

EVALUATION DE LA DENSIFICATION URBAINE A L'AIDE DE LA TRAME PLANE ORTHOGONALE

Reçu le 28/08/2006 – Accepté le 14/01/2007

Résumé

L'objectif de cette étude est d'exposer un modèle qui permet d'évaluer le rapport espace/logements dans une trame plane orthogonale. Ce présent modèle est un outil d'aide à la conception de la densification urbaine, permettant de déterminer les caractéristiques urbanistiques et géométriques d'un espace urbain.

La construction du problème repose sur l'étude des composantes de l'espace total de la trame appelé assiette et de la densité en logements que peut supporter cette dernière en fonction d'un nombre donné de bâtiments et de logements tous identiques. L'évaluation se fait à l'aide des caractéristiques urbanistiques tel que le coefficient d'emprise au sol (C.E.S), et la densité en logements (d).

La solution du problème consiste à résoudre un système composé de deux équations à trois inconnues dont l'une est une corrélation en utilisant des itérations successives et un programme de calculs automatisés.

Mots clés: densité, coefficient d'emprise au sol, coefficient de la forme de la trame, coefficient de la taille urbaine, itérations

Abstract

The objective of this study is to expose a model that permits to value the rate space - apartment in an orthogonal plane plot. This present model is an aid tool to the conception of the urban density, permitting to determine the urban and geometric attributes of an urban space.

The construction of the problem is founded on the study of components of the total space of the site, called urban plot, and the number of dwellings that can support the plot, according to a typical buildings and apartments.

The assessment of the urban density is realized using the urban attributes such as: the ratio between the area occupied by a building and the area of the plot (site coverage ratio), and the building density (number of housing in relation with the area of the plot).

The resolution of the problem consists in solving a system composed of two equations with three unknowns, of which, one is an interrelationship, using successive iterations and an automated calculations program.

Keywords: density, site overage ratio, form coefficient of the plot, coefficient of the urban size, iterations.

**B. EI KECHEBOUR
N. LARADI**

Département de Génie Civil
Université des Sciences et de
la Technologie Houari
Boumédiène - Bab Ezzouar
Alger - Algérie

ملخص

La densification est une opération d'optimisation ayant pour objectif la rationalisation de l'occupation de l'espace en fonction d'un certain nombre de critères de viabilité. Certains acteurs de l'urbain l'appellent aménagement urbain, tandis que d'autres la considèrent comme une technique relevant du génie urbain. L'urbanisme est une science multidisciplinaire et interdisciplinaire « l'Urbanisme est l'Art de disposer l'espace urbain ou rural au sens le plus large (bâtiments d'habitation, de travail, de loisirs, réseaux de circulation et d'échanges) pour obtenir son meilleur fonctionnement et améliorer les rapports sociaux » [1]. L'étude peut concerner une nouvelle densification ou une densification existante pour lui porter une amélioration. Le champ de recherche se limite à l'étude d'une nouvelle opération de densification d'une trame plane orthogonale.

L'approche classique de la conception de la densification en vigueur dans plusieurs bureaux d'études consiste à choisir un des avant-projets de plan masse jugé le plus performant sur la base d'une étude comparative technico-économique. Cette façon d'appréhender la conception de la densification fait perdre beaucoup de temps et laisse planer un doute sur la maximalisation de la performance de la solution retenue, « Le contrôle de la forme urbaine passe par la maîtrise du prix des terrains [2]. C'est pour cela que l'élaboration d'un modèle d'études de la densification s'avère utile.

الكثافة - معامل تأثير الأرض - معامل
الشكل - معامل الحجم العمراني - إعادة

Pour améliorer et rendre plus fiable la prise de décision lors de la conception, on se propose d'élaborer un outil d'aide au dimensionnement de la densification. Dans un premier temps, ce système nécessite une enquête sur les valeurs normatives des différents espaces constituant l'urbain résidentiel, ou à défaut de reconstituer ces valeurs par la méthode de la modélisation analytique basée sur l'usage.

Ce travail représente une partie du modèle global de la modélisation de la conception de la densification [3] qui a été présenté aux services techniques de la Direction de l'Urbanisme du Ministère de l'Urbanisme et de la construction en 2003.

1. ANALYSE DU PROCESSUS DE LA DENSIFICATION

Pour concrétiser l'objectif, la démarche s'appuie sur le cheminement linéaire du processus de la conception de la densification. Pour cela, il faut connaître le cours des événements des différentes phases dans le processus des études de la densification.

1.1. Identification des composantes de la densification

Les éléments permettant une densification sans contraintes sont identifiés à travers les écrits suivants : les recommandations du ministère de l'urbanisme et de la construction (Algérie), le manuel d'urbanisme anglais et les ouvrages d'urbanisme de ZUCHELLI [4], [5] et [6]. On peut résumer les composantes avec leurs valeurs normatives à l'aide du tableau 1 suivant :

N°	Composantes	Valeurs normatives
1	Surface plancher brut.	20 à 22 m ² /habitant
2	Espace vert.	0,5 à 5,5 m ² /habitant
3	Espace stationnement.	14 à 15 m ² /voiture.
4	Nombre de véhicules.	0,5 à 1 véhicule/habitant
5	Emprise bâtiment.	L × l.
6	Plate-forme pour emprise	L + 2,5 à 3,5 m. et l + 2,5 à 3,5 m
7	Voirie.	Longueur et largeurs varient en fonction de la densité et du trafic

Tableau 1 : Composantes de la densification et valeurs normatives

Les largeurs des voiries varient selon le trafic et le mode de stationnement. Le tableau 2 donne les largeurs minimales à donner dans les zones résidentielles.

Minimum largeur voirie			
Voie	Stationnement		
	interdit	sur un côté	sur deux côtés
à sens unique	3,5 m	5 m	8 m
à double sens	5 m	7 m	10 m

Tableau 2 : Largeur minimale des voiries en fonction du stationnement

1.2. Les formules de la densification

L'opération densification est réalisable à l'aide de la densité (d) et du coefficient d'emprise au sol (C.E.S) [5] et [6].

