

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE  
« HOUARI BOUMEDIEN »  
FACULTE DE GENIE CIVIL



**THESE**

**Présentée pour l'obtention du diplôme de doctorat**

**En : GENIE CIVIL**

**Spécialité : CONSTRUCTION**

**Par : EL KECHEBOUR Boualem**

**Thème**

***MODELISATION DE LA CONCEPTION DE LA DENSIFICATION  
DES TRAMES PLANES ORTHOGONALES (Environnement C.A.O) :  
Espace, Site et Coûts***

**Soutenue publiquement le 05/04/2010 devant le Jury composé de :**

- |  |                    |
|--|--------------------|
| - M. BENOUAR Djilali, Professeur à l'USTHB :                                       | Président          |
| - M. NECHNECH Ammar, Maître de Conférences A à l'USTHB :                           | Directeur de thèse |
| - M. BRAHIMI Kouider, Professeur à l'USTO :  | Examineur          |
| - M. TELLER Jacques, Professeur à l'Université de Liège, Belgique :                | Examineur          |
| - M. BOUKHALED Ahmed, Maître de Conférences A à l'USTHB :                          | Examineur          |
| - M. CHADLI Mohammed, Maître de Conférences A à l'USTHB :                          | Examineur          |
| - M. BOUDER Abdelmadjid, Maître de Conférences A à l'USTHB :                       | Examineur          |
| - M. BEDROUNI Mohamed, Maître de Conférences A à l'Université Saad DAHLAB, Blida : | Examineur          |

## RESUME

L'objectif de nos travaux est l'élaboration d'un modèle d'études d'une trame plane orthogonale qui tient compte de la densité urbaine et des aménagements de type mur de soutènement et talus. Il s'agit de proposer un outil d'aide à la conception de la densification urbaine permettant d'optimiser les solutions proposées en termes de coûts et de cohérence et de réaliser un gain de temps d'études.

Nous commençons par analyser le processus de la densification urbaine d'une trame à partir des données normatives du ministère de l'habitat algérien et de connaissances d'experts nationaux et internationaux ainsi que les contraintes qui se posent à la conception.

Nous établissons les relations de contraintes-impacts sur la densification selon la classification suivante : contraintes rigides, semi-rigides, souples et de soutènement. Certaines relations sont déduites à partir de connaissances interdisciplinaires, tandis que d'autres sont le résultat d'un travail personnel.

Nous posons ces relations sous la forme d'équations mathématiques formant un système relationnel dans lequel les principales variables sont la densité, les caractéristiques géométriques et urbanistiques de la trame plane orthogonale, les caractéristiques d'implantation des bâtiments et des différents ouvrages d'accompagnement et les coûts de l'ensemble des éléments de la composition urbaine. La résolution du système de relations corrélatives est formulée par un système d'équations et repose essentiellement sur la densité urbaine. L'optimisation se fait à l'aide d'une suite d'itérations successives et elle nécessite un programme de calculs automatisés.

Nous terminons par la présentation de la démarche de résolution et l'élaboration d'un logiciel qui permet le prédimensionnement de la densité urbaine, l'implantation des bâtiments en fonction des talus, la détermination des coûts du mètre linéaire talus et mur de soutènement et l'aide de la prise de décisions économiques pour faire un choix entre ces deux derniers.

## **REMERCIEMENTS**

*Je remercie Monsieur **NECHNECH Ammar** pour m'avoir aidé à finaliser cette thèse, et Monsieur **NAIT SAADA**, Directeur général de l'urbanisme au Ministère de l'habitat et de l'urbanisme, pour la mise à ma disposition des documents relatifs à la densité urbaine et les recommandations auprès des différents organismes chargés de l'urbanisme.*

*Je tiens également, à rendre hommage à Monsieur feu **Nadir LARADI**, Professeur à la Faculté de Génie Civil de l'Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumédiène (USTHB) de Bab Ezzouar, Alger, pour m'avoir encouragé à commencer ce travail de recherche et de m'avoir encadré de 1998 à 2007, et à exprimer ma gratitude envers Monsieur **Tahar BAOUNI** qui m'a accompagné de 1994 à 1997 pour la préparation et la soutenance de mon magister à l'Ecole Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme (EPAU) d'El Harrach, Alger .*

## **DEDICACES**

*Ce travail est dédié à :*

- *Mes parents,*
- *Ma famille,*
- *Mes amis.*

## SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	<b>1</b>
<b>PREMIERE PARTIE: ANALYSE DES ETUDES DE LA DENSIFICATION</b> .....	<b>7</b>
<b>CHAPITRE I: LES INSTRUMENTS D'URBANISME ET LE PLAN DE MASSE</b> .....	<b>8</b>
I.1/ GENERALITES SUR LES PLANS-MASSES .....	8
I-1-1/ Historique du Plan de Masse .....	8
I-1-2/ Des différents types de plan-masse .....	9
I-2/ L'URBANISME ET LE PLAN-MASSE.....	10
I-2-1/ Un outil spécifique de la planification .....	10
I-2-2/ Le plan de masse: une planification dynamique .....	11
I-2-3/ Le projet d'aménagement : règle d'urbanisme en Allemagne.....	13
I-3/ LE PLAN DE MASSE UNE EXCEPTION JURIDIQUE .....	13
I-3-1/ Les documents graphiques dans le POS.....	13
I-3-2/ Le document graphique supplante le règlement.....	13
I-3-3 Une Technique d'aménagement urbain.....	15
CONCLUSION .....	16
<b>CHAPITRE II : CONTEXTE DE L'ETUDE</b> .....	<b>17</b>
II-1/ PROCESSUS DE LA CONCEPTION DE LA DENSIFICATION : .....	17
II-2/ FINALITE ET ELEMENTS DE LA CONCEPTION DE LA DENSIFICATION .....	21
II-2-1/ Finalité de la densification : .....	21
II-2-2/ Eléments de la densification : .....	21
II-3/ ASPECT EVOLUTIF ET MULTIDISCIPLINAIRE DE LA CONCEPTION DE LA DENSIFICATION: .....	22
II-3-1/ Aspect évolutif de la conception : .....	23
II-3-2/ Aspect multidisciplinaire de la conception de la densification : .....	23
II-4/ INSTRUMENTS DE LA DENSIFICATION .....	24
II-5/ Principales tâches d'un urbaniste .....	25
<b>CHAPITRE III: ANALYSE DES COMPOSANTES DE LA DENSIFICATION</b> .....	<b>26</b>
III-1/ DEFINITION DE LA DENSIFICATION .....	26
III-2/ IDENTIFICATION DES COMPOSANTES DE LA DENSIFICATION .....	26
III-3/ LES FORMULES DE LA DENSIFICATION.....	28
III-4/ ANALYSE DES FORMULES DE LA DENSIFICATION .....	29
III-4-1/ Surface stationnement .....	29
III-4-2/ Espace vert : .....	30
III-4-3/ Le CES : .....	32
III-4-4/ La densité en logements.....	33
III-5/ IMPLANTATION DES ESPACES AU SEIN D'UNE TRAME PLANE ORTHOGONALE .....	34
III-5-1/ Implantation des parkings et dimensions de la trame .....	34
III-5-2/ Implantation des espaces verts et dimensions de la trame .....	34
III-5-3/ Emplacement des bâtiments au sein d'une trame .....	35
III-5-4/ Evaluation des espaces.....	35
<b>CHAPITRE IV: IDENTIFICATION ET ANALYSE DES CONTRAINTES A LA DENSIFICATION</b> .....	<b>38</b>
IV-1/ IDENTIFICATION DES CONTRAINTES.....	38
L'identification des contraintes a nécessité, en dehors de notre propre expérience dans le domaine de la viabilisation, des consultations auprès de différents organismes et professionnels.....	38
IV-1-1/ Consultations : .....	38
IV-1-2/ Informations recensées : .....	38
IV-2/ CLASSIFICATION DES CONTRAINTES EN FONCTION DE LEURS ORIGINES.....	38
IV-2/ ANALYSE DES CONTRAINTES : .....	39
IV-2-1/ Réglementation et normes d'évaluation et d'occupation des espaces .....	39

IV-2-2/ Le cahier des charges .....	40
IV-2-3/ Les données du site .....	40
IV-2-4/ Les coûts .....	40
IV-2-5/ Les contraintes techniques.....	40
IV-2-6/ Classification des contraintes selon leurs natures.....	41
CONCLUSION .....	41
<b>CONCLUSION DE LA PREMIERE PARTIE.....</b>	<b>41</b>
<b>DEUXIEME PARTIE : IDENTIFICATION DES RELATIONS CONTRAINTES/IMPACTS SUR LA DENSIFICATION.....</b>	<b>43</b>
<b>CHAPITRE V: RELATIONS CONTRAINTES RIGIDES/IMPACTS SUR LA DENSIFICATION .....</b>	<b>44</b>
V-1 : RELATIONS ENTRE LES NORMES DE LA DENSIFICATION ET LA DENSITE EN LOGEMENTS .....	44
V-1-1 : Relation Densité/Ratio d'évaluation des espaces.....	44
V-1-2 : Relation densité/hauteur maximale des bâtiments.....	45
V-2 : RELATIONS ENTRE LES PRESCRIPTIONS DU CAHIER DES CHARGES ET LA DENSIFICATION .....	46
V-3 : RELATION ENTRE LA PORTANCE DU SOL ET LA DENSITE .....	46
V-4/ IMPLANTATION DES BATIMENTS.....	48
V-4-1/ Analyse de l'interaction talus-bâtiment .....	49
V-4-2/ Détermination de la distance minimale $L_{\min}$ (Figure V-4-a et V-4-d).....	51
V-5/ DETERMINATION DE LA PENTE (FIGURE V-4-A ET FIGURE V-4-D).....	51
CONCLUSION .....	56
<b>CHAPITRE VI: RELATIONS CONTRAINTES SEMI-RIGIDES/IMPACTS SUR LA DENSIFICATION.....</b>	<b>57</b>
VI-1/ RELATION ENTRE LE COUT DU FONCIER D'UN LOGEMENT ET LE NOMBRE DE NIVEAUX.....	57
VI-2/ RELATION ENTRE LE COUT CONSTRUCTION D'UN LOGEMENT EN ELEVATION ET LE NOMBRE DE NIVEAUX : .....	58
VI-3/ RELATION ENTRE LE COUT DE LA VIABILISATION RELATIF A UN LOGEMENT EN ELEVATION ET LE NOMBRE DE NIVEAUX : .....	59
VI-4/ EXEMPLE D'ETUDES DES COUTS D'UN LOGEMENT EN ELEVATION : .....	62
<b>CHAPITRE VII: RELATIONS CONTRAINTES SOUPLES/IMPACTS SUR LA DENSIFICATION.....</b>	<b>64</b>
VII-1/ RELATION CONTRAINTES D'IMPLANTATION ET CUBATURE DE TERRASSEMENT .....	64
VII-1-1/ Implantation des plates-formes des bâtiments.....	64
VII-1-2/ Implantation des voiries .....	65
VII-2/ RELATION CONTRAINTES D'ÉCOULEMENT DES EAUX DE SURFACE ET LA DENSIFICATION : .....	66
VII-2-1/ Relation entre les réseaux assainissement et voirie et la trame .....	66
VII-2-2/ Relation entre le point de rejet et l'espace urbanisable.....	68
VII-2-3/ Relation entre la condition écoulement des eaux et les dimensions de la trame : .....	69
VII-3/ RELATION ENTRE LA CONTRAINTES CIRCULATION MECANIQUE ET LA DENSIFICATION.....	70
VII-3-1/ Impact de la minimisation longueur voirie sur la densification.....	70
VII-3-2/ Impact du trafic local sur la taille d'une zone urbaine et le nombre d'accès .....	71
VII-3-4/ Impact sur les carrefours ou noeuds .....	75
VII-4/ RELATION ENTRE LE STATIONNEMENT MECANIQUE ET LA DENSIFICATION : .....	77
VII-4-1/ Mode de stationnement.....	77
VII-4-2/ Impact du parking centralisé sur un ensemble de trames .....	78
VII-4-3/ L'emplacement des parkings.....	79
VII-4-4/ Implantation du parking par rapport à la topographie.....	79
CONCLUSION .....	79
<b>CHAPITRE VIII: RELATION CONTRAINTES LONGUEUR VOIRIE/IMPACT SUR LA DENSIFICATION.....</b>	<b>80</b>
VIII-1/ INFLUENCE DE LA FORME DE LA TRAME ( $K=L_T/L_T$ ) SUR LA LONGUEUR VOIRIE TOTALE : .....	80
VIII-2/ : INFLUENCE DE LA TAILLE URBAINE (NOMBRE DE TRAME) SUR LA LONGUEUR TOTALE VOIRIE RELATIVE A UNE TRAME : .....	81
VIII-3/ DETERMINATION DE LA LONGUEUR VOIRIE TOTALE D'UNE TRAME EN FONCTION DE LA TAILLE AGGLOMERATION (T) .....	84
CONCLUSION .....	86

<b>CHAPITRE IX: SOUTÈNEMENT : TALUS ET MURS .....</b>	<b>88</b>
<i>IX-1/ DEFINITION ET PRESENTATION DU DOMAINE D'ETUDE.....</i>	<i>89</i>
<i>IX-2/ FINALITE DES OUVRAGES DE SOUTÈNEMENT.....</i>	<i>91</i>
<i>IX-2/ CONSTRUCTION ET RESOLUTION DU PROBLEME.....</i>	<i>91</i>
<i>IX-3/ RESOLUTION DU PROBLEME .....</i>	<i>92</i>
<i>IX-4/ DETERMINATION DES COUTS MOYENS: .....</i>	<i>93</i>
<i>IX-5/ EXEMPLES DE CALCULS DES COUTS .....</i>	<i>94</i>
<b>CONCLUSION DE LA DEUXIEME PARTIE.....</b>	<b>95</b>
<b>TROISIEME PARTIE: LA CONCEPTION ASSISTEE PAR ORDINATEUR, LA PROGRAMMATION ORIENTEE OBJET, DEMARCHE DE RESOLUTION, PRESENTATION DU LOGICIEL « URBAN DESIGN » ET EXEMPLE D'ETUDES D'UNE TRAME.....</b>	<b>97</b>
<b>CHAPITRE X: LA CONCEPTION ASSISTEE PAR ORDINATEUR.....</b>	<b>98</b>
<i>X-1/ LES LOGICIELS POUR LA C.A.O. ....</i>	<i>98</i>
<i>X-1-1/ Les systèmes de gestion de base de données.....</i>	<i>99</i>
<i>X-1-2/ Les logiciels graphiques.....</i>	<i>99</i>
<i>X-1-2/ Les fonctions de calcul.....</i>	<i>100</i>
<i>X-2/ LES PROBLEMES ECONOMIQUES.....</i>	<i>101</i>
<i>X-3/ LES PROBLEMES SOCIAUX .....</i>	<i>102</i>
<i>X-4/ LES PRINCIPAUX DOMAINES D'APPLICATION.....</i>	<i>102</i>
<i>X-5/ CRISE ET CYCLE DE VIE DES LOGICIELS.....</i>	<i>104</i>
<i>X-5-1/ La crise du logiciel.....</i>	<i>104</i>
<i>X-5-2/ Cycle de vie du logiciel.....</i>	<i>105</i>
<i>X-2. LE GENIE LOGICIEL .....</i>	<i>107</i>
<i>X-2-1/ Objectifs du génie logiciel.....</i>	<i>107</i>
<i>X-2-2/ Capacité de modification .....</i>	<i>107</i>
<i>X-2-3/ Efficacité .....</i>	<i>108</i>
<i>X-2-4/ Fiabilité.....</i>	<i>108</i>
<i>X-2-5/ Compréhensibilité.....</i>	<i>108</i>
<i>X-2-6. Principes du génie logiciel.....</i>	<i>109</i>
<i>CONCLUSION .....</i>	<i>110</i>
<b>CHAPITRE XI- LA CONCEPTION ORIENTEE OBJET.....</b>	<b>112</b>
<i>XI-1 LES GRANDS PRINCIPES DE LA CONCEPTION ORIENTEE OBJET (C.O.O.).....</i>	<i>112</i>
<i>XI-1-1/ Objets.....</i>	<i>112</i>
<i>XI-1-2/ Opérations .....</i>	<i>112</i>
<i>XI-1-3/ Visibilité.....</i>	<i>113</i>
<i>XI-1-4/ Interfaces : .....</i>	<i>113</i>
<i>XI-1-5/ Implémentation des objets : .....</i>	<i>113</i>
<i>XI-2 PROGRAMMATION ORIENTEE OBJET (POO).....</i>	<i>113</i>
<i>XI-2-1/ Classes.....</i>	<i>113</i>
<i>XI-2-2/ Propriétés .....</i>	<i>114</i>
<i>XI-2-3/ Héritage.....</i>	<i>115</i>
<i>XI-3/ L'INTERFACE GRAPHIQUE UTILISATEUR .....</i>	<i>115</i>
<i>XI-3-1/Prototypage et développement rapide .....</i>	<i>115</i>
<i>XI-3-2/Priorité à l'utilisateur.....</i>	<i>116</i>
<i>XI-3-3/ L'utilisateur a le contrôle .....</i>	<i>116</i>
<i>XI-3-4/ Etre direct.....</i>	<i>117</i>
<i>XI-3-5/ La cohérence.....</i>	<i>117</i>
<i>XI-3-6/ Etre magnanime.....</i>	<i>118</i>
<i>XI-3-7/ Du répondant.....</i>	<i>118</i>
<i>XI-3-8/ De l'esthétique.....</i>	<i>118</i>
<i>XI-3-9/ De la simplicité.....</i>	<i>118</i>
<i>XI-4/ CONCEPTION CENTREE SUR LES DONNEES.....</i>	<i>119</i>
<i>XI-5/ CHOIX D'UN MODELE POUR UNE APPLICATION.....</i>	<i>119</i>
<i>CONCLUSION .....</i>	<i>120</i>

