des surfaces bâties à partir des points d'ancrage initiaux avec coalescence des zones bâties les plus proches,
- l'essaimage du bâti à proximité des noyaux initiaux,
- l'apparition de bâti dans des zones non encore urbanisées, soit sous forme d'habitat diffus, soit sous forme de lotissements ou d'opérations d'aménagement intégré.

Comme l'indique le tableau 1, ces trois modalités sont très inégalement représentées dans notre champ d'étude. L'extension en tâche d'huile à partir du bâti existant est le mode de diffusion majeur. Sa part s'est accrue de façon notable au cours de la période 1977-1990 jusqu'à atteindre 98% des nouvelles surfaces. Dans le même temps, la création d'habitat nouveau dans les zones non urbanisées qui constituait plus du tiers des nouvelles constructions pendant la première période, marquée par les grandes opérations d'aménagement touristique du littoral et l'apparition de lotissements aux portes de Montpellier, ne représente plus que 1,5% des surfaces créées. La part de l'essaimage autour des aires bâties existantes est négligeable aux deux périodes considérées. Cette urbanisation en deux temps s'est, tout d'abord, traduite par l'apparition de nouvelles composantes bâties puis, par une diminution de leur nombre au fur et à mesure que les aires bâties se rejoignaient. Les dernières décennies ont donc été marquées par une très nette tendance à la diffusion du bâti autour des noyaux existants. Cette tendance se trouve aujourd'hui renforcée par les derniers textes de loi parus en matière d'urbanisme - loi SRU et loi Urbanisme et habitat - qui tendent à limiter le saupoudrage du bâti dans les zones non urbanisées et incitent à la densification des espaces déjà urbanisés ou de leurs alentours, pour contenir l'étalement urbain.

Modalités	période 1960 - 1977	période 1977 - 1990
Extension en tâche d'huile à partir des noyaux bâtis existants	64%	98%
Essaimage à proximité des zones bâties existantes	2%	0,5%
Création d'habitat dans des zones non urbanisées	34%	1,5%
Total des nouvelles surfaces bâties	100%	100%

Tab. 1 : Part des différentes modalités dans la diffusion du bâti sur le littoral languedocien

2.2. Quelle relation spatiale existe-t-il entre le bâti et les voies de communication locales ?

Il est admis que les voies de communication guident l'extension de l'habitat, la précèdent ou l'accompagnent, avec des modalités variables selon les contextes spatiaux et les périodes. Ce qui est recherché ici est la forme de la relation de voisinage entre les voies de communication et le bâti. L'analyse consiste à croiser l'image du tracé des voies de communication locales (routes nationales et routes départementales) à l'intérieur du sous-ensemble littoral languedocien, avec la localisation du bâti observé en 1990. Le bâti est appréhendé sous deux configurations différentes, d'une part ses axes de centralité exprimés par le squelette, d'autre part, son extension maximale donnée par les contours externes des taches bâties.

Le traitement vise à déterminer la proportion des pixels du squelette ou du contour externe située à proximité des principales voies de communication. Pour ce faire, l'ensemble

du réseau routier est progressivement dilaté de manière à constituer des bandes centrées sur chaque voie et de largeur croissante. Chaque bande est ensuite intersectée avec le squelette du bâti. Le résultat de l'intersection permet de calculer le pourcentage des pixels de la configuration du bâti étudiée tombant dans le voisinage des axes de communication. Cette mesure a été réalisée pour les 13 premières zones de voisinage. La largeur de la première zone est de 110 m et celle de la treizième de 999 m.

En ce qui concerne la relation entre les routes locales et les axes de centralité du bâti, deux cas de figure sont possibles. Soit, les voie de communication et le squelette coïncident ou sont très proches, signe que le lien de voisinage est fort et que la disposition de l'habitat est centrée sur les axes majeurs de circulation. Soit, le décalage des deux tracés est important, signe que l'habitat s'est installé préférentiellement à l'écart de ces voies. Dans le cas de l'espace étudié, les axes de centralité du bâti ne coïncident pas avec le tracé des voies de communication. Ils sont spatialement dissociés. Ainsi, 12 % seulement des squelettes, du bâti observé en 1990 se situent dans une zone de 111 m autour d'une route d'importance locale et 20% dans une zone de 185 m.