La densité exprime le nombre de logements disposés sur une assiette d'un hectare, tandis que le C.E.S. exprime la manière dont sont agencés les logements en vertical sur l'assiette. On peut appliquer les formules exprimant la densité et le C.E.S. à différentes échelles : trame ou bâtiment.

Pour un bâtiment, nous aurons :

$$d = \frac{N}{\text{ass}} 10000 \text{ m}^2 \quad (1)$$

$$\text{CES} = \frac{E}{\text{ass}} \quad (2)$$

N : Nombre de logements sur l'assiette bâtiment.

E : Surface de l'emprise bâtiment.

ass : Surface de l'assiette bâtiment.

10000 m² : Surface d'un hectare.

Pour une trame plane orthogonale, les deux équations précédentes (1) et (2) deviennent :

$$d = \frac{N_T}{\text{ASS}} 10000 \text{ m}^2 \quad (3)$$

$$\text{CES} = \frac{m \cdot E}{m \cdot \text{ass}} = \frac{E_T}{\text{ASS}} \quad (4)$$

m : Nombre de bâtiments répétitifs

ASS : Assiette totale de la trame = m • ass

E_T : Emprise totale de la trame = m • E

L'assiette est la surface qui reçoit un bâtiment avec ses espaces. Si c'est à l'échelle d'une trame, l'assiette est la surface totale des assiettes des différents bâtiments qui la composent. L'emprise est la surface qui reçoit un bâtiment sans ces espaces d'accompagnement et à l'échelle d'une trame cela se traduit par une surface totale des emprises des bâtiments.

On constate qu'on est en présence d'un système composé de deux équations à trois inconnues, donnant ainsi une infinité de solutions. Pour résoudre ce système d'équation, il faut fixer une des trois inconnues. Au stade d'avant projet où l'esquisse détaillée n'est pas encore faite, la solution du système pose problème. Dans la pratique lorsqu'on a affaire à des opérations comportant un nombre réduit de trames, l'obstacle de la troisième inconnue est levé parce qu'on travaille sur la base d'une esquisse détaillée d'un modèle de trame adopté pour la circonstance.

L'opération densification n'est jamais optimisée à 100% pour diverses contraintes. La surface de l'assiette n'est connue qu'après avoir réalisé le plan masse. L'opération est jugée optimisée si le volume du contenant (trame) est égal au volume déterminé par les formules de la densification. Dans ce cas, l'opération obéit à une relation d'équivalence stricte. Dans le cas contraire, l'opération est partiellement optimisée et elle obéit à une relation de corrélation.

Physiquement, l'opération densification consiste à poser une masse sur un espace et le rapport masse/espace sera un critère d'appréciation pour juger si l'espace en question est faiblement, fortement ou moyennement densifié.

2. EVALUATION DE LA VOIRIE

La longueur voirie totale est une corrélation du nombre de trames, du mode de rangement des trames et de la forme de la trame.

2.1. Longueur totale voirie relative à une trame et Taille urbaine finale (nombre de trames)

On démontre que la longueur voirie totale L_{VT} relative à une trame est une corrélation du nombre de trames à projeter c'est à dire de la taille urbaine finale.

Hypothèses

- Trames carrées de surface = 1 Hectare
- Nombre de niveaux (étages) : n
- Densité constante pour chaque trame.

Variables

- Le nombre i de carrés (trames),
- Le nombre j de rangées à placer.

Prédimensionnement

1) Une seule rangée

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----

- 1 carré : $L_{VT} = 4 \cdot l / 1 = (3 \times 1 + 1)l / 1$
- 2 carrés : $L_{VT} = 7 \cdot l / 2 = (3 \times 2 + 1)l / 2$
- 3 carrés : $L_{VT} = 10 \cdot l / 3 = (3 \times 3 + 1)l / 3$
- 4 carrés : $L_{VT} = 13 \cdot l / 4 = (3 \times 4 + 1)l / 4$
- 5 carrés : $L_{VT} = 16 \cdot l / 5 = (3 \times 5 + 1)l / 5$
- 6 carrés : $L_{VT} = 19 \cdot l / 6 = (3 \times 6 + 1)l / 6$
- 7 carrés : $L_{VT} = 22 \cdot l / 7 = (3 \times 7 + 1)l / 7$
- 8 carrés : $L_{VT} = 25 \cdot l / 8 = (3 \times 8 + 1)l / 8$
- 9 carrés : $L_{VT} = 28 \cdot l / 9 = (3 \times 9 + 1)l / 9$
- 10 carrés : $L_{VT} = 31 \cdot l / 10 = (3 \times 10 + 1)l / 10$
-
- i carrés : $L_{VT} = (3i + 1)l / i = 3l + l/i$ (5)

$$\lim_{i \rightarrow \infty} L_{VT} = 3l$$

2) Deux rangées

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----

- 2 carrés : $L_{VT} = 7 \cdot l / 2 = (2,5 \times 2 + 2)l / 2$
 - 4 carrés : $L_{VT} = 12 \cdot l / 4 = (2,5 \times 4 + 2)l / 4$
 - 6 carrés : $L_{VT} = 17 \cdot l / 6 = (2,5 \times 6 + 2)l / 6$
 - 8 carrés : $L_{VT} = 22 \cdot l / 8 = (2,5 \times 8 + 2)l / 8$
 - 10 carrés : $L_{VT} = 27 \cdot l / 10 = (2,5 \times 10 + 2)l / 10$
 -
 - i carrés : $L_{VT} = (2,5i + 2)l / i = 2,5 \cdot l + 2 \cdot l / i$ (6)
- $$\lim_{i \rightarrow \infty} L_{VT} = 2,5 \cdot l$$

3) Trois rangées et plus :