<b>CHAPITRE XII: DEMARCHE DE RESOLUTION ET PRESENTATION DU LOGICIEL « URBAN DESIGN »</b> .....	<b>121</b>
XII-1 DEMARCHE DE RESOLUTION.....	121
XII-1-1/ Densification sans contraintes d'élimination et sans optimisation des coûts.....	122
XII-1-2/ Densification sans contraintes d'élimination des solutions non admissibles, mais avec contraintes d'optimisation des coûts.....	125
XII-1-3/ Densification avec contrainte d'élimination des solutions non admissibles et contraintes d'optimisation.....	127
XII-1-4/ Densification dans le cas général.....	127
XII-1-5/ Implantation d'un bâtiment en fonction de la stabilité des talus.....	127
XII-1-6/ Etudes des coûts de soutènement et choix entre talus et mur.....	128
XII-2/ PRESENTATION DU LOGICIEL URBAN DESIGN.....	129
XII-2-1/ Définition et description.....	129
XII-2-2/ Arborescence des programmes.....	129
XII-2-3/ Presentation des programmes.....	129
<b>CHAPITRE XIII: EXEMPLE D'ETUDES DE LA DENSIFICATION D'UNE TRAME PLANE ORTHOGONALE</b> .....	<b>171</b>
XIII-1/ PRESENTATION DU SCHEMA DE L'EXEMPLE.....	171
XIII-2/ EXEMPLE SANS CONTRAINTES :.....	172
XIII-3/ EXEMPLE AVEC CONTRAINTES DES COUTS ET OPTIMISATION :.....	173
XIII-4 / GRAPHES DE L'EXEMPLE SANS CONTRAINTES.....	174
XIII-5 / GRAPHES DE L'EXEMPLE AVEC CONTRAINTES DES COUTS ET OPTIMISATION.....	184
CONCLUSION.....	193
<b>CONCLUSION DE LA TROISIEME PARTIE</b> .....	<b>194</b>
<b>CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES</b> .....	<b>195</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	<b>196</b>

## Liste des figures

- Figure II-1. Les phases du processus de conception architecturale.
- Figure II-2. Les phases du processus de conception de la densification.
- Figure II-3. Représentation de l'acte de concevoir pour un niveau de processus.
- Figure II-4. Variation des actions et des contraintes de conception en fonction de la phase de conception.
- Figure II-5. Décomposition des fonctions et des éléments espaces de la densification.
- Figure II-6. Interactions entre les fonctions et les champs disciplinaires durant le processus des études de la densification.
- Figure III-1. Relation surface stationnement en fonction du nombre de niveaux ou de la hauteur.
- Figure III-2. Relation surface espaces verts en fonction du nombre de niveaux ou de la hauteur.
- Figure III-3. Schéma d'une trame plane orthogonale  $R + n$ .
- Figure III-4. Graphe représentant la relation largeur trame en fonction du nombre de niveaux ou de la hauteur.
- Figure III-5. Relation longueur voirie totale de la trame en fonction du nombre de niveaux ou de la hauteur.
- Figure III-6. Relation surface voirie totale de la trame en fonction du nombre de niveaux ou de la hauteur.
- Figure III-7. Surface assiette de la trame en fonction du nombre de niveaux ou de la hauteur.
- Figure III-8. Coefficient d'emprise au sol (CES) de la trame en fonction du nombre de niveaux ou de la hauteur.
- Figure III-9. Densité en logements de la trame en fonction du nombre de niveaux ou de la hauteur.
- Figure III-30. Emplacement des parkings au sein d'une trame orthogonale.
- Figure III-11. Emplacement des espaces verts au sein d'une trame orthogonale.
- Figure III-12. Emplacement des bâtiments au sein d'une trame orthogonale.
- Figure V-1. Relation densité/assiette en fonction des valeurs extrêmes des normes.
- Figure V-2. Relation densité/ $h_{max}$  des bâtiments.
- Figure V-3. Relation portance du sol/nombre de niveaux des bâtiments.
- Figure V-4. Schémas représentant l'emprise d'un bâtiment en fonction du talus.
- (a) Talus naturel sans surcharge.
  - (b) Talus naturel avec surcharge  $P = k \cdot n_{max} \cdot p = k \cdot \bar{\sigma}_s$
  - (c) Position talus emprise bâtiment avec  $L_{emin} = 0$ .
  - (d) Position talus emprise bâtiment avec  $L_{emin} > 0$
- Figure V-5. Relation entre l'angle du talus et le nombre de niveaux  $n_{max}$  ou bien la portance du sol dans le cas où la distance  $L_{emin}$  est nulle.
- Figure V-6. Pente d'un talus en fonction de la charge  $P_{max}$  ou bien de  $n_{max}$ , dans le cas où  $L_{emin} = 0$  et  $H_0 = 1m$
- Figure VI-1. Relation entre le coût du foncier relatif à un logement et le nombre de niveaux  $n$ .
- Figure VI-2. Relation entre le coût Construction d'un logement en élévation et le nombre de niveaux.
- Figure VI-3. Relation entre le coût de la viabilisation d'un logement en élévation et le nombre de niveaux.
- Figure VI-4. Antagonisme entre le coût de la construction et ceux du foncier et de la viabilisation relatifs à un logement en élévation.
- Figure VII-1. Implantation d'une plate-forme (vue en plan et coupe transversale) en fonction des courbes.
- Figure VII-2. Disposition des plates-formes de bâtiments en fonction des courbes de niveaux.
- Figure VII-3. Tracé en plan d'une voirie
- Figure VII-4. Profil en long d'une voirie.
- Figure VII-5. Forme urbaine linéaire pouvant s'étaler d'une manière infinie.
- Figure VII-6. Premier cas de tramage : Cas d'un terrain plat  $L_T \rightarrow \infty$
- Figure VII-7. Deuxième cas de tramage : Cas d'un terrain plat  $L_{max} = 200 m$
- Figure VII-8. Troisième cas de tramage : Cas d'un terrain accidenté  $L \rightarrow \infty$ .
- Figure VII-9. Délimitation du bassin urbanisable.

Figure VII-10. Réseau maillé formant des trames orthogonales compactes.

Figure VII-11. Réseau ramifié sans trames formant des îlots isolés compactes ou éclatés.

Figure VII-12. Réseau linéaire sans trames formant une succession d'îlots compactes

Figure VII-13. Réseau semi-ramifié ou semi-maillé formant une super trame compacte composée d'îlots à l'intérieur.

Figure VII-14. Circulation de véhicules en procession.

Figure VII-15. Taille d'une zone résidentielle en fonction du débit d'un accès.

Figure VII-16. Répartition du débit issu d'un seul accès.

Figure VII-17. Emplacement d'un point d'accès en fonction d'une direction à forte gravitation.

Figure VII-18. Rayon d'influence du parking centralisé.

Figure VII-19. Emplacement d'un parking centralisé.

Figure VIII-1. variation du coefficient de la forme ( $K_f$ ) en fonction du rapport  $k$  ( $k=L_T/t l_T$ )

Figure VIII-2. Disposition d'un ensemble de  $i$  trames carrées agencées sur deux rangées.

Figure VIII-3. Disposition d'un ensemble composé de  $i$  trames carrées agencées sur trois rangées.

Figure VIII-4. Disposition d'un ensemble de  $i$  trames rectangulaires agencées sur deux rangées.

Figure VIII-5. Coefficient de la taille ( $T$ ) en fonction du nombre de trames ( $i$ ) et du nombre de rangées ( $r$ ).

Figure IX-1. Le type de mur de soutènement

Figure IX-2. Le talus

Figure IX-3. Coûts en fonction de la hauteur avec  $\text{tg}\phi = 1$

Figure IX-4. Coûts en fonction de la hauteur avec  $\text{tg}\phi = 0,5$

Figure XII-1. Le mur de soutènement

Figure XII-2: Schéma de l'arborescence des programmes

Figure XIII-1. Exemple de la trame plane orthogonale à étudier.

Figure XIII-2. Coefficient d'emprise (CES) en fonction du nombre de niveaux  $n$ : Cas sans contraintes.

Figure XIII-3. Densité  $d$  en fonction du nombre de niveaux  $n$ : Cas sans contraintes.

Figure XIII-4. Longueur voirie totale ( $L_{vT}$ ) en fonction du nombre de niveaux  $n$ : Cas sans contraintes.

Figure XIII-5. Ratio longueur voirie totale ( $L_{vT}$ ) / Nombre total de logements ( $N_T$ ) en fonction du nombre de niveaux  $n$ : Cas sans contraintes.

Figure XIII-6. Assiette de la trame (ASS) en fonction du nombre de niveaux  $n$ : Cas sans contraintes.

Figure XIII-7. Graphe du coefficient de la forme de la trame  $K_f$  en fonction du nombre de niveaux  $n$ : Cas sans contraintes.

Figure XIII-8. Pourcentage surface totale voirie/ Assiette en fonction du nombre de niveaux  $n$ : Cas sans contraintes.

Figure XIII-9. Pourcentage surface totale espaces verts/ Assiette en fonction du nombre de niveaux  $n$ : Cas sans contraintes.

Figure XIII-10. Pourcentage surface totale stationnement/ Assiette en fonction du nombre de niveaux  $n$ : Cas sans contraintes.

Figure XIII-11. Pourcentage surface totale des plates-formes/ Assiette en fonction du nombre de niveaux  $n$ : Cas sans contraintes.

Figure XIII-12. Coefficient d'emprise au sol (CES) en fonction du nombre de niveaux  $n$ : Cas avec contraintes.

Figure XIII-13. densité ( $d$ ) en fonction du nombre de niveaux  $n$ : Cas avec contraintes.

Figure XIII-14. Longueur voirie totale ( $L_{vT}$ ) en fonction du nombre de niveaux  $n$ : Cas avec contraintes.

Figure XIII-15. Ratio longueur totale voirie/ Nombre total de logements ( $L_{vT}/N_T$ ) en fonction du nombre de niveaux  $n$ : Cas avec contraintes.

Figure XIII-16. Assiette de la trame (ASS) en fonction du nombre de niveaux  $n$ : Cas avec contraintes.

Figure XIII-17. Coefficient de la forme de la trame ( $K_f$ ) en fonction du nombre de niveaux  $n$ : Cas avec contraintes.

Figure XIII-18. Pourcentage surface totale voirie/Assiette en fonction du nombre de niveaux  $n$ : Cas avec contraintes.

Figure XIII-19: Pourcentage surface totale espaces verts/ Assiette en fonction du nombre de niveaux n:  
Cas avec contraintes.

Figure XIII-20. Pourcentage surface totale stationnement/ Assiette en fonction du nombre de niveaux n:  
Cas avec contraintes.

Figure XIII-21. Graphe du pourcentage surface totale des plates-formes/ Assiette en fonction du nombre de niveaux n: Cas avec contraintes.

## Liste des tableaux

Tableau I-1. Nature des dispositions de répartition des sols

Tableau II-1. Principales tâches d'un urbaniste.

Tableau III-1. Composantes de la densification et valeurs recommandées.

Tableau III-2. Longueur voirie recommandée à donner à 1 logement.

Tableau III-3. Largeur minimale des voiries en fonction du stationnement.

Tableau III-4. Largeur des trottoirs

Tableau III-5. Largeur voirie de desserte sans stationnement

Tableau IV-1. Classification des contraintes en fonction de leurs natures.

Tableau IV-2. Classification des contraintes selon leurs origines.

Tableau V-1. Valeurs de la densité et de l'angle de repos pour quelques sols

Tableau V-2. Valeurs des pentes des talus dans le cas où la longueur équivalente  $L_{min} = 0$ .

Tableau V-3. Pentes des talus dans le cas où la longueur équivalente  $L_{min} = 0$  et  $P = k.P_{max}$  (sol sableux).

Tableau V-4. Pentes des talus dans le cas où la longueur équivalente  $L_{min} = 0$  et  $P = k.P_{max}$  (sol argileux sableu).

Tableau V- 5. Pentes des talus dans le cas où la longueur équivalente  $L_{min} = 0$  et  $P = P_{max} / k$  (sol argileux)

Tableau VI-1. Valeurs des coefficients  $\alpha$  et  $\beta$  relatifs à la topographie et à la dureté du sol

Tableau VI-2. Pourcentage (%) cout viabilisation en fonction de l'élévation et du cout construction du premier étage.

Tableau VI-3. Valeurs du pourcentage viabilisation en fonction du coût du m<sup>2</sup> construction du rez-de-chaussée et du nombre de niveaux.

Tableau VI-4. Exemple d'évaluation des coûts d'un logement en élévation.

Tableau VII-1. Mode de stationnement et nombre de places.

Tableau VIII-1. Erreur relative obtenue sur la longueur totale de la voirie.

Tableau IX- I. Résultats de l'enquête sur les coûts de réalisation en DA

Tableau IX-2. Résultats de l'enquête sur les coûts du foncier en zone urbaine en DA

Tableau IX-3. Calculs des coûts avec  $\phi = 45^\circ$ ;  $C_{ot} = 100$  DA;  $C_{ba} = 6500$  DA;  $C_{or} = 100$  DA;  $C_{of} = 3000$  DA

Tableau IX-4. Calculs des coûts avec  $\phi = 30^\circ$ ;  $C_{ot} = 100$  DA;  $C_{ba} = 6\ 500$  DA;  $C_{or} = 140$  DA;  $C_{ov} = 100$  DA;  $C_{of} = 3\ 000$  DA

Tableau XII-1. Comparaison des valeurs d'usage de la voirie (avec trottoirs) et des surlargeurs des plates formes avec les valeurs de la modélisation.

Tableau XII-2. Comparaison des coûts moyens d'un logement par tranche de plusieurs niveaux successifs : processus de l'optimisation.

## Symboles utilisés

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
$S_{pf} = (L + 2.l_0) (l + 2.l_0)$	: Surface d'une plate-forme
$N_T$	: Nombre de logements dans une trame
ASS	: Assiette de la trame
$E_T = m \cdot E$	: Emprise de la trame
$L_{VT}$	: Longueur voirie totale de la trame
$S_{st} = K_v \times s_{st}$	: Surface totale stationnement dans une trame
$K_v$	: Nombre de véhicules par logement
$s_{st}$	: Surface de stationnement d'un véhicule
n	: Nombre de niveaux
$S_{ev} = s_{ev} \cdot N_T \cdot y$	: Surface totale espace vert dans une trame
$s_{ev}$	: Surface espace vert pour 1 habitant
$S_{pff} = m(L + 2l_0)(l + 2l_0)$	: Surface totale des plates formes dans une trame
$S_{VT} = L_{VT} \cdot A$	: Surface totale de la voirie + trottoirs dans une trame
A	: Largeur de la voirie + trottoirs
T	: Taille agglomération.
d	: Densité en logements.
$k = L_T / l_T$	: Rapport entre la longueur et la largeur de la trame.
$L_T$ et $l_T$	: Dimensions de la trame.
$d_{min.} \geq h$	: Distance minimale entre deux façades de bâtiments.
$L_0$	: Sur largeur de la plate forme.
h	: Hauteur bâtiment.
$C_T(n) = C_f(n) + C_c(n) + C_v(n)$	: Coût total d'un logement en élévation
$C_f(n)$	: Coût de foncier relatif à un logement en élévation.
$C_c(n)$	: Coût construction relatif à un logement en élévation.
$C_v(n)$	: Coût viabilisation relatif à un logement en élévation.
$c_f$	: coût du $m^2$ foncier
$c_c(1)$	: coût du $m^2$ construction pour le rez-de-chaussée
$\Delta c$	: surcoût du $m^2$ construction en élévation

$c_v$	: Ratio du coût du m <sup>2</sup> de réalisation en fonction du coût de construction du rez-de-chaussée et du nombre de niveaux.
$\alpha$	: Caractéristique du relief.
$\beta$	: Caractéristique de la résistance du sol. (dureté)
$p$	: Charge totale d'un planché.
$\phi$	: Angle de repos d'un talus en remblais.
$\gamma$	: Masse volumique du sol.
$\bar{\sigma}$	: La portance du sol.

$$L_{VT} = 100 \sqrt{\frac{N_T}{d}} \cdot K_f \cdot T \quad : \text{Longueur totale de la voirie dans la trame.}$$

$$K_f = \sqrt{k} + \frac{1}{\sqrt{k}} \quad : \text{Coefficient de la forme de la trame.}$$

$$CES = \frac{E_T}{ASS} = \frac{m \cdot x \cdot e}{ASS} \quad : \text{Coefficient d'emprise au sol.}$$

$V_{ba}$  : Volume béton armé.