Le même traitement a été appliqué aux limites des taches du bâti observé et estimé. Le contour des taches bâties, réduit à un pixel, est extrait et intersecté avec les différentes zones de voisinage des routes. Les résultats portés sur la figure 6 révèlent une nette tendance à la dissociation spatiale. 27,4% des contours du bâti observé se situent à moins de 200 m d'une route. Toutefois, la proximité des deux tracés s'observe dans certains secteurs comme le littoral, où les pixels touchés sont continus et orientés parallèlement au rivage et la partie centrale du champ d'étude, le long des axes Nord-Sud Montpellier-Carnon via Pérols et, dans une moindre mesure, Montpellier-Palavas, Montpellier-Villeneuve-lès-Maguelonne.

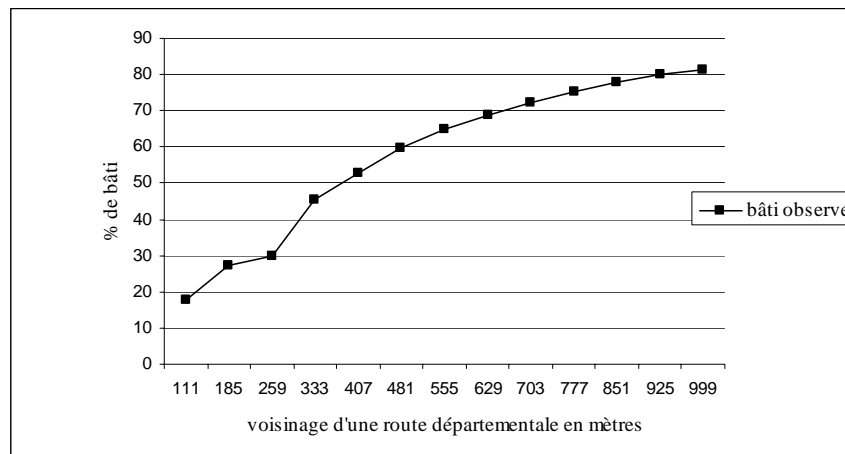


Fig. 6 : Pourcentages des limites du bâti de 1990 situés dans le voisinage des routes

2.3. Les règles de diffusion introduites dans le modèle

Des analyses précédentes il ressort que le processus de diffusion spatiale de l'urbanisation s'effectue principalement autour des espaces déjà bâtis. Par ailleurs, l'étalement du bâti n'est ni continu ni isotrope. Ces constats ont donc conduit à retenir, pour le modèle, le mode de diffusion par extension des noyaux existants, avec coalescence des composantes les plus proches. La diffusion privilégie les directions où les composantes bâties existent déjà et se produit plus ou moins vite en fonction de leur espacement. Les règles de diffusion introduites dans le modèle sont donc les suivantes :

- la propagation du bâti ne s'effectue qu'à partir des zones déjà bâties,
- la diffusion se produit par la connexion progressive des aires bâties les plus proches.

Il est à remarquer que ces règles simples de diffusion sont conformes aux directives d'aménagement imposées par le cadre législatif. En effet, les options qui prévalent désormais sont celles qui cherchent à concilier urbanisation et développement durable, en freinant l'artificialisation, en évitant le mitage de l'espace par l'habitat diffus, en protégeant les espaces sensibles.

Comme toute modélisation, la modélisation spatiale s'effectue à partir d'un ensemble de conditions spatiales initiales qui constitue la situation géographique de départ. Ici, ces conditions sont volontairement minimales, elles concernent la configuration du champ d'étude, sa forme, sa taille, ainsi que la localisation des zones bâties et des espaces protégés. Hormis les zones de protections foncières qui interdisent toute urbanisation, ni le zonage des POS-PLU, ni la topographie ne sont pris en compte.

3. Le modèle spatio-morphologique de l'extension du bâti

3.1. Le protocole de traitements d'image du modèle de base

Les images sont de format bmp, de dimension 1200 x 815 pixels. L'équidistance des pixels est de 37 mètres. Quatre images sont nécessaires à la modélisation :

- l'image du fond terrestre sur lequel la diffusion du bâti est susceptible de se produire,
- l'image des zones naturelles protégées,
- les images de l'état du bâti aux dates retenues : 1977 et 1990.

Les traitements d'images sont réalisés avec le logiciel MicroMorph du Centre de Morphologie Mathématique de l'Ecole des Mines de Paris et portent sur la période 1977-1990.

L'extension du bâti à partir de l'image de 1977 s'effectue par des fermetures de taille croissante. Chaque pas de simulation correspond à une taille de fermeture du bâti. La taille de la fermeture détermine une fenêtre de voisinage dans laquelle l'adjonction de nouvelles surfaces bâties est susceptible de se produire. Les éléments du bâti qui se situent dans cette fenêtre, sont rattachés les uns aux autres et les vides interstitiels sont comblés selon le principe exposé précédemment. Les fermetures sont conditionnelles à l'espace constructible, ce qui signifie qu'à l'issue de chaque fermeture, les pixels gagnés sont intersectés avec l'espace terrestre où l'urbanisation est permise, de manière à éliminer les surfaces qui tombent dans le champ non constructible : mer, étangs, espaces naturels protégés.