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----

A partir de 3 rangées la longueur voirie totale est très proche de la valeur :

$$L_{VT} = (2i + 2) / i \quad (7)$$

d'où :

$$\lim_{i \rightarrow \infty} (2i + 2) / i = 2l(1 + 1/i) = L_{VT} = 2 \cdot l$$

Rangées	i	L_{VT} réelle	$L_{VT} = (2i+2)l/i$	$(L_{VT} \cdot r - L_{VT})100/L_{VT} \cdot r$
3	9	24 l / 9	24 l / 9	0
	12	31 l / 12	30,93 l / 12	0,225
	15	38 l / 15	37,75 l / 15	0,668
	18	45 l / 18	44,49 l / 18	1,133
	21	52 l / 21	51,16 l / 21	1,600
	24	59 l / 24	57,80 l / 24	2,020
4	16	40 l / 16	40 l / 16	0
	20	49 l / 20	48,94 l / 20	0,122
	24	58 l / 24	57,80 l / 24	0,345
	28	67 l / 28	66,58 l / 28	0,627
	32	76 l / 32	75,31 l / 32	0,907
	36	85 l / 36	84 l / 36	1,176
5	25	60 l / 25	60 l / 25	0
	30	71 l / 30	70,95 l / 30	0,070
	35	82 l / 35	81,83 l / 35	0,207
	40	93 l / 40	92,65 l / 40	0,376

Vérification

Le Tableau 3 donne les écarts en % entre la valeur de la longueur réelle de la voirie (L_{VT}) et celle obtenue par modélisation.

N°	$L_0(m)$	USAGE	A(m)	USAGE
1	0.8000	00,80 à 1,0	8.0000	08,0 à 09,0
2	2.1500	01,20 à 1,5	9.2426	09,0 à 10,0
3	2.6000	01,50 à 2,0	10.1962	10,0 à 12,0
4	2.8250	02,50 à 3,0	11.0000	10,0 à 12,0
5	2.9600	03,00 à 3,25	11.7082	13,0 à 14,0
6	3.0500	03,25 à 3,50	12.3485	13,0 à 14,0
7	3.1143	3,5	12.9373	13,0 à 14,0
8	3.1625	3,5	13.4853	14,0 à 16,0
9	3.2000	3,5	14.0000	14,0 à 16,0
10	3.2300	3,5	14.4868	14,0 à 16,0
11	3.2545	3,5	14.9499	14,0 à 16,0
12	3.2750	3,5	15.3923	16,0 à 18,0
13	3.2923	3,5	15.8167	16,0 à 18,0
14	3.3071	3,5	16.2250	16,0 à 18,0
15	3.3200	3,5	16.6190	16,0 à 18,0
16	3.3312	3,5	17.0000	16,0 à 18,0
17	3.3412	3,5	17.3693	16,0 à 18,0
18	3.3500	3,5	17.7279	16,0 à 18,0
19	3.3579	3,5	18.0767	16,0 à 18,0
20	3.3650	3,5	18.4164	16,0 à 18,0

Tableau 3 : Valeurs de $L_0 = 2,5 - 2,7/n$ et $L_A = 5 + 3\sqrt{n}$

2.2. Longueur voirie totale et forme de la trame :

Selon la forme géométrique de la trame, le périmètre varie et par conséquent la longueur voirie totale L_{VT} varie.

$$k = L_T / l_T \quad (8)$$

$$\text{Assiette} = 10.000 \cdot N_T / d = L_T \cdot l_T = (k \cdot l_T) l_T = k \cdot l_T^2$$

$$L_{vT} = L_T + l_T = k \cdot l_T + l_T$$

D'où :

$$l_T^2 = 10.000 / k \cdot N_T / d \quad \dots \rightarrow l_T = \frac{100}{\sqrt{k}} \sqrt{\frac{N_T}{d}} \quad (9)$$

$$L_{vT} = k \frac{100}{\sqrt{k}} \sqrt{\frac{N_T}{d}} + \frac{100}{\sqrt{k}} \sqrt{\frac{N_T}{d}} \quad (10)$$

$$= 100 \sqrt{\frac{N_T}{d}} \left(\sqrt{k} + \frac{1}{\sqrt{k}} \right) = 100 \sqrt{\frac{N_T}{d}} K_f$$

$$K_f = \sqrt{k} + \frac{1}{\sqrt{k}} \quad (11)$$

Si $k = 1 \implies K_f = 2$

On a un carré avec les caractéristiques suivantes :

$$L_T = l_T = 100 \sqrt{\frac{N_T}{d}} \quad \text{d'où} \quad L_{vT} = L_T + l_T = 200 \sqrt{\frac{N_T}{d}}$$

Exemple :

Si $k = 4$ alors nous obtenons $K_f = \sqrt{4} + \frac{1}{\sqrt{4}} = 2,5$

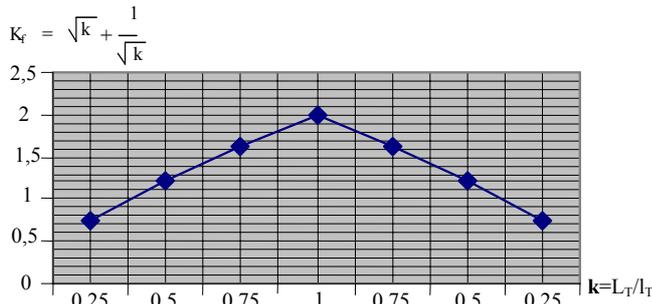


Figure 1 : variation du coefficient de la forme K_f en fonction de $k = L_T / l_T$

Le graphe de la figure 1 exprime la variation du coefficient de la forme en fonction du rapport $k = \text{Longueur de la trame} / \text{largeur de la trame}$.

2.3. Longueur voirie totale d'une trame en fonction de K_f et de T (taille agglomération) :

Pour déterminer la longueur totale de la voirie (L_{vT}) en fonction des coefficients de la forme K_f et du coefficient de la taille finale T , on utilise des simulations sur des formes de trames planes orthogonales selon le mode de rangements. La longueur totale de la voirie est déterminée en utilisant les propriétés des phénomènes récurrents de manière systématique sur un certain nombre de rangées et essayer de trouver une loi par récurrence.