$V_r$  : Volume remblais drainé.

$C_{ot}$  : Coût du mètre cube terrassement,

$C_{ov}$  : Coût du mètre carré espace vert.

$C_{ba}$  : Coût du mètre cube béton armé,

$C_r$  : Coût du mètre cube remblai drainé,

$C_{ov}$  : Coût du mètre carré espace vert,

$C_{ot}$  : Coût du mètre cube terrassement (déblai),

$C_{ov}$  : Coût du mètre carré espace vert.

$C_r$  : Coût du mètre cube remblai drainé.

$C_{or}$  : Coût du mètre carré foncier.

$\phi$  : Angle de repos naturel (ou rapport hauteur/largeur) d'un talus.

$k_{charge} < 1$ : Coefficient de charge du sol ou bien rapport entre  $n$  et  $n_{max}$ .

( $P = k_{charge} \cdot n = \bar{\sigma}_s \cdot n_{max}$ )

## **INTRODUCTION GENERALE**

Le mot «densification» évoque, trop souvent en Algérie, les grands ensembles construits dans les années 1975/1990 et appelés zone d'habitat urbaine nouvelle (Z.H.U.N). Ce type de densification a soulevé beaucoup de polémiques quant aux critères d'évaluation de la densité et des autres caractéristiques urbanistiques, à tel point que leurs résidents les ont surnommés citées rurales pour certaines et citées dortoirs pour d'autres. Or, pour des formes urbaines très différentes, nous pouvons avoir des densités similaires. C'est ce qui nous incite à définir et clarifier la notion de densité et de comparer les résultats obtenus par notre modèle à ceux déterminés par le Centre national de recherche en urbanisme (CNERU) pour certaines opérations réalisées dans la zone du Grand Alger. Entre densités et formes urbaines, le rapport n'est pas évident : pour une même densité et une même surface de terrain, on peut obtenir des formes urbaines différentes en faisant varier la hauteur et l'emprise au sol du bâti. Ainsi, la forme urbaine doit se lire en prenant trois paramètres indissociables : la densité (d), la hauteur (h) ou nombre de niveaux et le coefficient d'emprise au sol du bâti (C.E.S.). La densité à l'échelle d'un territoire considéré, n'exprime pas la même réalité : Les grands équipements et la voirie primaire appartiennent à l'échelle de la ville. La densité «habitants ou logements à l'hectare» permet surtout de rendre compte de la population présente et elle intéresse surtout les pouvoirs publics et les aménageurs. Nous parleront de densité «brute» à l'échelle du quartier permettant de mesurer la relation entre l'espace privé et l'espace public et elle comprend la voirie locale et les équipements de quartier. Par opposition à la densité brute, il existe une « densité nette », pour laquelle les espaces voirie et équipements ne sont pas pris en compte.

Les études de la densification d'un site ou d'une zone d'un site ont pour objectif la rationalisation de l'occupation de l'espace en fonction d'un certain nombre de critères de viabilité. Ces études peuvent concerner une nouvelle densification ou une densification existante pour lui porter une amélioration.

En fonction du niveau de la phase d'étude, le concepteur doit composer la densification en mettant en œuvre des connaissances techniques et économiques. Ces connaissances lui permettent d'opérer une composition entre le logement, l'espace correspondant, les contraintes et les critères de choix. Cette composition se traduit par une densité, une organisation spatiale au sein de la trame et une forme géométrique de l'espace trame.

La résolution des différents problèmes rencontrés au cours du déroulement des études de la densification nécessite l'intervention de plusieurs spécialistes. Chacun d'eux possède une vision différente de celle des autres, ce qui provoque des querelles d'écoles et des remises en cause de la conception de la densification retardant ainsi l'avancement des études. Le déroulement des différentes phases d'études sans coordination entre elles (d'une manière autonome ou indépendante) laisse planer le danger du cloisonnement.

En effet, le cloisonnement dans le processus des études risque de donner des solutions adaptées à un secteur disciplinaire donné et non pas des solutions cohérentes entre elles. Par ailleurs, la plupart du temps les contraintes spécifiques à la résolution d'un problème sectoriel sont contradictoires ou concurrentielles avec les autres contraintes des autres secteurs, d'où la nécessité de trouver des solutions intermédiaires satisfaisantes pour tous les acteurs ayant un lien avec la conception de la densification.

Nous pensons qu'il faut considérer l'objet d'étude comme un système composé de plusieurs sous-systèmes complémentaires ayant des interactions entre eux et qui convergent vers un seul objectif à savoir une solution cohérente et optimisée. Cette approche systémique essaie de prendre en considération tous les aspects du problème permettant de réduire les remises en cause de la conception en cours des processus des études et d'optimiser la solution retenue. Si la solution est optimisée, l'objectif des études est atteint en terme de performances : temps des études et qualité du produit conçu. Le produit ainsi obtenu sera moins sujet à des critiques et des réaménagements après sa réalisation.

Les exigences de la concurrence entre les différents bureaux d'études et les prises de décision attendues des différents acteurs dans le domaine de l'habitat et des aménagements urbains posent la problématique de la conception d'outils informatisés adaptés pour de telles circonstances. Avec l'apparition d'outils de développement orienté objet, la programmation classique tend à devenir obsolète, de nombreux logiciels ont été conçus dans le domaine du génie civil et des aménagements urbains offrant une certaine visibilité et convivialité grâce à l'interface qu'ils offrent. Ces logiciels reprennent les résultats des études sectorielles classiques et les intègrent dans un environnement systémique pour en faire un outil souple et pluridisciplinaire. L'absence, sur le marché algérien, d'un tel type de logiciel nous a incité à construire un embryon d'outil qui pourrait être développé ultérieurement par une équipe multidisciplinaire.

L'objectif de nos travaux est l'élaboration d'un modèle d'études de la densification d'une trame plane orthogonale. Il s'agit de proposer un outil d'aide à la conception de la densification permettant de réaliser un gain de temps et d'optimiser les solutions proposées. En effet, l'ancienne approche de la conception de la densification adoptée dans plusieurs bureaux d'études consiste à choisir un des avant-projets de plan de masse jugé le plus performant sur la base d'une étude technico-économique comparative. 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. C'est pour cela que l'élaboration d'un modèle d'études de la densification s'avère utile.

Notre champ de recherche se limite à l'étude d'une nouvelle opération de densification d'une trame plane orthogonale. Les opérations de réaménagement post-réalisation des fonctions ou des espaces fonctions sont exclues.

Les hypothèses du modèle de densification que nous présentons sont les contraintes rigides, semi-rigides, souples, le ratio longueur voirie à donner à un logement et l'étude des coûts des ouvrages de soutènement et qui seront élaborées dans la deuxième partie de la thèse sous la forme de relations contraintes/impacts sur la densification.

### **Hypothèses et données :**

- normes et réglementation d'évaluation et d'occupation de l'espace,

- caractéristiques du site,
- cahier des charges,
- les valeurs d'usages pour les dimensions des plates formes et la largeur de la voirie,
- les critères d'implantation des espaces,
- les coûts de réalisation du bâtiment en élévation,
- les coûts de réalisation de la viabilisation,
- les coûts de réalisation des ouvrages de soutènement.

En ce qui concerne les hypothèses d'implantation des emprises des bâtiments en fonction de la stabilité des talus des plates formes, elles se basent sur les données géotechniques telles que l'angle de repos nature, la portance admissible du sol, la hauteur des talus et sur le nombre de niveaux (étages) qui compose un bâtiment.

Pour les études de coûts des talus et murs de soutènement, qui sont des ouvrages faisant partie des aménagements urbains, les données reposent sur les informations recueillies auprès de certains organismes techniques et entreprises.

### **Démarche :**

Pour concrétiser notre objectif, notre 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. L'analyse du processus et des multiples contraintes rencontrées au cours de la conception représente la démarche méthodologique stratégique de la résolution du problème.

Nous commençons par analyser le processus de la conception de la densification d'une trame orthogonale et les contraintes qui s'opposent à la densification d'une manière générale. Durant cette étape, nous utilisons des connaissances assertionnelles qui permettent de décrire le contexte et les objectifs à atteindre. L'analyse des contraintes se fait à partir des données normatives du ministère de l'habitat et des expériences des professionnels.

Nous établissons les relations entre les contraintes et leurs impacts sur la densification. Certaines relations tels que : l'influence de la taille de l'agglomération, le coefficient de la forme de la trame orthogonale, l'espace entre la plate-forme et le talus naturel, les dimensions des plates-formes, la largeur voirie plus trottoirs, les coûts du foncier, les coûts de la viabilisation et les coûts de la construction en élévation, sont le résultat de notre travail de recherche, tandis que d'autres sont déduites à partir des connaissances interdisciplinaires. Il a fallu pratiquement élaborer ces relations pour pouvoir les utiliser comme des données dans les étapes qui viennent juste après. Durant cette étape nous utilisons la méthode hypothético-déductive qui consiste à démontrer une relation à partir des hypothèses avancées, et la méthode par récurrence qui consiste à étendre à une série de termes homogènes la vérité d'une propriété d'au moins deux de ces termes.

Nous posons ces relations sous la forme d'équations mathématiques formant un système relationnel dans lequel les principales variables sont la densité, les caractéristiques géométriques et urbanistiques de la trame plane orthogonale, les caractéristiques d'implantation des bâtiments et des différents ouvrages d'accompagnement et les coûts de l'ensemble des éléments de la composition urbaine. La démarche proposée pour l'étude de la densification consiste à faire trois opérations : détermination des solutions admissibles sans contraintes particulières, élimination des solutions non - admissibles qui découlent des contraintes rigides et optimisation des solutions admissibles en fonction des contraintes coûts

(semi-rigides). Durant l'étape optimisation, nous utilisons les connaissances opératoires qui permettent d'agir sur le contexte des solutions admissibles pour les transformer en objectif à atteindre. La résolution du système de relations corrélatives est formulée par un système d'équations et repose essentiellement sur la densité urbaine. La solution retenue découle d'une suite d'itérations successives. La résolution du système de relations corrélatives obtenues est formulée par un système d'équations et elle nécessite un programme de calculs automatisés.

Nous abordons ensuite l'étude des talus et des murs de soutènement pour implanter les bâtiments de la trame, déterminer les coûts et faire un choix économique entre les solutions talus et mur de soutènement en béton armé de type rideau.

Nous terminons par l'élaboration d'un logiciel qui permet le prédimensionnement de la densité urbaine, l'implantation des bâtiments en fonction des talus, la détermination des coûts du mètre linéaire talus et mur de soutènement et l'aide de la prise de décisions économique pour faire un choix entre ces deux derniers.

La thèse, que nous présentons, est organisée en trois parties comme suit :

- analyse des études de la densification;
- identification des relations contraintes-impacts sur la densification;
- démarche de résolution et présentation des programmes.

La première partie, constituée de quatre chapitres, a pour but d'analyser les instruments de la planification urbaine et de cerner le processus des études de la densification en mettant l'accent sur la présentation du contexte général de la conception et les différentes actions à entreprendre. Cette partie s'articule comme suit :

- **Chapitre 1- " les instruments d'urbanisme et le plan de masse" :** situe la densification comme étant une forme de composition urbaine qui s'insère dans le processus de la planification urbaine. De part son importance en tant que production urbaine et son impact sur l'espace et la ville, elle est tenue de respecter et de s'inscrire dans un schéma directeur et de se matérialiser par un plan de masse. Nous citons et analysons les instruments de la planification et particulièrement le plan de masse qui est un cas ambivalent.
- **Chapitre 2 -"contexte de l'étude" :** présente la problématique de la conception dans son contexte. Nous commençons par donner un aperçu général sur le processus de la conception de la densification pour situer les limites et les motivations de nos travaux.
- **Chapitre 3 -"analyse des composantes de la densification" :** a pour but d'identifier les éléments permettant d'obtenir une densification sans contraintes et de les analyser. Nous présentons les formules qui mettent en relation la densité avec l'espace correspondant à une trame orthogonale et les principes généraux d'implantation des espaces au sein de la trame.
- **Chapitre 4 -"identification et analyse des contraintes à la densification" :** a pour but de classer les contraintes générales en fonction de leur nature : rigides, semi-rigides, souples, de voirie et de soutènement, et en fonction de leur origine: réglementaires, cahier des charges, site, coûts, etc.

La deuxième partie constituée de cinq chapitres, a pour objectif d'établir les relations entre les contraintes et leurs impacts sur la densification et elle s'articule comme suit :

- **Chapitre 5 - "Relations contraintes rigides/impacts sur la densification"** : a pour objectif de mettre en relief les limites strictes d'une densification. Nous parlerons des normes, du cahier de charge, des implantations et du site.
- **Chapitre 6 - "Relations contraintes semi-rigides/impacts sur la densification"** : a pour but de cerner les limites de la densification en fonction des critères de la rationalité économique. Nous mettons en évidence l'antagonisme entre le coût du foncier et celui de la construction en élévation.
- **Chapitre 7 - "Relations contraintes souples/impacts sur la densification"** : a pour but de cerner les limites d'une densification selon des critères de fonctionnalité et d'organisation de la trame. Nous parlerons de la réseautique, de la circulation, du stationnement, des accès, ... etc.
- **Chapitre 8 - "Relation s contrainte longueur voirie/imp act sur la densifica tion"** : a pour objectif d'établir le ratio longueur voirie à donner à un logement en fonction de la densité de la trame et de la taille de l'agglomération.
- **Chapitre 9 - " Soutènement : coûts des talus et des murs en béton armé "** : a pour but d'étudier les coûts du mètre linéaire soutènement (talus naturel et mur de soutènement type rideau en béton armé), et de faire le choix entre le talus et le mur.

La troisième partie, constituée de quatre chapitres, traite : de la conception assistée par ordinateur (C.A.O.), de la programmation orientée objet, de la démarche de résolution du problème, de la présentation du logiciel et de l'étude d'un exemple d'une trame plane orthogonale et elle s'articule comme suit :

- **Chapitre 10 - " La c onception assistée par ordinateu r (C.A.O.) "** : a pour but de présenter les principes de la conception assistée par ordinateur et du développement rapide d'application (RAD : rapid application development) dans le contexte général du génie logiciel.
- **Chapitre 11 " la programmation orientée objet "** : a pour but d'exposer les grands principes de la programmation orientée objet et de présenter la définition et la description du logiciel que nous avons baptisé : « *Urban design* »..
- **Chapitre 12 - " Démarche de résolution et présentation du logiciel "** : a pour but d'exposer le système d'équations modélisant la densification qui permet la résolution du problème. Nous commençons par exprimer les espaces en fonction du nombre de niveaux d'étages ce qui permet de déterminer l'ensemble des équations exprimant les espaces de la trame, ensuite par poser les équations qui expriment l'implantation des bâtiments et par celles qui déterminent les coûts des talus et des murs de soutènement. Nous terminons par l'écriture des différents programmes qui constituent le logiciel.
- **Chapitre 13 - " Exemple d'études de la densification d'une trame plane orthogonale"** : a pour but d'illustrer le modèle avancé. Nous présentons l'exemple sous deux aspects :

- \* densification sans contraintes ;
- \* densification avec contraintes des coûts et d'optimisation.

Dans nos études, nous prenons une densité intermédiaire entre la densité brute et la densité nette que nous appellerons « densité intermédiaire ». Cette densité (logements/hectare) tient compte de la voirie, des allées piétonnes, du stationnement, de l'emprise des bâtiments, de l'espace vert et des aires de jeux à l'échelle d'un quartier.

## **Première partie**

### **Analyse des études de la densification**

L'objectif de la première partie est l'analyse du processus de la conception de la densification et elle se compose de quatre chapitres :

- Les instruments d'urbanisme et le plan de masse,
- Contexte de l'étude de la densification,
- Analyse des composantes de la densification,
- Identification et analyse des contraintes à la densification.

Une telle articulation des chapitres permet une analyse approfondie du processus de la conception d'une part, et d'autre part une identification des composantes de la densification et des contraintes à la densification.

Nous présentons le processus de la conception de la densification dans le contexte général de l'urbanisme opérationnel avec ses sous objectifs et les phases correspondantes. Les différentes phases de la conception de la densification sont nécessaires pour rendre le processus général de la conception linéaire.

L'analyse du processus de la conception de la densification nous oriente à procéder à l'identification et à l'analyse de la finalité de la densification et des instruments qui permettent de réaliser cette opération.

L'analyse de la finalité fait ressortir les composantes de la densification et les difficultés à identifier les contraintes générales à la densification.

La diversité et la complexité des contraintes rencontrées durant l'étape de la conception de la densification nous incite à identifier et à classer ces dernières en fonction de leurs origines et de la nature de leurs impacts sur la densification.

Notre analyse est fondée sur des connaissances assertionnelles (des déductions) qui permettent de décrire le contexte dans lequel évolue la conception de la densification et les objectifs à atteindre.