Les fermetures sont réitérées jusqu'à atteindre une surface limite qui correspond aux surfaces bâties observées en 1990. À l'issue de chaque fermeture le squelette des aires bâties révèle les lignes directrices de la progression de l'urbanisation, en dehors de toute contrainte d'urbanisme ou d'orientation d'aménagement. En chaînant les squelettes du bâti obtenu après chaque fermeture on obtient une séquence animée qui indique les directions suivies par l'extension du bâti modélisée ainsi que les variations du tracé du squelette au fil de la simulation. À mesure que le bâti simulé s'étend, la configuration des aires urbanisées se modifie, les lignes disjointes du squelette se raccordent les unes aux autres, le squelette se déplace, change de forme et parfois de direction. Parallèlement, plus la taille de la fermeture

augmente, plus les rugosités des contours sont lissées, avec, en résultante, un squelette de plus en plus épuré.

Les étapes de la modélisation spatio-morphologique sont présentées dans *Modélisations et simulations spatiales appliquées à l'aménagement et à la géoprospective*, <http://www.umrespace.org>

3.2. La validation du modèle.

La validation se pose ici en terme de localisation des aires bâties modélisées. Le modèle spatial localise-t-il de manière satisfaisante, à travers le champ régional, les surfaces bâties ? La validation, qui porte sur les aires urbanisées comme sur les squelettes, s'effectue visuellement et quantitativement. Deux manières complémentaires de valider le modèle spatio-morphologique sont proposées.

- La comparaison visuelle de l'extension du bâti observée et simulée.

Les surfaces bâties estimées par le modèle (A) sont intersectées avec les surfaces observées (B). Le résultat permet de repérer l'emplacement des zones de concordance. De même, le squelette du bâti simulé et le squelette du bâti observé peuvent être reportés sur la même image afin de confronter visuellement les directions de l'urbanisation simulée à l'extension urbaine observée.

- Les mesures de ressemblance
 - Proportion des surfaces observées correctement localisées par le modèle

Le résultat de l'intersection des surfaces estimées par le modèle avec les surfaces observées donne la proportion du bâti réel exactement localisé par le modèle spatial. Il est possible de prendre en compte une marge d'erreur de localisation de 100 m. Une dilatation des surfaces bâties estimées de 100 m est alors réalisée préalablement à l'intersection.

- Le calcul du coefficient de similarité "simil"

$$\text{simil}(A,B) = \text{aire intersection } (A,B) / \text{aire union } (A,B)$$

$$\text{on a } d(A,B) = \text{aire union } (A,B) - \text{aire intersection } (A,B) = [1 - \text{simil}(A,B)] \times \text{aire union } (A,B).$$

Le coefficient simil est relié à la distance d, mais à sa différence, il ne dépend pas de la taille des images. A noter que $\text{simil}(A,B)$ est différent de $\text{simil}(A^c, B^c)$. Enfin il vaut 0 quand la distance d est maximum, et 1 quand elle est nulle (deux objets identiques sont parfaitement similaires et ils ont une distance nulle).

- La distance de Hausdorff

Le degré de concordance des deux squelettes est mesuré au moyen de la distance de Hausdorff (Voiron-Canicio, 1995). Cette mesure des écarts entre les deux tracés correspond à la distance à combler pour que les deux squelettes se recouvrent totalement.

4. Simulations de la diffusion du bâti entre 1977 et 1990

4.1. Premier modèle

Seize pas de fermeture sont nécessaires pour atteindre la valeur réelle des surfaces bâties observées en 1990. Le taux de croissance moyen du bâti simulé est de 0,052 par pas de fermeture contre 0,06 pour le taux de croissance annuel moyen observé durant la période 1977-1990.

La validation du modèle donne un coefficient de similarité des aires bâties de 0,524 et une proportion des surfaces observées correctement localisées par le modèle de 70% et de 84%, avec une marge d'erreur de 100 m. L'observation des figures 7 et 8 permet de repérer précisément les zones de discordance. D'une manière générale, la diffusion par connexion entre les petits éléments du bâti situés dans la partie septentrionale du champ d'étude est surestimée par le modèle. Inversement, la croissance auréolaire des gros bourgs est sous-estimée. Il apparaît également que l'axe central Montpellier-Carnon et la bande littorale ont connu une croissance du bâti plus forte que le reste du champ d'étude. Cette différenciation, qui n'est pas prise en compte par le modèle testé, va donner lieu à une modification du modèle spatial avec l'introduction d'une nouvelle procédure de diffusion.