- i : Nombre total de trames
- r : Nombre de rangées.
- i/r : Nombre de trames par rangée.

1	2	3	4						i/r
									i/r
									i/r

- 01 rangée :

$$L_{vT} = \frac{2i \cdot L_T + (i+1)l_T}{i} = 2L_T + l_T + l_T / i = 2k \cdot l_T + l_T + l_T / i = l_T (2k + 1 + 1/i)$$

- 02 rangées :

$$L_{vT} = \frac{3 \cdot \frac{i}{2} \cdot L_T + (i+2)l_T}{i} = \frac{3}{2} L_T + l_T + \frac{2l_T}{i} = \frac{3k \cdot l_T}{2} + l_T + \frac{2l_T}{i} = l_T \left(\frac{3k}{2} + 1 + \frac{2}{i} \right)$$

- 03 rangées :

$$L_{vT} = \frac{4 \cdot \frac{i}{3} \cdot L_T + (i+3)l_T}{i} = \frac{4}{3} L_T + l_T + \frac{3l_T}{i} = \frac{4k \cdot l_T}{3} + l_T + \frac{3l_T}{i} = l_T \left(\frac{4k}{3} + 1 + \frac{3}{i} \right)$$

- 04 rangées :

$$L_{vT} = \frac{5 \cdot \frac{i}{4} \cdot L_T + (i+4)l_T}{i} = \frac{5}{4} L_T + l_T + \frac{4l_T}{i} = \frac{5k \cdot l_T}{4} + l_T + \frac{4l_T}{i} = l_T \left(\frac{5k}{4} + 1 + \frac{4}{i} \right)$$

- r rangées :

$$L_{vT} = l_T \cdot \left(\frac{(r+1)}{r} k + 1 + \frac{r}{i} \right)$$

$$\lim_{\substack{i \rightarrow \infty \\ r \rightarrow \infty \\ r << i}} L_{vT} = \lim_{\substack{i \rightarrow \infty \\ r \rightarrow \infty \\ r << i}} l_T \cdot \left(\frac{(r+1)}{r} k + 1 + \frac{r}{i} \right) = l_T (k + 1) = L_T + l_T$$

Exemple :

Soit i trames de dimensions $L_T = 80$ m et $l_T = 40$ m, disposées en r rangées contenant chacune i/r trames. Dans ce cas, les valeurs des caractéristiques sont :

- Pour $i = 30$ trames ; $r = 5$ rangées ; $i/r = 6$ trames par rangées ; $k = 80/40 = 2$; On trouve :

$$K_f = \sqrt{k} + \frac{1}{\sqrt{k}} = 1,414 + \frac{1}{1,414} = 1 + 0,707 = 2,121$$

$$L_{vT} = \left[(r+1) \frac{k}{r} + 1 + \frac{r}{i} \right] l_T = \left[6 \cdot \frac{2}{5} + 1 + \frac{5}{30} \right] \cdot 40$$

$$= (2,4 + 1 + 0,16666) \cdot 40 = 3,566 \cdot 40 = 142,666 \text{ m}$$

$$T \cdot (L_T + l_T) = \left[(r+1) \frac{k}{r} + 1 + \frac{r}{i} \right] l_T$$

D'où :

$$T = \frac{\left[(r+1) \frac{k}{r} + 1 + \frac{r}{i} \right] l_T}{(L_T + l_T)} = \frac{142,666}{120} = 1,19$$

- Pour $i = 20$ disposées en $r = 5$ rangées, on trouve :

$$L_{vT} = \left[(r+1) \frac{k}{r} + 1 + \frac{r}{i} \right] l_T = \left[6 \cdot \frac{2}{5} + 1 + \frac{5}{20} \right] \cdot 40$$

$$= (2,4 + 1 + 0,25) \cdot 40 = 3,65 \cdot 40 = 146,000 \text{ m}$$

$$T \cdot (L_T + l_i) = \left[(r+1) \frac{k}{r} + 1 + \frac{r}{i} \right] l_T$$

D'où :

$$T = \frac{\left[(r+1) \frac{k}{r} + 1 + \frac{r}{i} \right] l_T}{(L_T + l_i)} = \frac{146,000}{120} = 1,216$$

- Pour $i = 10$ disposées en $r = 5$ rangées, on trouve :

$$L_{vT} = \left[(r+1) \frac{k}{r} + 1 + \frac{r}{i} \right] l_T = \left[6 \cdot \frac{2}{5} + 1 + \frac{5}{10} \right] \cdot 40$$

$$= (2,4 + 1 + 0,5) \cdot 40 = 3,90 \cdot 40 = 156,000 \text{ m}$$

$$T \cdot (L_T + l_i) = \left[(r+1) \frac{k}{r} + 1 + \frac{r}{i} \right] l_T$$

D'où :

$$T = \frac{\left[(r+1) \frac{k}{r} + 1 + \frac{r}{i} \right] l_T}{(L_T + l_i)} = \frac{156,000}{120} = 1,300$$

- Pour $i = 5$ disposées en $r = 5$ rangées, on trouve :

$$L_{vT} = \left[(r+1) \frac{k}{r} + 1 + \frac{r}{i} \right] l_T = \left[6 \cdot \frac{2}{5} + 1 + \frac{5}{5} \right] \cdot 40$$

$$= (2,4 + 1 + 1) \cdot 40 = 4,40 \cdot 40 = 176,000 \text{ m}$$

$$T \cdot (L_T + l_i) = \left[(r+1) \frac{k}{r} + 1 + \frac{r}{i} \right] l_T$$

D'où :

$$T = \frac{\left[(r+1) \frac{k}{r} + 1 + \frac{r}{i} \right] l_T}{(L_T + l_i)} = \frac{176,000}{120} = 1,460$$

2.4. Valeurs de la taille urbaine

Des dizaines de simulations ont été faites sur la taille urbaine en fonction du nombre de trames à projeter et de leur mode de rangement. La valeur de la taille est inversement proportionnelle au nombre de trames et au nombre de rangées de trames à projeter. Le graphe illustré par la figure 2 exprime la variation de ces valeurs.