# CHAPITRE I

## **Les instruments d'urbanisme et le plan de masse**

La densification est une forme de composition urbaine et elle s'insère dans le processus de la planification urbaine. De part son importance en tant que production urbaine et son impact sur l'espace, elle est tenue de s'inscrire dans un schéma directeur et de se matérialiser par un plan de masse. L'autorité publique s'est progressivement immiscée dans la vie de la ville pour devenir l'acteur principal de son développement. Le côté esthétique est très largement pris en compte. Une des préoccupations de l'urbanisme est de réaliser des édifices esthétiques. Les ensembles urbains doivent s'insérer dans l'environnement local et exprimer une certaine image ou symbolique dans la plupart du temps.

### **I.1/ Généralités sur les plans-masses**

Le plan-masse est considéré comme le plus petit document graphique à l'échelle de la composition urbaine. A la différence d'un plan d'architecture qui se limite à la composition d'un édifice ou d'un immeuble, le plan de masse donne une conception globale et intégrée à l'échelle d'une unité qui peut être un îlot, un quartier ou une partie d'une ville.

#### **I-1-1/ Historique du Plan de Masse**

La loi française de 1919 définit le but de l'urbanisme comme étant l'aménagement, l'extension et l'embellissement des villes. L'élément esthétique vient relever par un cachet et une physionomie particuliers les facteurs précédents.

Le formalisme urbanistique a, dès son origine, été transposé sur deux supports: un plan et un programme. Le plan, dans la loi de 1919 fixe, détermine, indique les réalisations publiques (parcs, réserves boisées, voiries). Le programme, quant à lui détermine « les servitudes hygiénique, archéologique et esthétique, ainsi que toutes les autres conditions y relatives, et en particulier les espaces libres à réserver, la hauteur des constructions... » [CHAPUISAT 96]. La représentation réglementaire de la notion d'esthétique est définie textuellement. Il faut attendre 1958 et le décret n°58-1463 du 31 décembre 1958 [J.O. du 4/01/ 1959 page 265] pour que soit affiné le plan d'urbanisme directeur « qui trace le cadre général de l'aménagement et en fixe les éléments essentiels. De plus il peut contenir l'indication des parties du territoire dans lesquelles seront établis des plans d'urbanisme de détail qui définissent selon l'article 4 trois zones: un secteur dans lequel les collectivités et établissements publics sont autorisés à acquérir ou exproprier, un périmètre qui oblige le remembrement et des périmètres à l'intérieur desquels les nécessités de l'urbanisation ou de la rénovation exigent que l'implantation et le volume des constructions soient fixés sur la base d'un plan déterminé. Le document graphique s'oppose aux tiers. La référence à l'esthétique n'y est pas intégrée et disparaît même du règlement qui fixe les règles et servitudes relatives à l'utilisation du sol.

Un renversement silencieux et passé inaperçu va s'opérer en 1970 avec le décret relatif aux plans d'occupation des sols [J.O. du 28/10/ 1970 ]. L'article 18, du chapitre III intitulé "contenu du plan d'occupation des sols", est relatif aux documents graphiques qui font ressortir 5 zones:

- les zones d'urbanisation, « dans lesquelles les capacités des équipements publics existants ou en cours de réalisation permettent immédiatement d'admettre les constructions » ;

- les zones naturelles ou non équipées. Cette zone couvre les secteurs qui pourront être urbanisés par une modification du plan d'occupation des sols (POS) ou par la création d'une zone d'aménagement concertée et « les secteurs qui font l'objet d'une protection particulière en raison notamment de la qualité des sites et paysages ou de la valeur agricole des terres » ;
- les espaces boisés ;
- les zones d'activités spécialisées ;
- et, « lorsqu'il y a lieu d'imposer des prescriptions architecturales, les secteurs pour lesquels un plan de masse coté à trois dimensions définit des disciplines spéciales ».

La notion d'architecture, donc d'esthétique réapparaît dans les documents de planification et de surcroît « lesdites prescriptions sont figurées sur le plan de masse coté à trois dimensions prévu par cette disposition » 10. Le secteur à plan de masse était né.

Le décret du 11 septembre 1983 11 [J.O.F du 05/10/ 1983] a modifié les articles R.123-18 du code de l'urbanisme qui intégrait le plan masse et R.123-21. Le nouvel article R.123-18 est ainsi rédigé dans son paragraphe I, alinéa 3 « [les] zones urbaines et naturelles comprennent, le cas échéant: [...] c- Lorsqu'il y a lieu d'imposer des prescriptions architecturales, les secteurs pour lesquels un plan de masse coté à trois dimensions définit des disciplines spéciales ». Et l'article R.123-21 [J.O.F du 05/ 09/ 1977], dans son troisième alinéa stipule que « Pour les secteurs prévus par l'article [susmentionné] pour lesquels un plan de masse coté à trois dimensions définit des disciplines spéciales, les prescriptions architecturales figurent sur ce plan de masse ».

Au terme de ces deux seuls articles R 123.18 et R 123.21 qui traitent du secteur de plan de masse, on peut le décrire, d'un point de vue technique, comme "l'enveloppe architecturale fixant les emprises au sol, bâties ou non, ainsi que la hauteur des volumes bâtis" (cf annexes). Ceci dit, il faut bien prendre garde de ne point mélanger le secteur à plan de masse avec d'autres définitions du plan de masse qui fleurissent le code de l'urbanisme.

### **I-1-2/ Des différents types de plan-masse**

Il convient de bien cerner la notion de secteur de plan de masse. Dans cette thèse les secteurs à plan de masse ou à plan masse seront automatiquement ceux définis par l'article R 421-2 susmentionné. Il faut bien les distinguer des autres appellations, qui se définissent uniquement comme un plan graphique, ou l'ensemble d'un ouvrage d'architecture, ou encore plus traditionnellement comme «le plan du terrain affecté à la construction sur lequel le ou les bâtiments prévus sont figurés par leur seul contour extérieur, leur masse en volume est en outre généralement évoquée ou précisée par divers procédés. (...) C'est un des éléments essentiels du projet architectural. Il permet en effet de juger de l'implantation, des dimensions des constructions et de l'aménagement de leurs abords » **Bonhomme 95** ]. Bien que les secteurs à plan de masse soient graphiquement matérialisés par un plan-masse ils constituent en plus une technique à part entière. Ces plans apparaissent notamment dans les articles suivants:

- l'article R 421-2 qui établit le contenu du dossier joint à la demande de permis de construire et qui mentionne l'obligation de joindre un plan de masse « des constructions à édifier ou à modifier coté dans trois dimensions, des travaux extérieurs à celles-ci et des plantations maintenues, supprimées ou créés » ;
- et l'article R 315-5 relatif au contenu du dossier à joindre à la demande de lotir qui fixe obligation de fournir différents plans, dont à l'alinéa d) un plan définissant la composition d'ensemble du projet qui peut « se présenter sous la forme d'un plan de masse ».

## I-2/ L'urbanisme et le plan-masse

Face à l'expansion croissante de la ville, le droit de l'urbanisme s'est divisé en deux parties: l'une concerne la planification urbaine, appelée également contrôle de l'utilisation des sols, ou encore gestion des sols et l'autre concerne la maîtrise de l'aménagement urbain ou l'utilisation des sols. L'action de contrôle de l'utilisation des sols est une démarche essentiellement négative, comme le souligne Chapuisat [**Jérôme Chapuisat 96**]. En effet, la règle d'urbanisme n'impose en principe que des obligations de ne pas faire. Alors que « l'aménagement urbain se définit à la fois comme une politique, une économie et une technique. A partir de données écologiques et sociologiques, il transforme un lieu en vue de lui donner une nouvelle utilisation et un nouveau mode de fonctionnement. Il participe à la morphogenèse de la ville » [**Denis ROUSSEAU et Georges VAUZEILLES 92**]. Toute la problématique du secteur à plan de masse est sa nature hybride qui le situe entre les deux volets du droit de l'urbanisme.

Curieusement le droit de l'urbanisme ne traite que d'une manière superficielle la technique du secteur de plan de masse. Dans les ouvrages spécialisés, elle est souvent évoquée dans la partie concernant les documents graphiques en référence à sa situation dans le code de l'urbanisme. La quantité textuelle en traitant ne dépasse que très rarement une dizaine de lignes, dont la généralité déconcertante ne permet certainement pas d'appréhender son contenu et ses objectifs. Les secteurs à plan de masse fleurissent parfois certains Plan d'occupation des sols (POS), élaborés d'une manière "empirique", une seule circulaire ministérielle développe en quelques pages cette technique, alors que d'autres communes les fuient. Ce constat est la résultante de l'ambivalence du secteur à plan de masse dont l'élaboration et la mise en application se divisent en deux étapes distinctes, qui appartiennent respectivement aux deux pans du droit de l'urbanisme: la planification et l'aménagement urbain. Il est ainsi, un outil spécifique de planification et une technique originale d'aménagement urbain, dans la phase de mise en "pierre" du projet.

### I-2-1/ Un outil spécifique de la planification

Le secteur à plan de masse est codifié à l'article R 123-18 I 3<sup>o</sup>, comme un document graphique, dans le livre premier "Règles générales d'aménagement et d'urbanisme" sous le titre II "Prévision et règle d'urbanisme". Son intégration dans la section intitulée "Contenu du plan d'occupation des sols" le lie à ce dernier. Sa spécificité tient à la place particulière qu'il occupe dans le POS en tant qu'outil de "microplanification" (Section 1) et l'exception juridique qu'il incarne face à la règle de droit commun de l'urbanisme (Section 2).

- *Plan-masse ou la "micro-planification"*

Le plan de masse est autant complémentaire au POS, car il « comporte une dimension urbanistique d'une finesse et d'une précision bien supérieur au document de droit commun » puisque c'est un outil de planification.

L'Etat définit des règles générales qui sont applicables directement aux règles adoptées localement. Ces règles d'urbanisme sont souvent négatives, «le respect de [leurs] prescriptions s'impose à quiconque désire procéder à une utilisation du sol » [**CHAPUISAT 92**]. Avec la décentralisation, la commune a reçu le pouvoir de créer des règles dont le caractère local s'adapte mieux aux réalités du terrain, elle peut ainsi maîtriser sa planification urbaine. Toutefois la règle générale d'urbanisme (dont le POS fait partie) pose des limites que ne peut pas franchir la collectivité locale, lui imposent une planification passive à opposer à l'action, au geste, au dynamisme du secteur à plan de masse.

- **Urbanisme et planification passive**

Le droit de l'urbanisme en France est considéré comme négatif, car il dirige l'acte urbanistique.

*a- Un droit négatif*

L'Etat impose des règles générales d'urbanisme que l'on appelle aussi les servitudes d'urbanisme. Tout l'arsenal réglementaire et les dispositions techniques limitent la liberté de conception et d'entreprise « les prérogatives des propriétaires immobiliers quant à la gestion immobilière de leurs biens. » [AUBY 95]. Ces sujétions semblent contraignantes et étoffées, leur contenu est assez varié. Dans la plupart des documents d'urbanisme se trouvent:

- les règles de destination concernant l'affectation des sols: selon le Manuel du permis de construire publié en 1981 par le Ministère de l'urbanisme et du logement, des locaux peuvent avoir neuf destinations différentes ;
- les règles concernant la desserte des constructions par la voirie et les réseaux ;
- les règles concernant l'implantation des opérations: surface minimum des terrains, règles de prospect ;
- les règles concernant le volume des constructions: règles d'emprise au sol, règles de hauteur ;
- les règles de densité ;
- les règles concernant l'aspect extérieur des constructions: toitures, clôtures... ;
- les règles fixant les équipements et espaces dont l'opération doit être assortie.

*b- La maîtrise du geste urbanistique*

Bien que cette énumération, inspirée de l'ouvrage de Jean-Bernard Auby, laisse envisager la précision des prescriptions imposées par l'administration, la pratique et la jurisprudence mettent en exergue les limites inhérentes aux règles générales d'urbanisme.

L'exemple ci-après, [FOUCHIER 94 ] illustre le problème auquel est confronté toute collectivité locale dans sa politique de planification urbaine. L'instauration d'un Coefficient d'Occupation des Sols (COS) ne permet pas de maîtriser la forme physique du développement de la ville. La forme urbaine dépend de la combinaison des règles d'occupation des espaces. Mais dans le quadrillage que forme la superposition des différentes règles, des vides apparaissent, vides qui laissent l'administration impuissante et incapable de sanctionner un projet non conforme à ses ambitions urbanistiques.

La règle d'urbanisme est précise, mais insuffisante. A titre d'exemple, en France, le Conseil d'Etat a tenté de limiter l'inflation de précision dans un arrêt de principe du 8 novembre 1985, où dans un plan d'occupation des sols des prescriptions architecturales allant trop loin dans le détail (la disposition de détails relative à la consistance et à la teinte des enduits de façade) ont été considérées comme illégales [AUBY 95].

## **I-2-2/ Le plan de masse: une planification dynamique**

Le plan de masse justifie son existence par sa dynamique. Mais il n'est nullement question dans le domaine théorique et doctrinal de l'envisager comme autre chose qu'un instrument de l'urbanisme opérationnel ou comme un outil de l'aménagement urbain car il reste un urbanisme réglementaire qui encadre l'évolution urbaine par des règles. Il est perçu comme un affinement du Plan d'occupation des sols (POS), comme une planification "in concreto", qui permet la visualisation afin de mieux valoriser l'espace.

- *Une planification "in concreto"*

L'utilisation de l'article R123-18.I.3.c revêt le caractère de l'action, de l'acte volontaire de la planification. « Le plan de masse permet de "modéliser" le choix politique initié par les élus en un dessin d'où découleront ensuite seulement, les règles à respecter. Il en ressort un aménagement réfléchi, "in concreto" » à opposer à l'aspect "in abstracto" du POS qui ne permet pas de « visualiser les effets de la règle édictée » [DANNA 96].

Le fait que l'article R 123-18 I 3 c impose un plan coté en trois dimensions change l'approche de la planification, par rapport aux prescriptions relatives à l'emprise du sol des constructions, à leur hauteur. En effet grâce au plan de masse, une construction devient un volume représentable en projection, c'est un volume plastique.

Dans un POS il est quasiment impossible de faire une élévation des constructions, tant les possibilités sont variées. Il n'est pas nécessaire de recréer le volume par un dessin en trois dimensions pour pouvoir appréhender cette dernière, la simple démarche intellectuelle de coter la hauteur des constructions projetées suffit. La ville ne se vit plus seulement dans la tête des concepteurs comme un plan mais comme un volume à part entière. Le plan de masse est un volume, une enveloppe architecturale. On passe du domaine des lignes à celui de la plastique. De plus, il est aisé, avec un plan coté en trois dimensions de procéder à une élévation, à des simulations qui permettent immédiatement de "palper" le projet. Le plan de masse pousse à l'étude car l'erreur se visualise, voire se matérialise. Le concepteur appréhende sa réalisation et la partage avec le public. D'autant plus que le plan masse de part la naissance du volume qu'il permet est en pleine adéquation avec les nouvelles techniques informatiques de dessin assisté, des images de synthèse.

Le secteur de plan de masse s'inscrit dans une nouvelle démarche qui promouvoit le retour de la planification stratégique qui propose de « mettre les territoires en action [impliquant] une articulation fine entre ouverture prospective, planification stratégique et démarche de projet. » [THIERRY ET BERNARD 95]. D'un point de vue moins conventionnel, on peut dire que le secteur à plan de masse crée le geste d'urbanisme, dans un but de valorisation de l'espace.

- *Une valorisation de l'espace*

Le plan -masse organise l'implantation des constructions en fixant les emprises au sol bâties et non bâties ainsi que la hauteur des volumes bâtis. Il présente de nombreux intérêts que la circulaire D4-1 29 du code de l'urbanisme de 1992 classe en trois catégories:

- fonctionnel (meilleure organisation de l'espace),
- économique (valorisation de l'espace qu'il organise),
- esthétique (conception de formes urbaines mieux adaptées au paysage).

Le plan de masse est une Action de valorisation de l'espace parce qu'il est sectoriel. Ce n'est pas une zone à plan de masse mais un secteur. Il est conseillé dans la directive D4-1 de limiter autant que possible le plan de masse à un îlot.

La visualisation de l'urbanisme facilite une meilleure gestion de l'espace la protection du patrimoine et la préservation des paysages.

- *Une meilleure gestion de l'espace*

L'aspect dynamique est sous-jacent dans les propos de la doctrine, qui justifie cette technique « par la volonté de ne pas voir implanter les constructions systématiquement par rapport aux limites des propriétés, en provoquant des modifications du parcellaire en utilisant plus rationnellement les terrains auxquels s'applique un COS. Le plan de masse fixe alors

graphiquement les implantations et les enveloppes volumétriques des constructions en fonction du COS et du voisinage.» 30. Ainsi il permet une amélioration de la circulation, une meilleure utilisation des sols, une adaptation des programmes aux besoins (logements, espaces verts et équipements publics).

En France, le secteur à plan de masse est compris dans le POS, sa création en dépend, contrairement à l'Allemagne, qui a institué une technique similaire au plan de masse au rang de règle générale d'urbanisme.