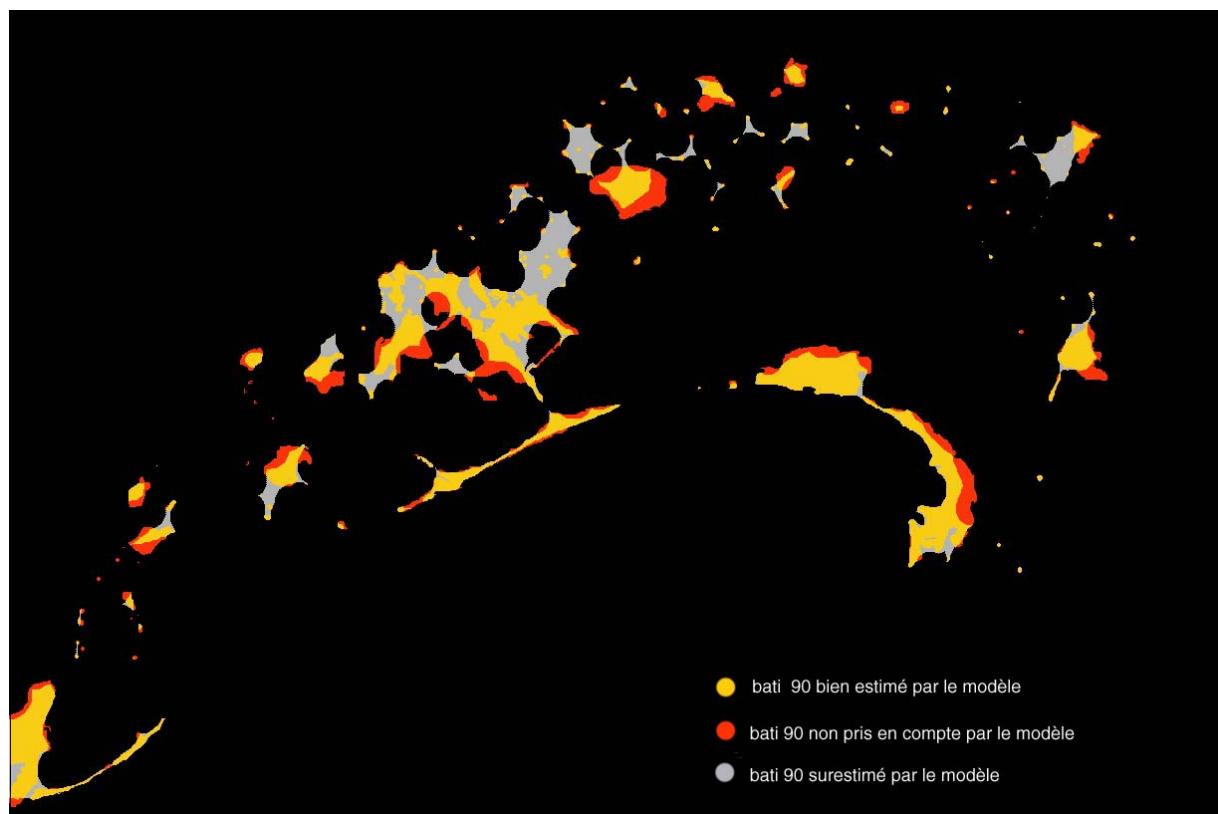


Fig.7 : Résultat du premier modèle

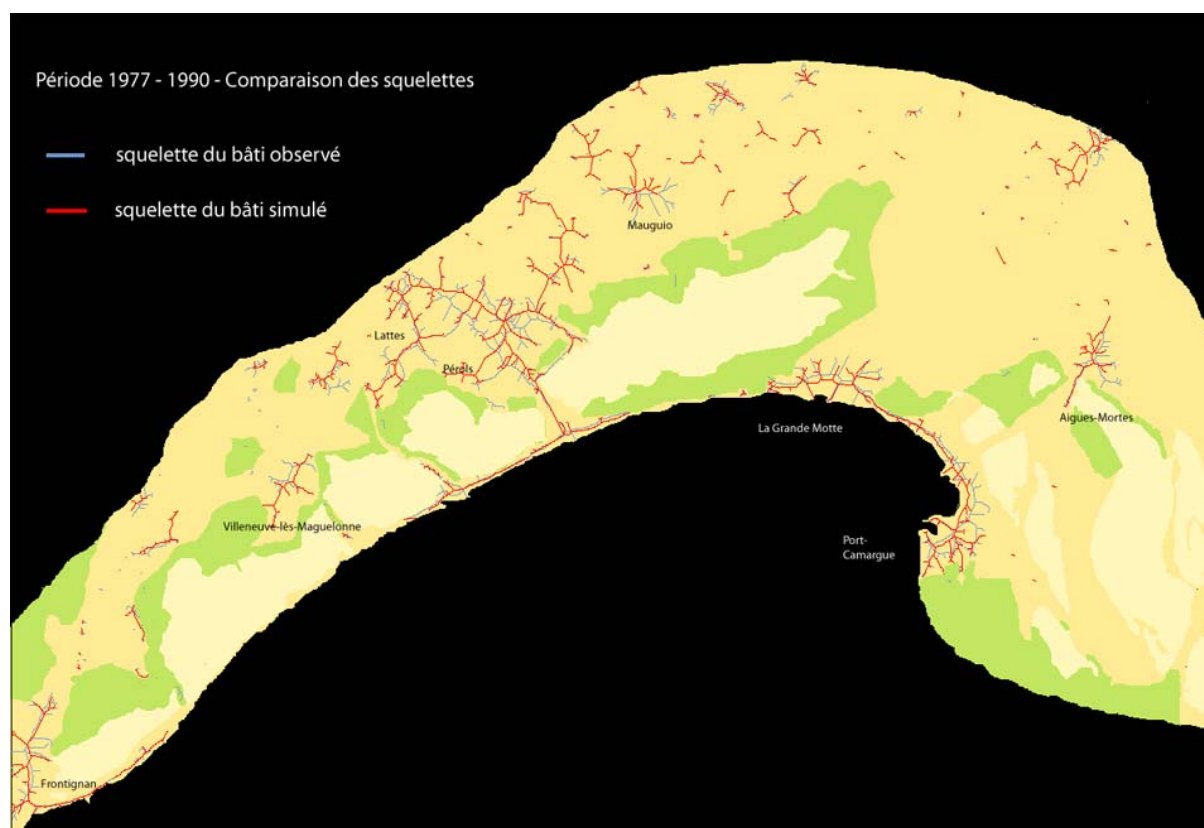


Fig. 8 : Comparaison des deux squelettes

4.2. Modification du modèle

Le processus de diffusion spatio-morphologique s'effectue désormais en 2 temps.

- Afin de prendre en compte la croissance auréolaire observée autour des gros bourgs ainsi que la différenciation spatiale existant entre, d'une part, la bande côtière, l'axe central et les gros bourgs et d'autre part, le reste du sous-ensemble :
 - Les gros bourgs intérieurs sont discriminés par une ouverture – reconstruction de taille 1 de l'image du bâti de 1977. Cette procédure fait disparaître les plus petits éléments bâtis.
 - Une zone de 200 m située en bordure du rivage et une zone de même largeur centrée sur l'axe Montpellier-Carnon sont déterminées. Seuls les éléments du bâti situés à l'intérieur de ces deux zones sont retenus.
 - Les gros bourgs et les surfaces bâties situées le long du littoral et de l'axe central sont réunis puis dilatés de taille 2.
- Le bâti dilaté est ensuite ajouté au reste des éléments bâtis figurant dans le champ d'étude. La procédure des fermetures géodésiques est alors appliquée à l'image résultat de l'union, selon le protocole retenu pour le premier modèle.

Le coefficient simil est à présent de 0,624 et la proportion des surfaces observées correctement localisées par le modèle passe à 76,4% et à 94,3%, en prenant la marge d'erreur de 100 m.