Les graphes des valeurs de la taille urbaine représentés par la figure 2 démontrent que :

- les valeurs convergent pour un grand nombre de trame;
- les valeurs divergent pour un petit nombre de trames ;
- les valeurs varie de 1,4 pour une forme urbaine compacte à 1,9 pour une forme urbaine linéaire.

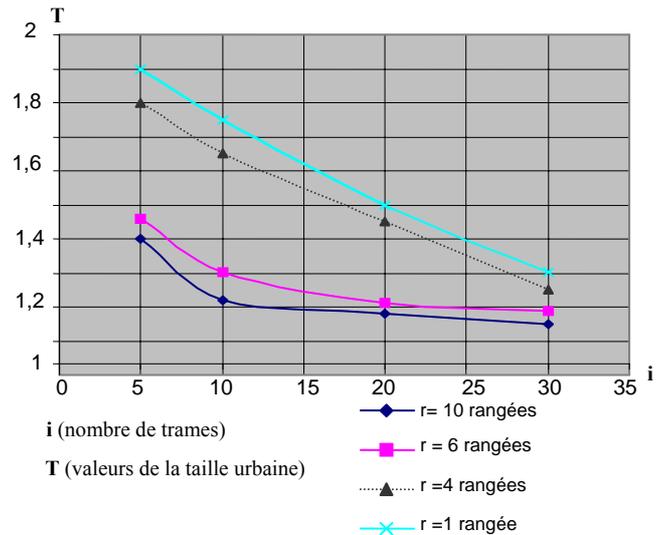


Figure 2 : Graphe des valeurs de la taille urbaine en fonction du nombre de trames (i) et du nombre de rangées (r).

2.5. Largeur des voiries et Trottoirs et des surlargeurs des plates-formes

Les surlargeurs des plates-formes (L_0) sont faites pour la servitude des façades des bâtiments et elle varient entre 2 et 3 m ; tandis que les largeurs des voiries et des trottoirs (L_A) pour les zones résidentielles, dépendent de la densité et du trafic.

Les expressions donnant les valeurs les surlargeurs des plates-formes (L_0) et les largeurs des voiries et des trottoirs (L_A) sont le résultat d'une modélisation faite sur la base des valeurs en usage. Le tableau 3 illustre la modélisation des valeurs L_0 et L_A .

3. PRINCIPE DE RESOLUTION DE LA DENSIFICATION

L'organisation des différents espaces obéit à des contraintes d'implantation au sein d'une trame et aux contraintes générales liées au site. Le choix de la trame représentée par la figure 1, permet de faire varier le nombre d'étages librement sans contrainte. En effet, il suffit par exemple de choisir un mode de stationnement linéaire le long des voiries longeant les façades principales pour que le nombre d'étages soit limité par la capacité du parking (en termes de voitures). La répartition et l'utilisation des espaces est faite conformément aux recommandations faite par Zuccheli [7] et Zeitoun [8].

3.1. Présentation du cas d'études

L'objet d'études est une trame plane orthogonale de longueur L_T et de largeur l_T représentée par la figure 3 :

3.2. Prédimensionnement

- Espace total des emprises de blocs : $E_T = m \cdot E = m \cdot x \cdot e$
- Espace total des plates-formes $S_{T,p.f} = m(1 + l_0)(L + l_0)$

- Espace vert total : $S_{T,e,v} = s_{e,v} \cdot N_T \cdot y$ ($s_{e,v}$: espace vert par habitant)
- Espace stationnement : $S_{T,s,t} = k_v \cdot N_T$ (k_v : nombre de véhicules par logement)
- Espace total de la voirie plus trottoir : $S_{v,T} = l_v \cdot N_T \cdot A$

$$L'assiette ASS = S_{pft} + S_{ev} + S_{st} + S_{vT}$$

Le coefficient d'emprise au sol :

$$CES = \frac{E_T}{S_{pft} + S_{ev} + S_{st} + S_{vT}} \text{ (à l'échelle trame)}$$

La densité en logement :

$$d = \frac{n \cdot CES}{e} \cdot 10.000 = \frac{N_T}{ASS} \cdot 10.000$$

Echelle bâtiment Echelle trame

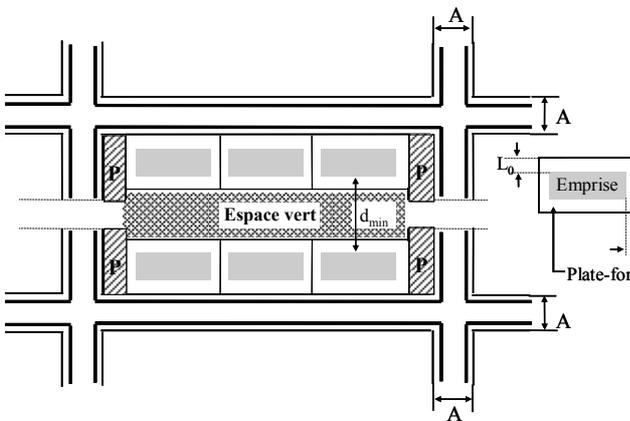


Figure 3 : Schéma de l'exemple de la trame plane orthogonale à étudier.