### **1-2-3/ Le projet d'aménagement : règle d'urbanisme en Allemagne**

Toute la planification urbaine allemande tourne autour d'une technique similaire au plan de masse élaboré par le code de l'urbanisme français.

Au sommet de la hiérarchie des documents d'urbanisme se trouve le plan d'utilisation des surfaces (Flächennutzungsplan) qui a un statut juridique similaire au schéma directeur mais un cadre spatial et un contenu apparenté au POS, « il couvre la totalité d'une commune ou de plusieurs communes et définit les fonctions et affectations des différentes zones du territoire communal » [La documentation Française, 92].

Au niveau inférieur il y a le plan de construction (Bebauungsplan). Il réglemente un secteur géographique limité (quartier, lotissement voire un groupe de maisons) et se situe entre l'outil réglementaire et le schéma opérationnel. Sa principale fonction est de régler les modalités de construction dans la zone, son contenu juridique est très détaillé et opposable aux tiers (coefficient d'occupation des sols, limitation de la hauteur, largeur, profondeur, définition de l'aspect extérieur, précision sur l'affectation des constructions). Il définit aussi les équipements publics ou sociaux situés dans la zone.

### **I-3/ Le plan de masse une exception juridique**

Bien que le secteur à plan de masse soit un outil du POS, il se distingue de la règle générale d'urbanisme par une inversion de la valeur juridique du document graphique et par sa fonction réglementaire qui impose une esthétique urbaine poussée.

La règle générale d'urbanisme a limité l'importance juridique du document graphique dans le POS (A), alors qu'il supplante le règlement dans les secteurs à plan de masse (B).

#### **I-3-1/ Les documents graphiques dans le POS**

Dans le POS, « les documents graphiques doivent faire apparaître [impérativement] les zones urbaines et les zones naturelles » [Code de l'urbanisme ] alors que « le règlement fixe les règles applicables aux terrains compris dans les diverses zones du territoire couvert par le plan » [Code de l'urbanisme, le document graphique n'est qu' « une projection spatiale du règlement [...] En principe [il] ne peut à lui seul, créer des servitudes relatives à l'utilisation des sols » [CRISTINI 85]. Ce principe a été affirmé par le Conseil d'Etat dans de nombreux arrêts: « les règles et servitudes relatives à l'utilisation du sol ne peuvent être prescrites que par des dispositions réglementaires et que par elles-mêmes créer de telles prescriptions ».

#### **I-3-2/ Le document graphique supplante le règlement**

Le document graphique supplante le règlement car des dispositions normalement incluses dans le règlement sont présentées dans le document graphique (A), ce qui soustrait la servitude d'urbanisme au règlement (B).

*a- Dispositions Réglementaires et plan de masse*

L'article R 123-21 détermine le champ d'application du règlement. Cet article est composé de trois paragraphes, le premier concerne les dispositions impératives, le second traite des dispositions facultatives et le troisième est relatif aux zones de transfert de COS et aux secteurs à plan de masse, son deuxième alinéa stipulant que « pour les secteurs prévus par l'article R.123-18 (I, 3°) pour lesquels un plan de masse côté à trois dimensions définit des disciplines spéciales, les prescriptions architecturales figurent sur ce plan de masse » [Auby 95]. Comme le souligne la directive D4-1, « La combinaison de ces deux articles permet donc en principe d'exprimer graphiquement (par un dessin compris dans les documents graphiques du P.O.S.) certaines règles (U 3 à U 13) habituellement rédigées », qui sont les conditions d'occupation des sols.

La répartition n'a qu'une valeur indicative, ne pouvant aller contre la liberté de conception des auteurs du POS. Toutefois, la directive mentionne que le plan de masse ne doit pas changer la vocation de la zone. Il est donc exclu de modifier la section 1 " Nature de l'occupation et de l'utilisation du sol". Quant à la section III "Possibilités maximales d'occupation du sol", ne peut, en principe, figurer sur le plan masse. Le tableau I-1, ci-dessous reprend les grandes lignes de répartition entre le règlement et le document graphique.

**Tableau I-1** : Nature des dispositions de répartition des sols (Source : [Auby 95])

R = règlement

PM = Plan de masse

**Section 1**

**Article 1:** occupation et utilisation du sol admises----- R

**Article 2:** occupation et utilisation du sol interdites ----- R

**Section 2**

**Article 3:** Accès et voirie ----- PM

Accès -----R

**Article 4:** Desserte par les réseaux -----R

**Article 5:** Caractéristiques des terrains -----Sans objet

**Article 6:** Implantation par rapport aux voies, saillies, terrasses ----- R

**Article 7:** Implantation par rapport aux limites séparatives-----PM

**Article 8:** Implantation des constructions les unes par rapport aux autres -----PM

**Article 9:** Emprise au sol -----PM

**Article 10:** Hauteur maximum des constructions -----PM ou R

**Article 11:** Aspect extérieur -----R

**Article 12:** Stationnement -----PM ou R

**Article 13:** Espaces libres, plantations, espaces boisés classés-----PM

**Section 3**

**Article 14:** Coefficient d'occupation des sols -----R

**Article 15:** Dépassement de COS ----- R

*b- Une servitude d'urbanisme absente du règlement*

La servitude d'urbanisme n'a plus sa source dans le règlement, mais dans un document graphique. Aucune liaison législative ou réglementaire n'indique si le règlement doit

envisager les plans de masse. De ce constat, certains se sont inquiétés et souhaitent une liaison entre le premier et les seconds.

Les prescriptions imposées par le plan-masse sont donc régulièrement constituées alors que le règlement ne les examine pas. La reproduction des prescriptions architecturales et la définition de leurs modalités d'application n'étant ni interdites dans le règlement de zone ni obligatoires, elles peuvent donc ne pas y être présentées.

Il y a donc un renversement de l'ordre juridique et une autonomie du secteur à plan de masse. Le document graphique devient le contenant du règlement. Ce dernier n'est plus substantiel, puisque l'absence dans les documents graphiques du POS des secteurs à plan de masse, soustrait le secteur à l'application du plan de masse aussi longtemps que celui-ci ne sera pas inclus, par voie de modification du POS dans les documents graphiques de ce plan [**Conseil d'Etat 96**].

La force juridique du secteur à plan de masse a été rappelée avec cet arrêt du Conseil d'Etat [**Conseil d'Etat 96**], "Commune de Saint-Avold contre M. Cassot" du 10 décembre 1993, qui le rend opposable aux tiers puisque le permis de construire doit tenir compte des prescriptions du plan-masse.

Le permis de construire doit correspondre aux notions d'esthétiques véhiculées par le secteur à plan de masse. Mais l'architecte se trouve limité dans ses choix artistiques: implantation du bâtiment imposée, limite de hauteur et de volume, voire indirectement de formes. Le secteur à plan de masse se situe un peu entre l'architecture et l'urbanisme, ce qui présente une originalité par rapport à la règle d'urbanisme. Le plan de masse dirige et modèle l'esthétique urbaine.

### **I-3-3 Une Technique d'aménagement urbain**

Le secteur à plan de masse est une technique ambivalente puisant sa base, comme nous l'avons vu, dans la planification urbaine. Sa mise en pratique, en revanche, se réalise par une procédure d'aménagement que Pierre-Paul Danna définit comme « une activité, ou mieux une compétence des collectivités locales [qui] doivent conduire ou autoriser les diverses opérations qui concourent à la réalisation de l'aménagement et les harmoniser » [**DANNA 96**]. La décentralisation a confié au niveau local la maîtrise de l'aménagement, qui tend « à produire du développement urbain, ou à améliorer des tissus urbains existants, par des actions organisées d'équipement, de construction, de restauration, que la puissance publique conduit ou oriente»[**AUBY 94**]. Ceci implique, comme le souligne Jérôme Chapisat des moyens logistiques très importants, une action foncière (section 1) pour mobiliser les sols et une opération d'aménagement qui est juridiquement difficile à cerner (section 2).

#### **▪ La maîtrise du foncier**

Le plan de masse délimite une zone sur laquelle il impose une implantation de bâtiment. Comme le zonage du POS n'est pas tenu de respecter les limites de propriété, le plan de masse étant un document graphique suit également cette règle. Il est donc évident que ce dernier couvre plusieurs parcelles. C'est parce que la réussite d'un plan de masse dépend plus de l'urbanisme opérationnel que de la planification, que c'est une technique difficile à mettre en œuvre, qui nécessite des études préalables et qu'elle suscite au tant d'enthousiasme que de crainte. Les silences de la doctrine et du code de l'urbanisme sont regrettables.

Son originalité est fondée sur un système de liberté individuelle de faire ou ne pas faire et non pas sur un système dirigiste ou interventionniste.

La maîtrise publique de l'aménagement urbain suppose normalement un cadre procédural, l'action foncière est dirigée par l'expropriation ou le droit de préemption. Dans le cas du plan de masse, rien n'est défini noir sur blanc. C'est la pratique qui découle directement de

l'application de l'article R 123-18 qui modèle ce cadre informel. La maîtrise du foncier n'a pas pour base des prérogatives de puissance publique, bien que l'on retrouve officieusement les trois formes de l'action foncière d'urbanisme proposées par Jean-Bernard Auby :

- action sur les disponibilités économiques des sols,
- agir sur la disponibilité juridique des terrains,
- agir sur la disponibilité physique des terrains.

La technique du secteur à plan de masse agit principalement sur la disponibilité physique des terrains et sur leur disponibilité économique, dans une optique d'incitation et non de coercition.

- **pragmatisme urbanistique**

Le secteur à plan de masse est à rapprocher de la réflexion menée autour de la notion de "master-projet", rapportée par Ascher François, qui « visent à essayer de mieux utiliser et maîtriser les dynamiques des grands projets: c'est à dire d'ajouter à la panoplie des instruments de la planification urbaine des outils qui permettent d'utiliser les effets induits de projets particuliers, suffisamment important - spatialement, économiquement, fonctionnellement ou symboliquement - pour entraîner des modifications qui dépassent le site et l'objet immédiat du projet. Il s'agit donc de mettre au point des méthodes et des instruments qui permettront à la collectivité locale de prévoir et de maîtriser des effets induits [...] Le master-projet est donc à la fois un instrument de planification urbaine et d'urbanisme opérationnel » [ASCHER 96].

## **Conclusion**

Le plan masse est ambivalent. Le passage de la planification à l'opération d'aménagement dépend de la motivation de la collectivité locale et des propriétaires. Ce régime libéral place la collectivité locale et les propriétaires sur un quasi pied d'égalité car ils possèdent tous deux des moyens de freiner la mise en œuvre du plan masse. Tous les participants à l'opération sont indépendants les uns des autres. C'est la force de cette technique mais aussi sa faiblesse.

La vision foncière du droit de propriété est très ancrée dans les mentalités, d'où l'importance du dialogue. C'est une technique qui contraste avec le reste du droit de l'urbanisme.

Les diverses réflexions menées sur l'évolution à donner au droit de l'urbanisme reprenne la technique du plan de masse sans la nommer. Peut-être s'achemine-t-on vers le pragmatisme urbanistique ? Toutefois « la simplicité et la commodité sont à rechercher autrement que dans la déréglementation qui crée parfois de nouveaux problèmes ou remplace des règles précises par des normes subjectives » [MESNARD 92].

## Chapitre II

### Contexte de l'étude

Ce chapitre a pour but de présenter la problématique et de donner un aperçu général sur le processus de la conception de la densification.

#### II-1/ Processus de la conception de la densification :

Nous allons nous inspirer du processus de la conception de l'habitat, pour analyser le processus de la conception de la densification. " La conception de l'habitat est un processus complexe qui conduit à la définition des formes, des éléments technologiques et des équipements permettant de répondre à des objectifs pré-définis et au moins à ceux qui sont réglementaires [Carrara 91] ". Par ailleurs, " l'habitat et le lieu d'intervention des différents acteurs tels que l'économiste, l'architecte, l'ingénieur, le planificateur, le sociologue, ... etc. [Sauce 93] ". Les solutions proposées par un acteur pour atteindre son objectif sont souvent contradictoires et divergentes avec celles proposées par les autres acteurs, d'où la nécessité d'un consensus permettant d'aboutir à des solutions satisfaisantes pour tous. "en effet la prise simultanément des préoccupations de ces acteurs peut améliorer considérablement la qualité et l'efficacité des solutions proposées et optimise notablement la durée de la phase de conception [Dubois 89]". "Afin de diminuer les risques de remise en cause fréquente d'un projet d'habitat en cours de conception et de faire des retours en arrière, les concepteurs ont découpé le processus de la conception architecturale en différentes phases selon la **Figure II-1** [Sauce 93] ". Selon Sauce, ce découpage permet de:

- stabiliser l'avancement des études du projet grâce à l'utilisation des résultats des états intermédiaires optimisés servant comme points de départ pour les prochaines étapes du processus ;
- réduire la durée de la conception grâce à la minimisation des remises en cause des solutions adoptées dans une phase précédente ;
- établir un historique de tous les points critiques permettant ainsi de localiser les erreurs de la conception durant les sessions de coordination des tâches ;
- rendre le processus le plus linéaire possible.

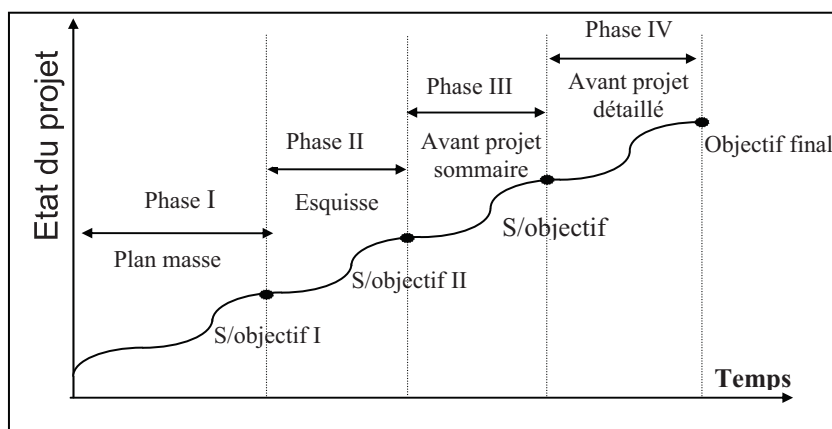
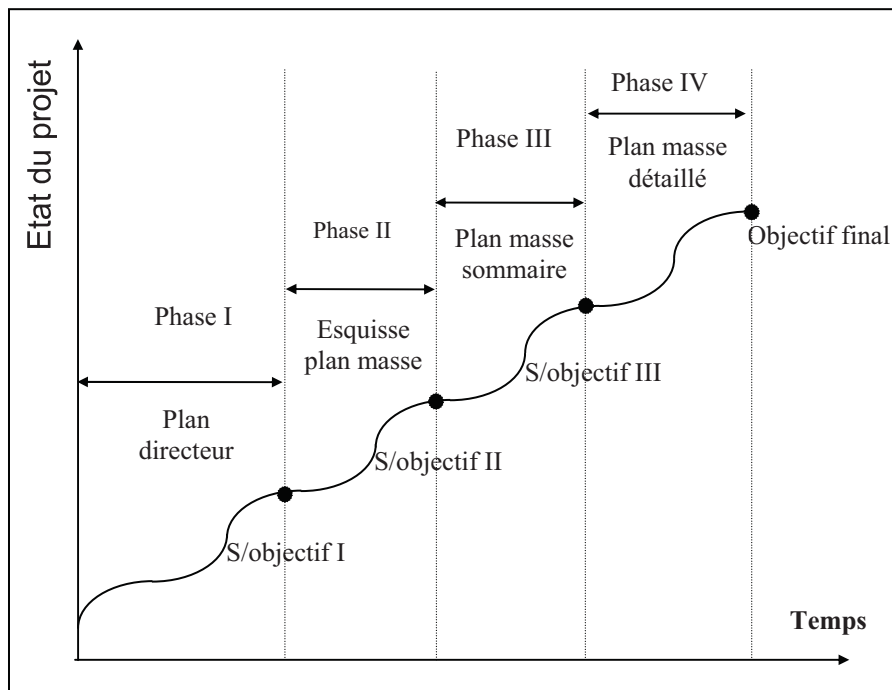


Figure II-1 : Les phases du processus de conception en architecturale [Sauce 93]

Les différentes phases ou différents niveaux de conception étant définis et identifiés, il reste à associer un ensemble d'états dits optimaux à chacune des phases. Ces états sont :

- le plan masse correspondant à l'étude de l'orientation du projet et aux spécificités de la construction envisagée ;
- l'esquisse architecturale correspondant à l'organisation spatiale des différents locaux d'un bâtiment. Cette organisation concerne aussi bien l'agencement horizontal que le vertical ;
- l'avant projet sommaire (A.P.S.) correspondant à la description technologique du bâtiment et la validation de ses éléments ;
- l'avant projet détaillé (A.P.D.) correspondant à la description détaillée du projet d'une part, et à la production des plans d'exécution et de devis descriptifs d'autre part.

Par analogie nous pouvons emprunter le découpage du processus de la conception architecturale précédent de la Fig. I-1 et l'appliquer au processus de la conception de la densification. La **Figure II-2** suivante illustre ce découpage avec ses phases et ses états.