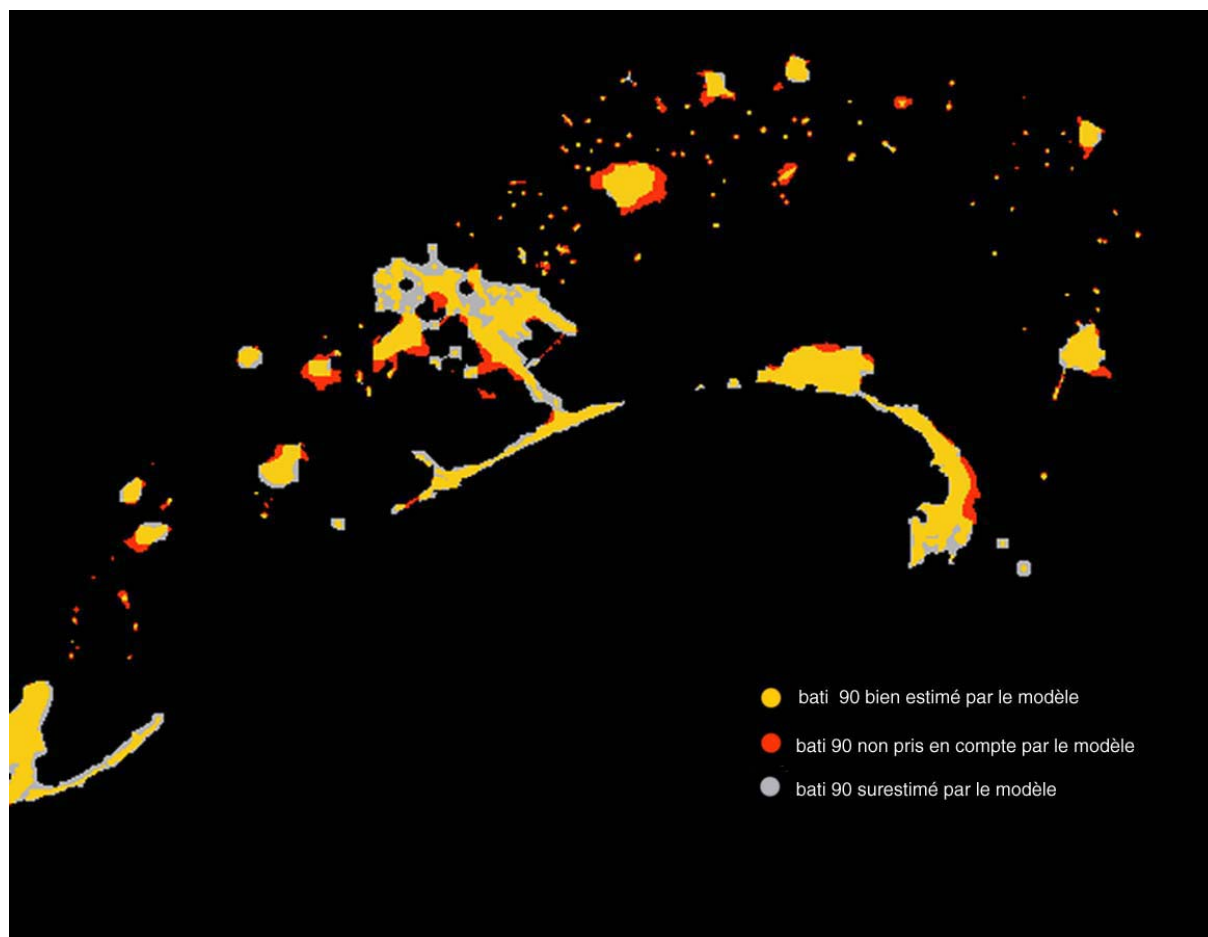


Fig. 9 : Résultat du deuxième modèle

Les écarts de localisation se sont nettement réduits mais ils persistent dans le secteur de Lattes et autour de Mauguio.

5. Simulation de l'extension du bâti entre 1990 et 2010

Dans une optique géoprospective, ce dernier modèle a été appliqué à la recherche des grandes lignes de l'extension future du bâti, à l'horizon 2010. La modélisation de la diffusion du bâti a été conduite en partant de la carte des surfaces bâties de 1990. Deux rythmes de croissance ont été retenus, un taux de croissance annuel moyen élevé : 0,06, qui correspond au maintien du taux de croissance observé au cours de la période 1977-1990 et un taux plus faible de 0,03 traduisant la volonté de freiner l'urbanisation du sous-ensemble littoral. Les résultats des deux simulations sont reportés sur les figures 10 et 11. Un taux de 0,06 conduirait au triplement de la surface bâtie, un taux de 0,03, à un doublement.

Les protections érigées le long du littoral et autour des étangs contiendraient l'urbanisation, par contre, l'étalement du bâti se propagerait dans la zone septentrionale du champ d'étude, de part et d'autre de l'axe Montpellier-Carnon, avec des prolongements vers Lattes et surtout vers la zone nord-est. Dans cette zone proche du pôle montpellierain, non seulement les éléments bâtis sont les plus nombreux et les plus proches, mais encore, les protections foncières sont rares.