- Modéliser au préalable la surlargeur (L_0) des plates formes, et la largeur des voiries avec trottoirs (A) en fonction du nombre de niveaux,
- Exprimer chaque espace en fonction du nombre de niveaux, exprimer l'assiette d'un bâtiment (ass) et celle de la trame (ASS) en fonction des espaces qui la composent,
- Exprimer le C.E.S de la trame,
- Exprimer la densité (d) relative à l'assiette d'un bâtiment en fonction du CES précédent, du nombre de niveaux et de la surface emprise d'un logement (e),
- Résoudre le système composé des deux équations : la résolution se fera sur la base d'une suite d'itérations successives :
 - introduire une valeur (T) de la taille urbaine à partir du graphe de la figure 3,
 - introduire une valeur arbitraire d , calculer le C.E.S,
 - ensuite vérifier si d introduite est égale à d calculée,
 - l'itération s'arrête lorsque la différence entre d introduite et d calculée est égale ou inférieure à 1%.

Exemple :

$$d_0 = 100 \rightarrow d_1 = 40 ; d_1 = 40 \rightarrow d_2 = 35 ;$$

$$d_2 = 35 \rightarrow d_3 = 33 ; d_3 = 33 \rightarrow d_4 = 33,80$$

$$d_4 = 33,80 \rightarrow d_5 = 33,90 \rightarrow |d_5 - d_4| \leq 0,01$$

3.3. Vérification

Selon les services techniques d'urbanisme de la wilaya de Blida et les recommandations sur les lotissements [7], il faut procéder aux vérifications suivantes:

- Distance façade principale axe voirie $\geq h/2$.
- Distance entre façades des bâtiments $\geq h$.
- Largeur trottoir selon tableau 4.
- Largeur voirie de desserte sans stationnement selon tableau 5.

$l \geq 5$ m	pour	$d \leq 20$ logts
$5 < l \leq 5,5$ m	pour	$20 < d \leq 30$ logts
$5,5 < l \leq 6$ m	pour	$30 < d \leq 50$ logts
$6 < l \leq 7$ m	pour	$50 < d \leq 70$ logts
$7 < l \leq 8$ m	pour	$70 < d \leq 80$ logts
$8 \leq l < 9$ m	pour	$80 \leq d \leq 100$ logts
$l \geq 10$ m	pour	$d > 100$ logts

Tableau 4 : Largeur des trottoirs pour zone résidentielle

$l \geq 1$ m	pour	$d \leq 20$ logts
$1 < l \leq 1,5$ m	pour	$20 < d \leq 35$ logts
$1,5 < l \leq 2$ m	pour	$35 < d \leq 50$ logts
$2 < l \leq 2,5$ m	pour	$50 < d \leq 70$ logts
$2,5 < l \leq 3$ m	pour	$70 < d \leq 80$ logts
$3 < l \leq 3,5$ m	pour	$80 < d \leq 100$ logts
$l \geq 4$ m	pour	$d > 100$ logts

Tableau 5 : Largeur de la voirie pour zone résidentielle

4. RESOLUTION NUMERIQUE DE LA TRAME PLANE ORTHOGONALE

La résolution concerne la trame illustrée par la figure 3.

4.1. Dimensionnement

- Modélisation de la surlargeur (L_0) des plates formes et de la largeur voirie + trottoirs (A).

$$L_0 = 3,5 - 2,7 / n \quad A = 5 + 3 \sqrt{n}$$

- Modélisation des espaces :

- e : emprise d'un logement
- E : emprise d'un bâtiment
- m : nombre de bâtiments
- $L \times l$: dimensions bloc
- ass : assiette d'un bloc
- x : nombre de logements par niveaux
- y : nombre d'habitants par logement
- N : nombre de logements dans un bloc
- $(L + 2 \cdot l_0) (l + 2 \cdot l_0)$: surface d'une plate-forme
- N_T : nombre de logements dans une trame
- ASS : assiette de la trame
- E_T : emprise de la trame
- L_{vT} : longueur voirie totale de la trame

- Surface totale stationnement dans une trame :

$$S_{st} = S_{st} = s_{st} \cdot K_v \cdot N_T = s_{st} \cdot K_v \cdot x \cdot m \cdot n$$
 (K_v : nombre de véhicules par logement)
- Surface totale espace vert dans une trame :

$$S_{ev} = s_{ev} \cdot N_T \cdot y = s_{ev} \cdot x \cdot y \cdot m \cdot n ;$$

$$s_{ev} : \text{surface espace vert pour 1 habitant}$$

- Surface totale emprise de blocs dans une trame :
 $E_T = m \cdot E = m \cdot x \cdot e$
- Surface totale des plates formes dans une trame :
 $S_{pFT} = m(L + 2l_0) (1 + 2l_0)$
 $= m[L + 2(3,5 - 2,7/n)] [1 + 2(3,5 - 2,7/n)]$
- Surface totale de la voirie + trottoirs dans une trame (S_{VT}):

$$S_{VT} = 100 \sqrt{\frac{N_T}{d}} \left(\sqrt{k} + \frac{1}{\sqrt{k}} \right) \cdot T(5 + 3\sqrt{n}) = L_{VT} \cdot A = 100 \sqrt{\frac{N_T}{d}} K_f \cdot T \cdot A$$

Avec :

$$k = L_T / l_T ;$$

L_T et l_T dimensions de la trame ;

$$K_f : \text{coefficient de la forme} : K_f = \sqrt{k} + \frac{1}{\sqrt{k}}$$

N_T : nombre de logements dans une trame ;

d : densité de la trame.

T : coefficient de la taille = 1 à 2 (selon le nombre de trames à projeter).