**Figure II-2** : Les phases du processus de conception de la densification

Les états correspondant aux différentes phases sont :

- le plan directeur qui s'inscrit dans le plan d'occupation du sol, localise le projet avec ses zones et leurs spécifications ;
- l'esquisse plan masse correspondant à l'implantation du projet et à l'organisation spatiale des différents espaces ;
- le plan masse sommaire correspondant à la validation de l'organisation spatiale et de la forme urbaine obtenue ;
- le plan masse détaillé correspondant à la description détaillée du projet et à la production des plans d'exécution et de devis descriptifs.

Nous remarquons qu'il y a une hiérarchie temporelle dans le processus de la conception de la densification et cela nous incite à rendre le processus le plus linéaire possible afin d'optimiser le temps de conception. Cela peut se faire en tenant compte des impacts des actions situées en aval sur les phases situées en amont, c'est à dire sur la phase précoce de la conception d'un projet de densification d'un site. Au niveau d'une phase de conception, l'optimisation du temps peut se faire grâce à la représentation de l'acte de concevoir suivant un schéma caractérisé par l'itération formée par la boucle *proposition/vérification/modification* [Dufau 91] comme le montre la **Figure II-3**. D'après la **Figure II-3**, on peut constater que l'acte de concevoir est essentiellement constitué des opérations suivantes :

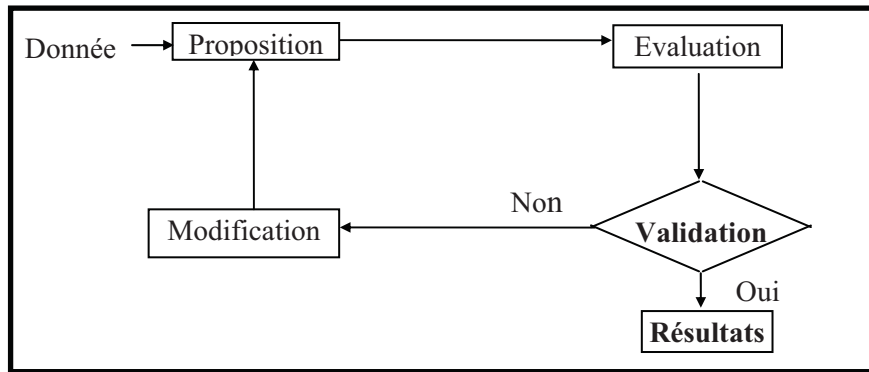
- Etablissement d'une proposition : à partir des performances à atteindre, les concepteurs proposent une ou plusieurs propositions jugées a priori aptes à remplir ces performances. Pour cela ils sont amenés à identifier des critères qui permettent d'établir une corrélation entre les caractéristiques à mettre en oeuvre et les objectifs qu'ils se fixent.
- Evaluation de la proposition : Une fois que les propositions sont faites, les concepteurs tentent de les valider. Pour cela ils font appel à des techniques qui permettent de juger le fonctionnement correct des éléments mis en place. Si le résultat est positif, ils passent à la phase suivante après avoir injecté de nouvelles informations pour affiner de plus en plus la description du projet. Cela se traduit par une description plus fine des éléments en cours de conception d'une part et par l'apparition de nouveaux éléments d'autre part.
- Modification de la proposition : Suite à une réponse négative, les concepteurs sont amenés à modifier l'état actuel du projet jusqu'à la réalisation des performances attendues. Cela se traduit par une remise en cause totale ou partielle des propositions avancées.

D'après ce qui précède, différentes tâches essentielles doivent être identifiées indépendamment du niveau de conception, à savoir :

- L'identification des objectifs à atteindre (performances) ;
- L'identification des critères permettant d'établir des corrélations entre les objectifs à atteindre et les éléments à mettre en oeuvre ;
- La production des états ou des solutions permettant de satisfaire les objectifs précédents ;

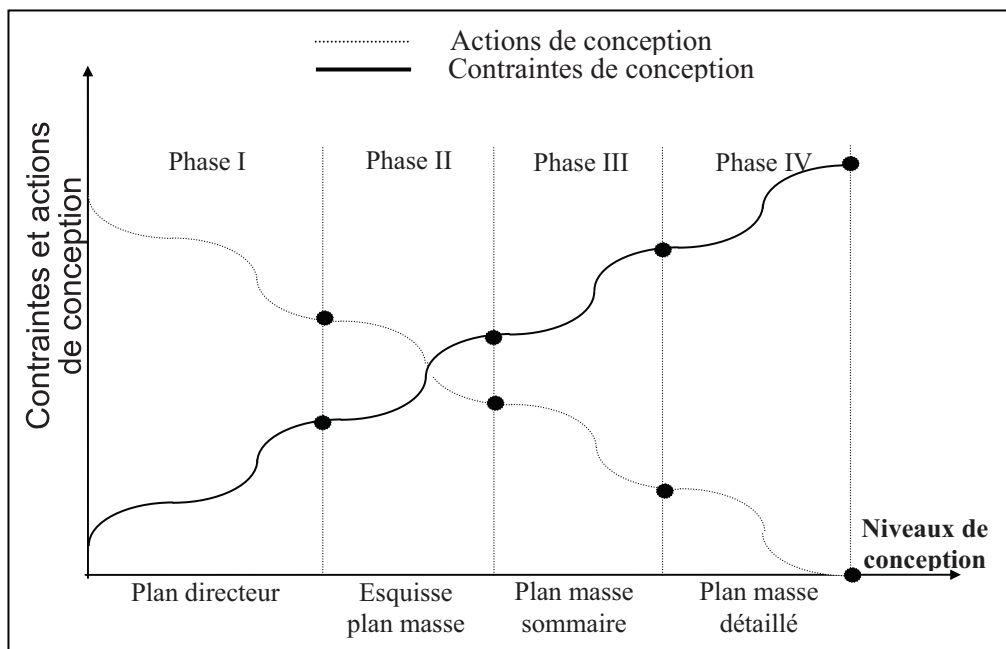
L'évaluation des performances des solutions proposées ;

- La comparaison des performances déterminées avec les objectifs à atteindre et la détermination de l'ensemble des solutions valides ;
- Le choix de la solution ou des solutions optimales suivant des critères relatifs aux aspects économiques, esthétiques, confort, etc. ...



**Figure II-3** : Représentation de l'acte de concevoir pour un niveau de

Ainsi en transportant la boucle sur tous les niveaux de conceptions identifiés précédemment, le processus de la conception peut être complètement décrit, notamment au sujet des outils à mettre en œuvre pour pouvoir le simuler. Nous attirons l'attention sur le fait que plus on avance dans le processus de la conception, plus le nombre de contraintes augmente, ce qui se traduit par une diminution du champ d'action des concepteurs. La **Figure II-4 [ZREIK 86]** suivante représente la variation antagoniste des contraintes de conception et des actions de conception en fonction des différentes phases de conception. Cette variation met en évidence la nécessité de prendre en considération tous les aspects de la densification dès les phases précoces de la conception. En effet, l'intervention au niveau de l'esquisse du plan masse permet d'un point de vue économique, d'améliorer la qualité de la densification.



**Figure II-4** : Variation des actions et des contraintes de conception en fonction de la phase de conception [Zreik 86].

Nous avons adopté précédemment une approche globale pour appréhender la complexité de la conception de la densification. De nombreux travaux, notamment dans le domaine du bâtiment ont fait appel à l'analyse systémique [LE GAUFFRE 88]; [LE FEBVRE 91]. Cette

approche est non seulement adaptée à la résolution des problèmes très complexes, mais elle demeure le meilleur moyen d'apporter des éléments de réponses aux problèmes posés, d'une manière efficaces.

## **II-2/ Finalité et éléments de la conception de la densification**

Après avoir analysé le processus de la conception de la densification, nous analysons la finalité de la densification.

### **II-2-1/ Finalité de la densification :**

Comme pour un bâtiment, l'espace qui peut être une trame doit assurer un certain nombre de fonctions. Ces fonctions sont prises en charge par l'opération densification. Ainsi nous pouvons distinguer six fonctions principales :

- réception du projet correspondant à l'élément assiette ;
- réception du bâtiment avec son emprise correspondant à l'élément espace plate-forme ;
- loisir des résidants correspondant à l'élément espace vert ;
- circulation mécanique et piétonne correspondant aux éléments espaces voiries et allées piétonnes ;
- stationnement mécanique correspondant à l'élément espace parking;
- articulation des fonctions du projet entre elles et avec celles du voisinage du site correspondant à l'élément ensemble des espaces.

Chaque fonction s'exerce dans un espace correspondant, tandis que la fonction articulation des fonctions s'exerce sur l'ensemble des espaces du projet et en relation avec les fonctions du voisinage du site du projet. Nous pouvons appeler cette fonction "organisation spatiale".

### **II-2-2/ Eléments de la densification :**

Les éléments de la densification sont des espaces fonctions. Ainsi nous pouvons distinguer :

- L'assiette est la surface totale qui reçoit le projet ;
- L'emprise est la surface qui reçoit le bâtiment ;
- La plate-forme est la surface qui reçoit l'emprise ;
- L'espace vert est la surface réservé aux plantes ;
- La voirie et les trottoirs reçoivent la circulation mécanique et piétonne;
- Les parkings reçoivent le stationnement mécanique.

Après avoir évalué les espaces des fonctions, il faut organiser et articuler les espaces entre eux. Cette opération est très délicate car elle est sujette à des discordes d'écoles, néanmoins il y a un consensus fondé sur la rationalité fonctionnelle et économique des espaces.

La **Figure II-5** illustre les fonctions et leurs espaces correspondants durant la composition et l'organisation des espaces et à titre d'exemple, l'institut d'urbanisme d'Achen (Aix La Chapelle) est intervenu à Istanbul pour améliorer la fonction circulation et stationnement mécanique en 1993 [**Rusk 1993**].

Les fonctions de la densification peuvent être prises en charge et matérialisées sur un plan masse ou un plan d'aménagement pour une nouvelle opération, soit sur un plan de réaménagement pour corriger et améliorer certaines fonctions pour une opération post-réalisation.

Pour pouvoir évaluer le bon fonctionnement des éléments de la densification, nous devons procéder à l'évaluation des fonctions prise en compte séparément et en groupes. Cette évaluation se fait en fonction des contraintes : rigides, semi-rigides et souples. Cette approche d'évaluation a été proposé dans la méthode "Qualitel" [Ifert 89] et elle est appliquée dans la composition urbaine sous l'appellation organisation urbaine.

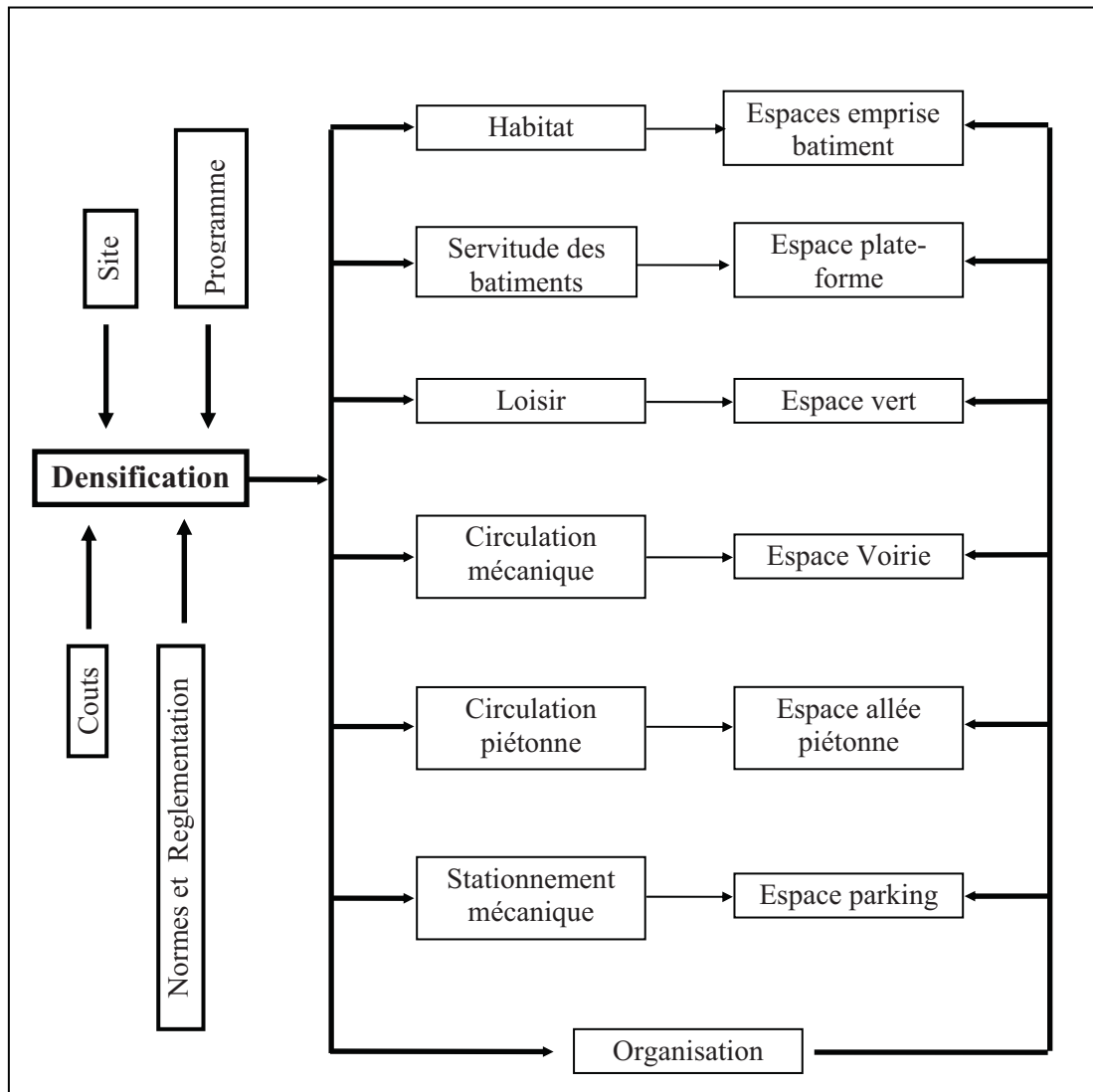


Figure II-5 : Décomposition des fonctions et des éléments espaces de la densification.

### II-3/ Aspect évolutif et multidisciplinaire de la conception de la densification:

La conception de la densification est un processus complexe touchant plusieurs champs d'études et s'inscrivant dans une action dynamique dans le déroulement des études et dans une vision évolutive des besoins et des exigences du futur.

### **II-3-1/ Aspect évolutif de la conception :**

La conception de la densification à une étape donnée dans le temps répond à des besoins et à des exigences d'actualités, mais le bâti a une durée très longue, d'où la nécessité de prendre en considération les changements éventuels dans le comportement des résidents induits par de nouveaux besoins liés aux progrès technologiques et économiques. Ces besoins vont se traduire par de nouvelles fonctions ou par l'amélioration des fonctions existantes.

D'autre par, le processus de la conception de la densification se compose de plusieurs phases successives comme nous l'avons vu précédemment : plan directeur, esquisse plan masse, plan masse sommaire et plan masse détaillé obéissant en général à la boucle proposition/validation/modification. Le processus de la conception est donc dynamique. Cela nous incite à appréhender le processus de la conception de la densification selon une vision évolutive.

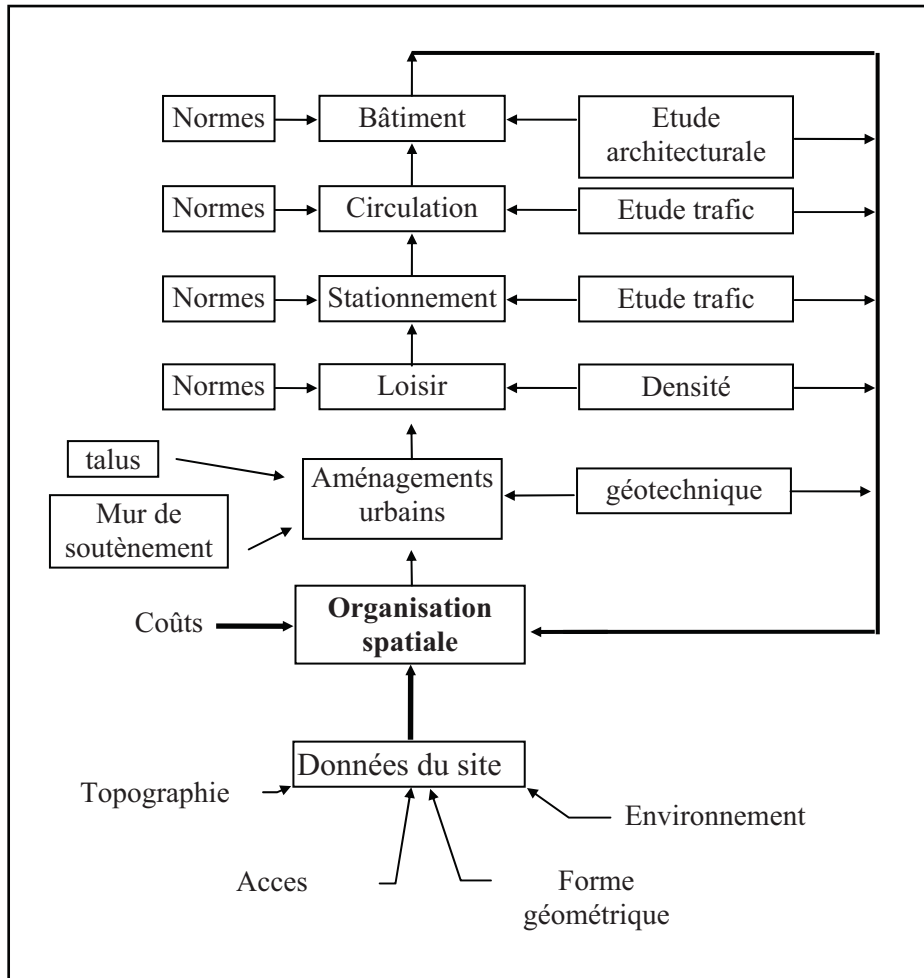
### **II-3-2/ Aspect multidisciplinaire de la conception de la densification :**

Comme nous l'avons déjà présenté précédemment, la densification s'intéresse à des fonctions diverses relevant de plusieurs champs disciplinaires. La fonction bâtiment relève des études d'architecture, de planification, d'engineering, ...etc. ; la circulation mécanique, le stationnement relève des études de la voirie urbaine ; tandis que l'organisation spatiale relève des études des contraintes de la topographie de la géométrie, de la Géotechnie et de l'environnement du site.