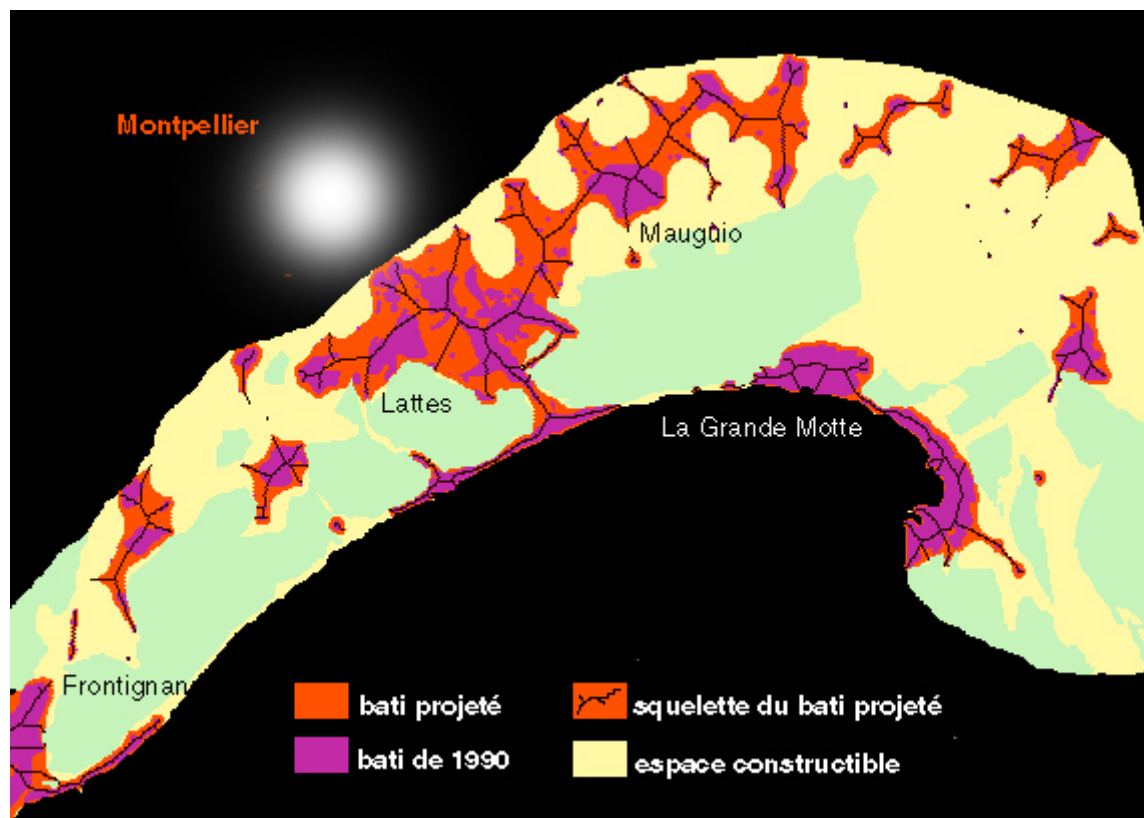


Fig. 10 : Simulation de l'extension du bâti entre 1990 et 2010 (taux de croissance de 0,03)