3) Le coefficient d'emprise au sol :

$$C.E.S = \frac{E_T}{ASS} = \frac{m \cdot x \cdot e}{ASS}$$

4) La densité :

$$d = \frac{N_T}{ASS} 10000 = \frac{N_T}{ass} 10000 = \frac{N_T}{E} 10000 = \frac{N_T \cdot CES}{E} 10000$$

$$= \frac{x \cdot m \cdot CES}{x \cdot e} 10000 = \frac{n \cdot CES}{e}$$

5) Le système d'équations :

$$\begin{cases} CES = \frac{E_T}{ASS} = \frac{m \cdot x \cdot e}{ASS} \\ d = \frac{n \cdot CES}{e} 10000 \end{cases}$$

6) Présentation du programme :

ALGORITHME ;

VAR i, n, N_T : **ENTIER**

$A, ASS, d_0, d_1, L_{VT}, S_{VT}, S_{pf}, S_{sb}, S_{evT}, CES, d_{min}, L_T, l_T, Taille$: **REEL**

DEBUT

ECRIRE('Introduire le nombre de niveaux n :')

LIRE(n);

ECRIRELIGNE('Introduire la taille d'agglomération (1.Infinité trames 2.Nbre moyen trames 3.Nbre réduit trames) :')

LIRE(Taille)

$i \leftarrow 1$

TANTQUE $i \leq n$ **FAIRE**

DEBUT

$d_1 \leftarrow 100$

$N_T \leftarrow 12i$

$L_0 \leftarrow 3,5 - (2,7/i)$

$S_{pf} \leftarrow (25 + 2L_0) \times (10 + 2L_0)$

$$S_{pFT} \leftarrow 6S_{pf}$$

$$A \leftarrow 5 + 3i$$

$$S_{evT} \leftarrow 360i$$

$$S_{st} \leftarrow 180i$$

$$d_{min} \leftarrow 2L_0 + S_{evT}/[3(25+2L_0)]$$

$$l_T \leftarrow 2(10 + L_0) + d_{min} + A$$

$$L_T \leftarrow 3(25 + 2L_0) + A + S_{st}/l_T$$

$$k_f \leftarrow 1/(L_T/l_T + l_T/l_T)$$

REPETER

$$d_0 \leftarrow dI$$

$$L_{VT} \leftarrow 100 N_T/d_0 \times k_f \times \text{taille}$$

$$S_{VT} \leftarrow L_{VT} \times A$$

$$ASS \leftarrow S_{pFT} + S_{evT} + S_{st} + S_{VT}$$

$$CES \leftarrow 1500/ASS$$

$$d_1 \leftarrow (10000 i \times CES)/125$$

JUSQU'A $|d_1 - d_0| \leq 0,01$

$$d_0 \leftarrow dI$$

$$L_{VT} \leftarrow 100 N_T/d_0 \times k_f \times \text{taille}$$

$$S_{VT} \leftarrow L_{VT} \times A$$

$$ASS \leftarrow S_{pFT} + S_{evT} + S_{st} + S_{VT}$$

$$CES \leftarrow 1500/ASS$$

$$d \leftarrow d_0$$

AFFICHER les résultats sous forme de tableaux

Tableau 1 : ($i, N_T, d, N_T/d, L_{VT}, S_{VT}, CES, ASS, k_f, L_T, l_T, L_T + l_T$);

Tableau 2 : ($i, d_{min}, L_{VT}/d, L_{VT}/N_T, 100S_{VT}/ASS, 100S_{evT}/ASS, 100S_{st}/ASS, 100S_{pFT}/ASS$);

4.2. Résultats de l'exemple

La résolution de l'exemple de la trame plane orthogonale représentée par la figure 2 permet de déterminer ses propres caractéristiques urbanistiques et géométriques en fonction de la taille et du nombre d'étages. Les figures 4, 5, 6 et 7 illustrent le coefficient d'emprise au sol, la densité en logements, la longueur voirie totale et le ratio longueur voirie totale / densité en logement d'une trame.

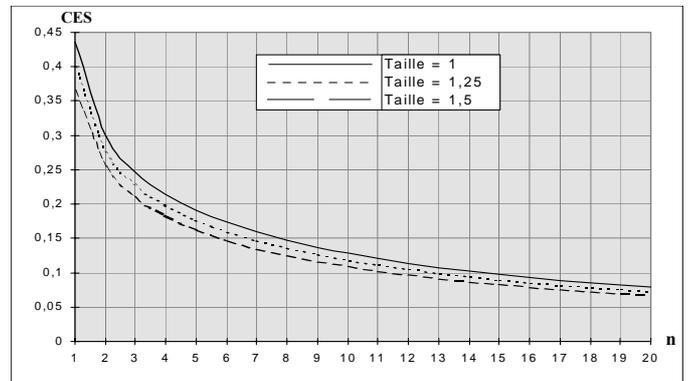


Figure 4 : Graphe du coefficient d'emprise (CES) en fonction du nombre de niveaux (n) et de la taille (T).

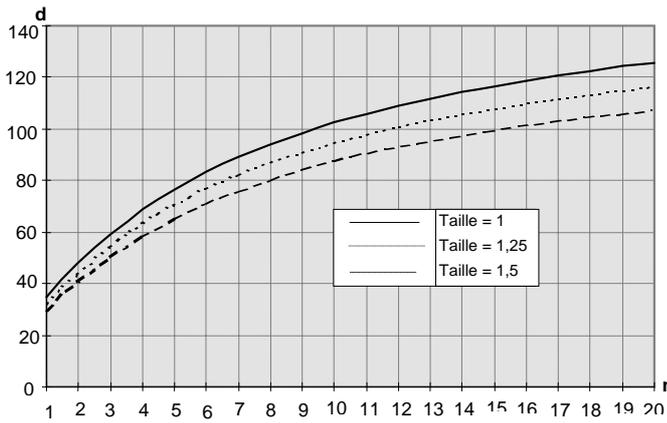


Figure 5 : Graphe de la densité (d) en fonction du nombre de niveaux (n) et de la taille (T)

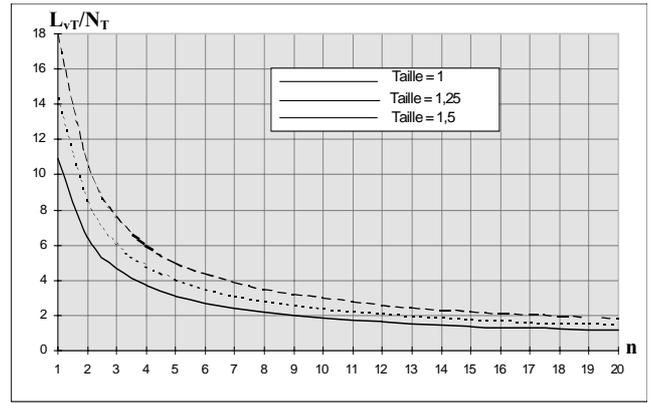


Figure 7 : Graphe du rapport L_{vT}/N_T (Longueur voirie totale / Nombre total de logements) en fonction du nombre de niveaux (n) et de la taille urbaine (T)