Le travail de l'urbaniste consiste, à identifier et à analyser les contraintes générales relevant des différents champs disciplinaires dans le but de les intégrer dans la base des données qui lui permet de concevoir une densification cohérente dans une première phase. Ensuite dans une deuxième phase, il doit évaluer la performance de son action en fonction des coûts de la densification et de l'impact sur l'environnement du site.

L'interaction des différents champs disciplinaires dans le processus de la conception de la densification nécessite une approche multidisciplinaire et interdisciplinaire. En effet, les exigences contemporaines poussent les décideurs et les aménageurs à s'insérer dans le processus de la prévention et la préservation de l'Environnement. D'ailleurs, de plus en plus de responsables posent la nécessité d'imposer des études d'impacts sur leurs communes, lorsqu'il y a une probabilité de projection de grands ensembles sur leur territoire.

Nous pouvons résumer les interactions par la **Figure II-6** suivante :



**Figure II-6 :** Interactions entre les fonctions et les champs disciplinaires durant le processus des études de la densification.

## II-4/ Instruments de la densification

Après avoir identifié les fonctions, nous présentons les moyens qui permettront de les remplir.

Selon l'étape d'intervention, les moyens diffèrent, mais généralement l'urbaniste fait appel soit aux règles d'urbanisme basées sur des études de sécurité, d'hygiène, de comportement, de confort, ... etc., soit aux règles d'usage par défaut. Ces règles sont traduites dans la pratique par des normes ou des recommandations nationales ou locales. Parfois les règles locales sont plus restrictives que les règles nationales.

La présence d'un cahier de charges représente à travers ses prescriptions un instrument de conception de la densification. En effet, dans le cahier des charges, les desiderata du client aide l'urbaniste à concevoir la densification selon des critères qui satisfont les vœux du client.

L'analyse des données du site et de son environnement nécessite des plans et des rapports techniques tels que : levé topographique, plan état des lieux, plan de situation, rapport géotechnique, rapport géologique,... ces plans et ces rapports sont également des instruments qui aide le concepteur dans son action de conception.

Pour les interventions post-réalisation, les corrections ou améliorations des fonctions se font généralement à l'aide de relevés statistiques et concernent surtout les fonctions dynamiques : circulation et stationnement. Il y a possibilité de créer par exemple des parkings en sous-sol ou en élévation ; d'agrandir une artère ; d'organiser la circulation ; ... etc., comme cela se fait actuellement dans la ville d'Alger.

## II-5/ Principales tâches d'un urbaniste

Après avoir cerné le processus des études de la densification d'une manière générale, nous résumons les principales tâches ou actions relevant de la compétence de l'urbaniste (qui est considéré comme le coordinateur des études). Le **Tableau II-1** suivant illustre ces tâches.

**Tableau II-1** : Principales tâches d'un urbaniste.

N°	Tâches
	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Analyse des caractéristiques d'un site.</li> </ul>
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Choix d'un site.</li> </ul>
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Contribution à la conception d'un plan d'urbanisme directeur.</li> </ul>
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Implantation d'une trame.</li> </ul>
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Composition d'un plan masse.</li> </ul>
5	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Organisation des espaces.</li> </ul>
6	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Validation d'un plan masse.</li> </ul>
7	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Production des cahiers de charges.</li> </ul>
8	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Production des devis estimatifs et descriptifs</li> </ul>
9	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Densification d'une forme organisée en fonction de la densité.</li> </ul>
10	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Contribution à la conception des réaménagements.</li> </ul>
11	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Contribution à l'analyse des études environnementales</li> </ul>
12	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Contribution à la prévention et à la gestion des catastrophes en milieu urbain</li> </ul>

## Chapitre III

### **Analyse des composantes de la densification.**

Après avoir présenté et analysé la problématique et le processus de la conception de la densification, nous passons à l'étape identification et analyse des composantes de la densification.

Ce chapitre a pour but d'identifier et d'analyser les éléments permettant d'obtenir une densification sans contraintes des couts. Nous présentons les formules de la densification et les principes généraux d'implantation des différents espaces au sein de la trame.

#### **III-1/ Définition de la densification**

La densification est une opération urbanistique qui consiste à évaluer les espaces correspondant à une densité donnée en logements et ensuite à les faire rentrer dans une forme géométrique suivant une certaine organisation spatiale.

Inversement, l'opération "retour" consiste à évaluer une densité qui correspond à une forme géométrique organisée.

La densification se base sur un programme et un cahier de charges pour faire ressortir les grandes lignes de la conception. C'est une tâche qui s'insère dans un schéma directeur en tant qu'instrument d'urbanisme dans l'élaboration d'un schéma directeur et elle relève de la composition urbaine. Elle se matérialise en tant qu'œuvre de l'esprit par la production d'un document graphique appelé plan de masses.

#### **III-2/ Identification des composantes de la densification**

Les éléments permettant une densification sans contraintes sont identifiés à travers les écrits suivants :

- Recommandations du ministère de l'urbanisme et de la construction [M.U.C 89],
- les ouvrages d'urbanisme [ZUCCHELLI 83] et les manuels d'urbanisme [C.A.T.E.D 81].

Ainsi dans ces ouvrages, nous trouvons les éléments et leurs valeurs normatives pour les projections d'urbanisme opérationnel et de composition urbaine.

Nous pouvons résumer les composantes avec leurs valeurs normatives dans le **Tableau III-1** suivant :

**Tableau III-1** : Composantes de la densification et valeurs recommandées.

N°	Composantes	Valeurs orientatives
1	Surface plancher brut.	20 à 22 m <sup>2</sup> /hab.
2	Espace vert.	05 à 5,5 m <sup>2</sup> /hab.
3	Espace stationnement.	14 à 15 m <sup>2</sup> /voiture.
4	Nombre de véhicules.	0,5 à 1 véhicule/logement.
5	Emprise bâtiment.	L × l.
6	Plate-forme pour emprise.	L + 2,5 à 3,5 m. l + 2,5 à 3,5 m.
7	Voirie.	Longueur et largeurs varient en fonction de la densité et du trafic.

Nous remarquons que dans le Tableau III-1, précédent, les valeurs de la longueur voirie et de la largeur dépendent de la densité en logements et du trafic. Les orientations du manuel d'urbanisme [C.A.T.E.D. 81] préconisent les valeurs illustrées dans les **Tableaux II-2** et **II-3** suivants, sans donner des renseignements sur le modèle de trame ou d'îlot.

**Tableau III-2** : Longueur voirie recommandée à donner à 1 logement.. (Source : Manuel d'urbanisme V.5, 6)

Densité (logements à l'hectare)	Longueur voirie pour un logement
d < 20	12 à 15 m
20 < d < 30	10 à 12 m
30 < d < 50	05 à 06 m
50 < d < 60	04 à 05 m
60 < d < 70	03 à 04 m
70 < d < 80	2,5 à 03 m
80 < d < 100	02 à 2,5 m
100 < d < 120	1,5 à 02 m.

**Tableau III-3** : Largeur minimale des voiries en fonction du stationnement. (Source : Manuel d'urbanisme V.5, 6)

	Largeur minimale pour la voirie		
	Stationnement interdit	Stationnement sur un côté	Stationnement sur deux côtés
<b>Voie à sens unique.</b>	4 m	5 m	8 m
<b>Voie à double sens.</b>	5,5 m	8 m	10 m

### III-3/ Les formules de la densification

L'opération densification est réalisable à l'aide de deux critères : La densité (d) et le coefficient d'emprise au sol (C.E.S.) [ZUCCHELLI 83].

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. Nous pouvons appliquer les formules exprimant la densité et le C.E.S. à différentes échelles : trame ou bâtiment.

Pour un bâtiment, nous aurons :

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{d = \frac{N}{ass} \cdot 10.000 \text{ m}^2} \\ \mathbf{CES = \frac{E}{ass}} \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \mathbf{(3-1)} \\ \mathbf{(3-2)} \end{array}$$

N : Nombre de logements sur l'assiette bâtiment.  
 E : Surface de l'emprise bâtiment (m<sup>2</sup>).  
 ass : Surface de l'assiette bâtiment (m<sup>2</sup>).  
 10.000 m<sup>2</sup> : Surface d'un hectare.

Pour une trame plane orthogonale, nous aurons :

$$\mathbf{d = \frac{N_T}{ASS} \cdot 10.000 \text{ m}^2} \quad \mathbf{(3-3)}$$

$$\mathbf{CES = \frac{m \cdot E}{m \cdot ass} = \frac{E_T}{ASS}} \quad \mathbf{(3-4)}$$

m : Nombre de bâtiments répétitifs  
 ASS : Assiette totale de la trame = m . ass  
 E<sub>T</sub> : Emprise totale de la trame = m . E

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

D'après les formules de la densité et du C.E.S., nous constatons que nous sommes en présence d'un système composé de deux équations et de trois inconnues, donnant ainsi une infinité de solutions. Pour résoudre ce système d'équation, il faut fixer une des trois inconnues.

Dans la pratique, l'obstacle de la troisième inconnue est levé parce qu'on travaille sur la base d'une esquisse d'un modèle de trame adopté pour la circonstance. Dans ce modèle, les

nombre des bâtiments, des logements et des niveaux (étages) sont connus. Il suffit de dimensionner une surface assiette trame en fonction de la densité en logements.

Dans la réalité, 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.

### III-4/ Analyse des formules de la densification

Nous allons analyser les graphes qui expriment les formules de la densification pour connaître leurs formes et leurs impacts sur l'organisation spatiale.

#### Hypothèses :

Nous supposons connaître les données suivantes :

- Dimension bloc : L et l
- Nombre de logements par niveau : x
- Nombre d'habitants par logement : y
- Surface emprise un logement : e
- Surface emprise un bâtiment :  $E = x \cdot e$
- Nombre de bâtiments : m
- Emprise totale de la trame :  $E_T = m \cdot x \cdot e$
- Nombre total de logements :  $N_T = x \cdot n \cdot m$
- Densité :  $d = N \cdot 10000 / ASS$
- Assiette totale trame :  $ASS = l_T \cdot L_T$
- Sur largeur d'une plate-forme :  $l_0 = 2,5 \text{ à } 3,5\text{m}$

#### Variable :

- Nombre de niveaux n

#### III-4-1/ Surface stationnement

Nombre de véhicules :  $N_v = k_v \cdot N_T$

Surface stationnement :  $S_{st} = s_{st} \cdot N_T \cdot k_v$

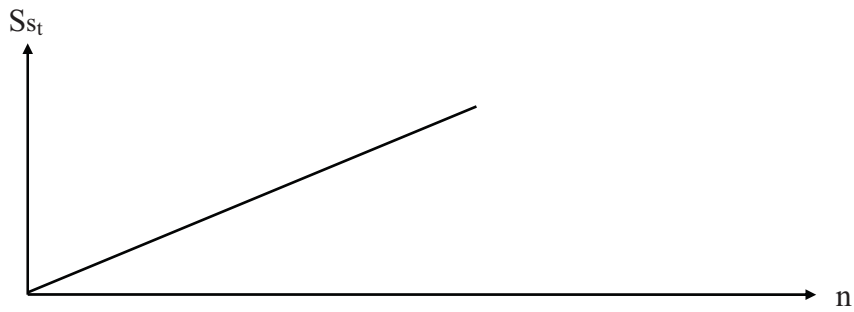
avec  $k_v$  = nombre de véhicules par logement

$s_{st}$  = surface stationnement d'un véhicule.

d'où :

$$S_{st} = s_{st} \cdot k_v \cdot N_T = (s_{st} \cdot k_v \cdot x \cdot m) \mathbf{n} = \text{Const}_1 \cdot \mathbf{n}$$

Nous obtenons la relation qui exprime une droite **Figure III-1** suivante :



**Figure III-1.** Relation surface stationnement en fonction du nombre de niveaux ou de la hauteur.

### III-4-2/ Espace vert :

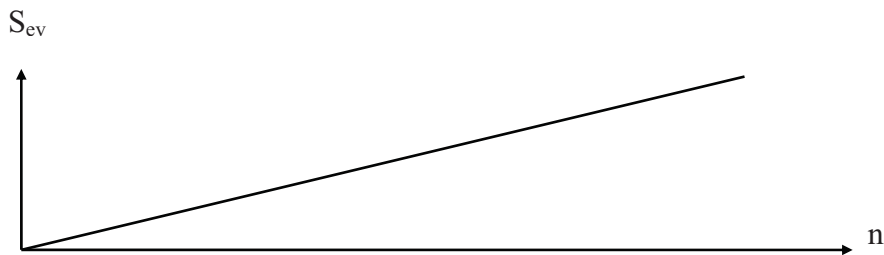
Surface espace vert :  $S_{ev} = s_{ev} \cdot N_T \cdot y$

Surface espace vert par habitant :  $s_{ev}$

Nombre de logements dans une trame :  $N_T$

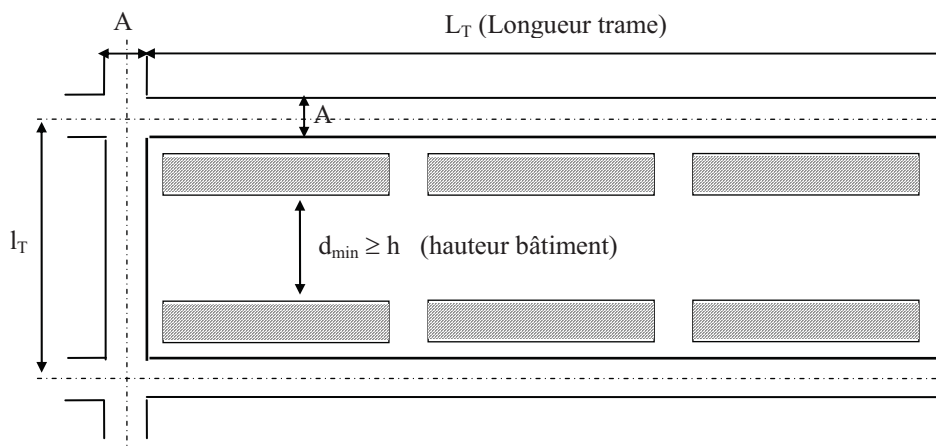
$$S_{ev} = s_{ev} \cdot N_T = (s_{ev} \cdot x \cdot y \cdot m) \mathbf{n} = \text{Const}_2 \cdot \mathbf{n}$$

Nous obtenons la relation d'une droite illustrée par la **Figure III-2** suivante :



**Figure III-2 :** Relation surface espaces verts en fonction du nombre de niveaux ou de la hauteur.

Nous allons analyser les longueurs de voiries pour ensuite exprimer ces longueurs en surface. Pour cela prenons une trame de longueur  $L_T$  et de largeur  $l_T$  selon la **Figure III-3** suivante :



**Figure III-3:** Schéma d'une trame plane orthogonale (n niveaux).

Du moment que les largeurs voiries, trottoirs et les surlagueurs des plates-formes bâtiments sont connues, la largeur totale de la trame va dépendre de la distance entre les bâtiments.