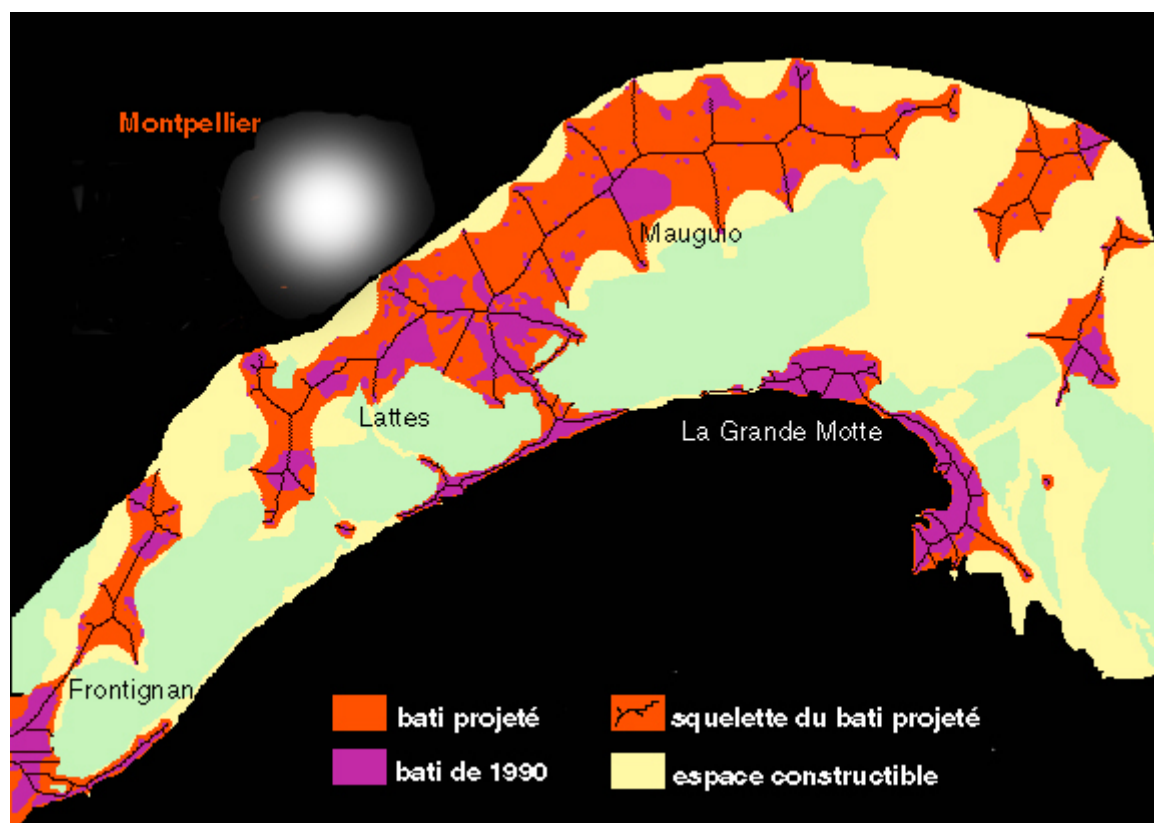


Fig. 10 : Simulation de l'extension du bâti entre 1990 et 2010 (taux de croissance de 0,06)

Les squelettes représentés en noir sur les images, soulignent les directions de propagation du bâti. Il est à remarquer les lignes directrices de l'urbanisation orientées nord-sud qui préfigurent les connexions futures au couloir de peuplement et de circulation compris entre Montpellier et Nîmes.

Conclusion

Les résultats de la modélisation démontrent que des règles spatiales élémentaires basées sur des notions de distance, de voisinage et de forme, rendent compte des grandes lignes de la diffusion du bâti. Ces règles sont particulièrement prégnantes dans la période actuelle où, depuis le début des années 2000, les mesures prises à l'encontre de l'étalement urbain contraignent l'urbanisation à se cantonner dans le proche voisinage du bâti existant. Dès lors, ce type de modélisation revêt un intérêt évident pour la prospective territoriale. Il permet en effet d'anticiper la diffusion de l'urbanisation à travers un territoire, d'établir des scénarii d'évolutions spatialisées afin de déceler les impacts de chacun d'eux sur les types d'occupation du sol et le peuplement et de guider les orientations d'aménagement à prévoir : les équipements, les réserves foncières, les espaces à protéger. Dans un autre registre, cette démarche spatio-morphologique contribue à la compréhension des inter-relations des dynamiques aréales et des dynamiques réticulaires et « informe », au sens étymologique, sur les processus qui conduisent à l'émergence de structures d'axe et de structure d'arc.

Bibliographie

Conservatoire de l'Espace littoral et des Rivages lacustres (1995), *Atlas des espaces naturels du littoral, Languedoc-Roussillon*, n° , 2^e Edition.

IFEN (2005), « Les changements d'occupation des sols de 1990 à 2000 », *Les données de l'environnement*, n° 101, mars 2005

IFEN (2000), « la pression de la construction ne se relâche pas sur le littoral métropolitain », *Les données de l'environnement*, n° 55, juin 2000

IFEN (1998), « Les différents visages de l'artificialisation du littoral », *Les données de l'environnement*, n° 39 septembre 1998

Plan Bleu (2000), *Suivi de l'évolution du littoral à partir des données LACOAST, réflexions méthodologiques pour la Méditerranée : Exemple de la France*, Centre d'activités régionales de Sophia Antipolis.

Serra Jean (1982), *Image analysis and mathematical morphology*, London, Academic Press.

Serra Jean (1975), « Présentation de la morphologie mathématique », *Annales des Mines*, novembre 1975.

Voiron-Canicio Christine, Olivier Florence (2000), « Paysages, utilisation du sol et conflits d'usage sur les rivages touristiques du sud de la France », *Bolletino della Societa Geografica Italiana*, n° 3, Roma

Voiron-Canicio Christine (1995), *Analyse spatiale et analyse d'images*. Montpellier, GIP Reclus, coll.Espaces modes d'emploi

Voiron-Canicio Christine (1992), *Espace, structures et dynamiques régionales : l'arc méditerranéen*, Thèse d'Etat, Université de Nice – Sophia Antipolis

Logiciel MicroMorph for MS Windows, Center of Mathematical Morphology, Ecole des Mines de Paris.