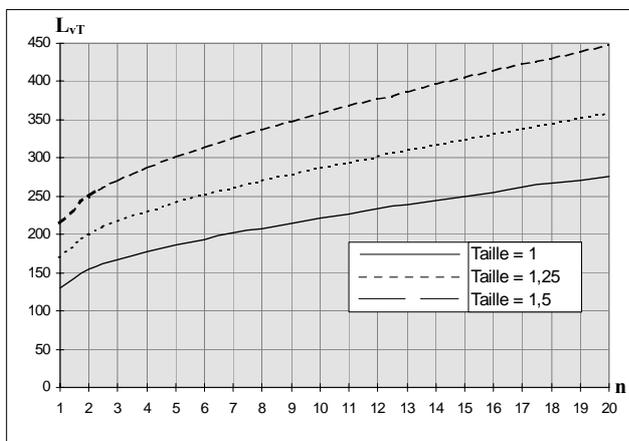


Figure 6 : Graphe de la longueur voirie totale L_{vT} en fonction du nombre de niveaux (n) et de la taille urbaine (T)

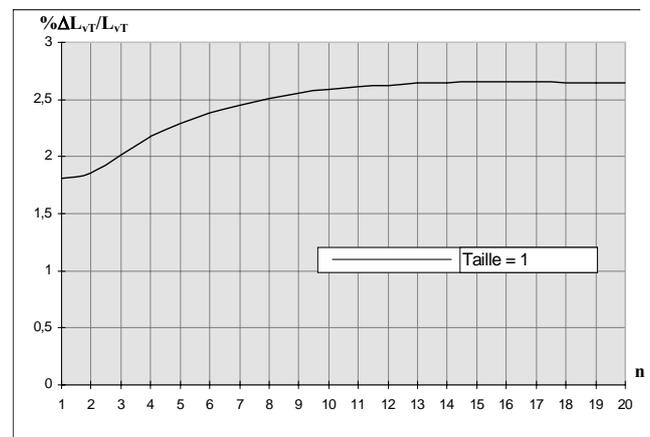


Figure 8 : Erreur relative (en %) entre la longueur voirie totale réelle ($L_{vT} = L_T + l_T$) et la longueur voirie totale équivalente $L_{vT} = 100 N_T / d \sqrt{K_f} \cdot T$

5. DISCUSSION

La longueur de la voirie est une conséquence de la conception et elle ne peut être évaluée qu'après avoir établi l'esquisse de la trame et le schéma du plan directeur. Néanmoins les valeurs calculées à l'aide des formules avancées par le présent modèle donnent de bons résultats. Le graphe de la figure 8 illustre les erreurs relatives faites sur les longueurs totales de voirie calculées par la formule et les longueurs de voirie réelles en fonction du nombre d'étages.

La comparaison des valeurs du coefficient d'emprise (CES) et de la densité (d) obtenues sur des cas réels avec celles obtenues par le présent modèle donne un erreur de 2% pour les lotissements (R+1) et elle diminue proportionnellement au nombre de niveaux (n) pour devenir très négligeable au delà de cinq niveaux (R+4).

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

La démarche adoptée initialement a permis la concrétisation d'une modélisation de la densification seulement dans le cas relativement simple des trames planes orthogonales.

La maîtrise de la densification des trames planes orthogonales permet une évaluation de la densification des autres types de trames. En effet, toute trame peut être réduite à une trame plane orthogonale équivalente. Le modèle reste ouvert à l'implémentation de nouvelles données spatiales relatives à l'occupation des sols et au nombre de bâtiment à planter.

Cette modélisation a permis d'obtenir une optimisation de la densité urbaine en fonction des coûts du foncier, du bâti et de la réseautique [3].

REFERENCES

- [1]- YANNICK Herlem. Le grand dictionnaire encyclopédique Larousse. Edition 1997, Paris. 1999.
- [2]- RONGEOT Gérard. Les tissus urbains : Colloque international, du 1 au 3 décembre 1987 à Oran, Algérie, page 48.
- [3]- EL KECHEBOUR B. Contribution à la modélisation de la conception de la densification : Cas de la trame plane orthogonale. Thèse de Magister, Ecole polytechnique d'architecture et d'urbanisme (EPAU), El-harrach, Alger 1997.

- [4]- ZUCHELLI Alberto. Introduction à l'urbanisme opérationnel et à la composition urbaine, Volume 1, 428 pages. Ed. O.P.U., Alger 1983.
- [5]- ZUCHELLI Alberto. Introduction à l'urbanisme opérationnel et à la composition urbaine, Volume 2, 481 pages. Ed. O.P.U., Alger 1983.
- [6]- ZUCHELLI Alberto. Introduction à l'urbanisme opérationnel et à la composition urbaine, Volume 3, 480 pages. Ed. O.P.U., Alger 1983.

Remerciements

Les Auteurs tiennent à remercier Messieurs NAIT SAADA et BOULOUZA, Responsables au Ministère de l'Urbanisme et de la Construction pour avoir prêté attention à ce travail et pour leurs recommandations auprès des Bureaux d'études, les urbanistes travaillant dans les services techniques de la Direction de l'Urbanisme de la ville de Blida et les collègues du Centre National d'Etudes et de Recherche en Urbanisme (CNERU). Les auteurs rendent hommage au Docteur Alberto ZUCHELLI de l'Université de Napoli (Italie) qui a enseigné à l'Ecole Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme de la Ville d'Alger de 1977 à 1983.