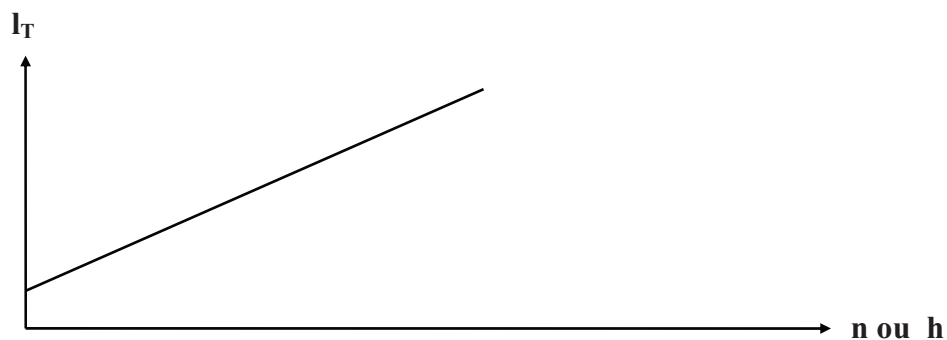
$$\text{Largeur trame : } l_T = A + 2(1 + 2l_0) + d_{\min}$$

Toutes ces largeurs sont fixes sauf la distance entre bâtiments " $d_{\min}$ " qui dépend de la hauteur des bâtiments sous la forme :

$$d_{\min} = \text{Const}_3 \cdot n$$

$$\text{d'où : } l_T = A + 2(1 + 2l_0) + d_{\min} = \text{Const}_4 + (\text{Const}_3 \cdot n)$$

Cette relation exprime le graphe d'une droite illustrée par la **Figure III-4** suivante :

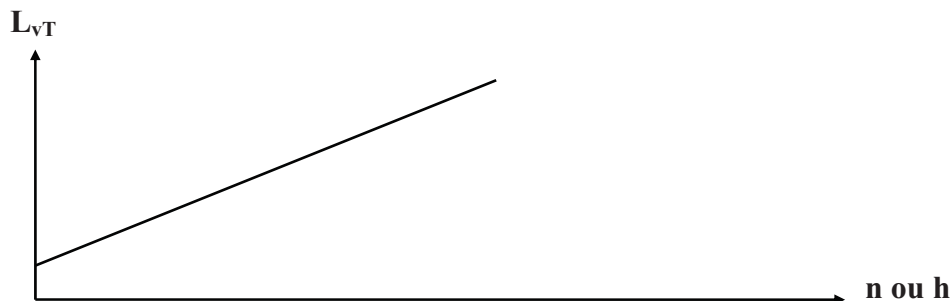


**Figure III-4 :** Relation largeur trame en fonction du nombre de niveaux ou de la hauteur.

La longueur totale voirie de la trame est :

$$L_{vT} = l_T + L_T = \text{Const}_4 + (\text{Const}_3 \cdot n) + \text{Const}_5 = \text{Const}_3 \cdot n + \text{Const}_6$$

Cette relation exprime le graphe d'une droite selon la **Figure III-5** suivante :



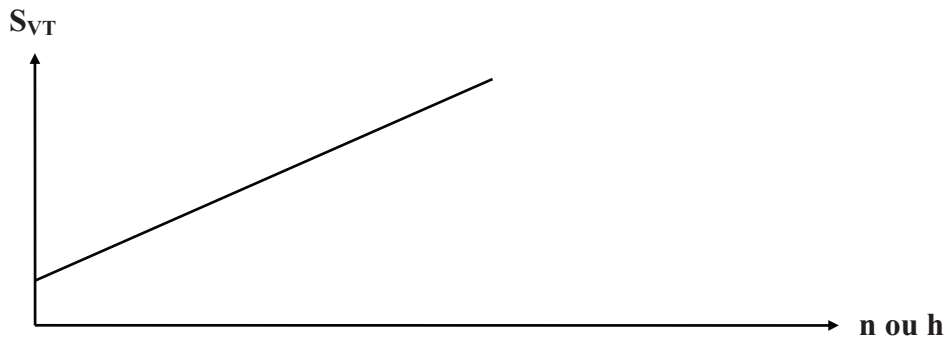
**Figure III-5:** Relation longueur voirie totale de la trame en fonction du nombre de niveaux ou de la hauteur.

La surface totale de la voirie de la trame est :  $S_{VT} = L_{VT} \cdot A$

Dans le cas où A est une constante, nous obtenons :

$$S_{VT} = L_{VT} \cdot A = (\text{Const}_3 \cdot \mathbf{n} + \text{Const}_6) \text{Const}_7 = (\text{Const}_3 \cdot \mathbf{n}) + \text{Const}_8$$

Cette relation exprime la forme d'une droite illustrée par la **Figure III-6** suivante :



**Figure III-6** : Relation surface voirie totale de la trame en fonction du nombre de niveaux ou de la hauteur.

**Remarque :** La longueur voirie totale d'une trame sera étudiée en détail dans le **Chapitre VIII** car elle dépend de la forme et de la surface de la trame, donnant une droite légèrement fléchissante.

**III-4-3/ Le CES :**

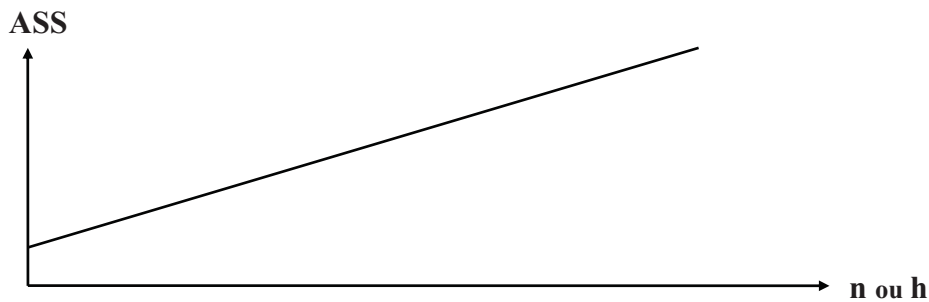
$$\text{CES} = \frac{E_T}{\text{ASS}}$$

$$\text{ASS} = S_{\text{pfT}} + S_{\text{st}} + S_{\text{evT}} + S_{\text{VT}}$$

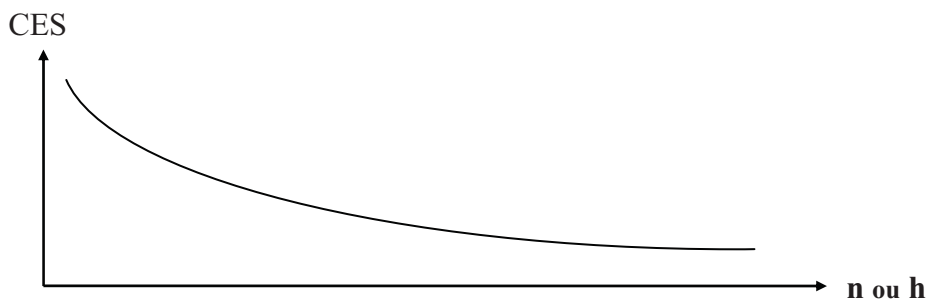
$$\begin{aligned} \text{ASS} &= C_0 + (C_1 \cdot \mathbf{n}) + (C_2 \cdot \mathbf{n}) + (C_8 + C_3 \cdot \mathbf{n}) \\ &= C_0 + C_8 + (C_1 \cdot \mathbf{n}) + (C_2 \cdot \mathbf{n}) + (C_3 \cdot \mathbf{n}) \\ &= C_0 + C_8 + (C_1 + C_2 + C_3) \mathbf{n} = C_9 + C_{10} \cdot \mathbf{n} \end{aligned}$$

$$\text{CES} = \frac{E_T}{\text{ASS}} = \frac{\text{Const}}{C_9 + C_{10} \cdot \mathbf{n}}$$

Nous constatons que les relations qui expriment l'assiette de la trame et le coefficient d'emprise au sol de la trame sont une droite et une hyperbole respectivement selon les **Figures III-7** et **III-8** suivantes :



**Figure III - 7** : Surface assiette de la trame en fonction du nombre de niveaux ou de la hauteur.

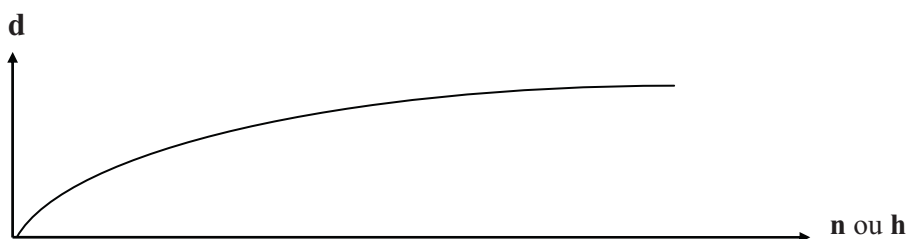


**Figure III - 8** : Coefficient d'emprise au sol (CES) de la trame en fonction du nombre de niveaux ou de la hauteur.

#### III-4-4/ La densité en logements

$$d = \frac{N_T}{ASS} \cdot 10.000 = \frac{x \cdot y \cdot m \cdot n}{C_9 + C_{10} \cdot n} \cdot 10.000 = \frac{C_{11} \cdot n}{C_9 + C_{10} \cdot n} \cdot 10.000$$

Nous pouvons assimiler cette relation à une forme connue qui représente une courbe ressemblant à celle d'un logarithme selon la **Figure III-9** suivante :



**Figure III-9** : Densité en logements de la trame en fonction du nombre de niveaux ou de la hauteur.

### III-5/ Implantation des espaces au sein d'une trame plane orthogonale

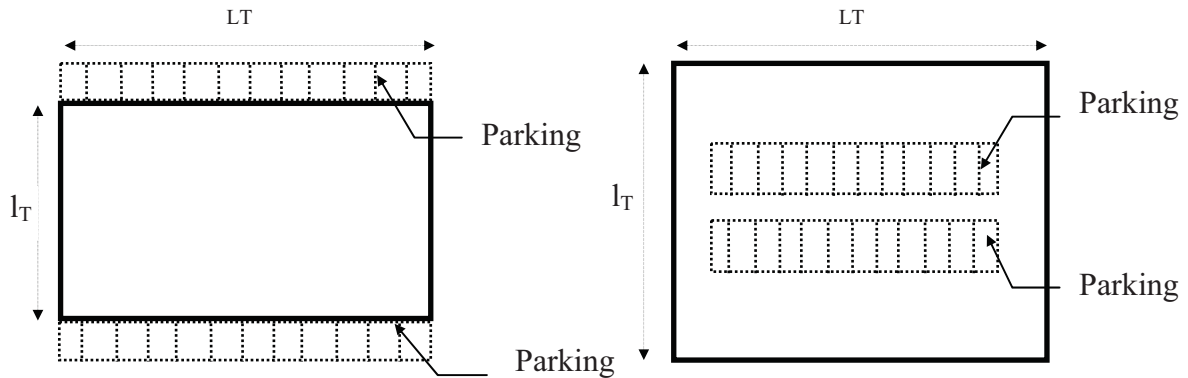
Dans ce paragraphe nous donnons les recommandations pour implanter les différents espaces.

Recommandation : La minimisation de la longueur voirie de la trame.

Si nous avons une surface fixe, le périmètre le plus petit correspond à une forme de cercle ou à défaut à celui d'une forme carrée. Donc nous allons implanter les espaces selon ce principe.

#### III-5-1/ Implantation des parkings et dimensions de la trame

Nous pouvons schématiser l'implantation des parkings par la **Figure III-10** suivante :

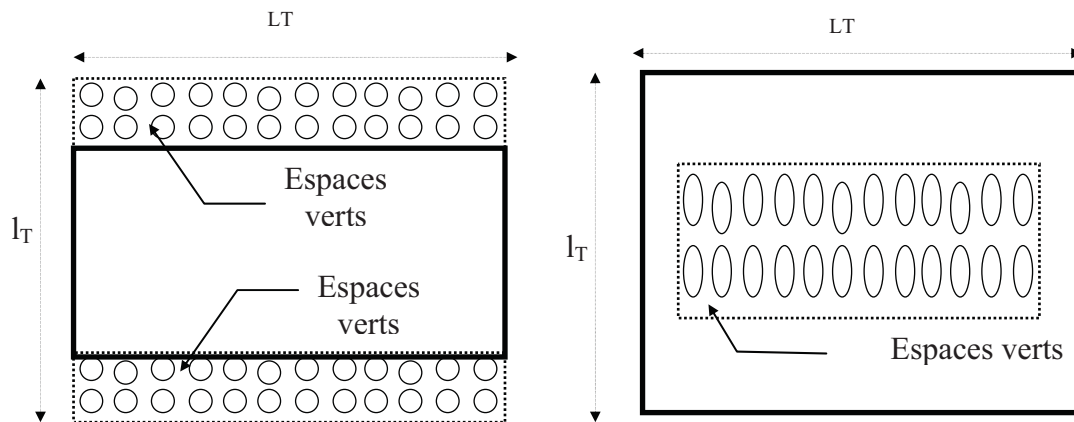


**Figure III-10** : Emplacement des parkings au sein d'une trame orthogonale.

Cas (a) : parking le long de la voirie. Cas (b) : parking entre les batiments

#### III-5-2/ Implantation des espaces verts et dimensions de la trame

L'implantation des espaces verts est représentée dans la **Figure III-11** suivante :

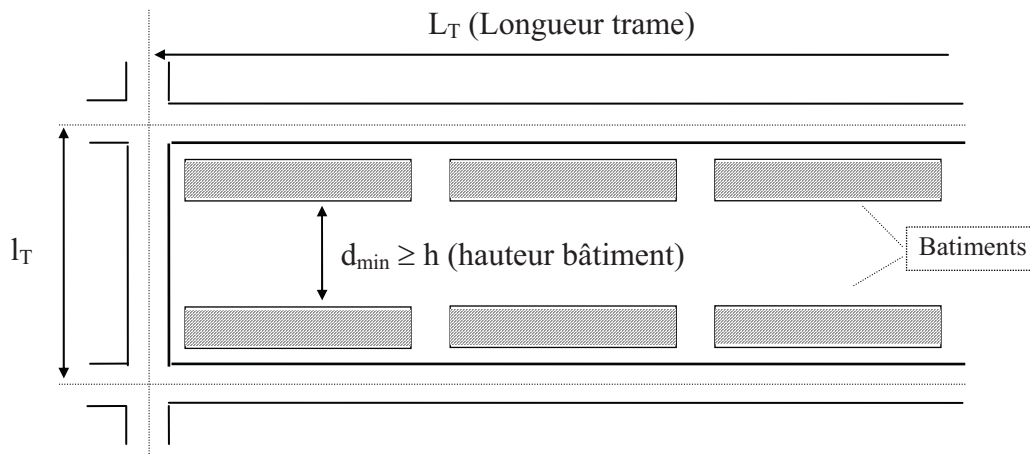


**Figure III-11** : Emplacement des espaces verts au sein d'une trame orthogonale.

Cas (a) : parking le long de la voirie. Cas (b) : parking entre les batiments

### III-5-3/ Emplacement des bâtiments au sein d'une trame

Pour éviter d'agrandir la longueur de la trame, il faut disposer les bâtiments avec une distance maximale entre leurs façades selon la **Figure III-12** suivante :



**Figure III-12** : Emplacement des bâtiments au sein d'une trame orthogonale.

Cette disposition de bâtiments fait agrandir la largeur ( $l_T$ ) permettant ainsi de se rapprocher d'une forme carrée.

### III-5-4/ Evaluation des espaces

Variabe : n nombre de niveaux

Données :

- Dimension bloc : L et l
- Nombre de logements par niveau : x
- Nombre d'habitants par logement : y
- Surface emprise un logement : e
- Surface emprise un bloc :  $E = x \cdot e$
- Nombre de bâtiments : m
- Emprise totale de la trame :  $E_T = m \cdot x \cdot e$
- Nombre total de logements :  $N_T = x \cdot n \cdot m$
- Densité :  $d = N \cdot 10000 / ASS$
- Assiette totale trame :  $ASS = l_T \cdot L_T$
- Sur largeur d'une plate-forme :  $l_0 = 2,5 \text{ à } 3,5\text{m}$
- Longueur voirie pour un logement :  $l_v$  (voir **Tableau III-1** précédent)
- Largeur voirie plus trottoir :  $A = 8 \text{ à } 16\text{m}$  (voir **Tableau III-2** précédent)

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 :  $S_{T,e,v} = s_{e,v} \cdot N_T \cdot y$

- Espace stationnement :  $S_{T.s,t} = k_v \cdot N_T$
- Espace total de la voirie plus trottoir :  $S_{v,T} = l_v \cdot N_T \cdot A$

$s_{ev}$  : espace vert par habitant

$k_v$  : nombre de véhicules par logement

Comme nous l'avons dit précédemment dans le chapitre contexte, le prédimensionnement sera le résultat d'au moins deux itérations effectuées sur la longueur voirie, ce qui fait que les valeurs obtenues dans le premier essai doivent être corrigées en fonction des critères  $l_0$  et  $A$ .

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{CES} = \frac{E_T}{S_{pFT} + S_{ev} + S_{st} + S_{vT}} \quad (\text{à l'échelle trame}) \end{array} \right. \quad (3-4)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} d = \underbrace{\frac{n \cdot \text{CES}}{e}}_{\text{Echelle bloc}} \cdot 10.000 = \underbrace{\frac{N_T}{\text{ASS}}}_{\text{Echelle trame}} \cdot 10.000 \end{array} \right. \quad (3-5)$$

$$\text{ASS} = S_{pFT} + S_{ev} + S_{st} + S_{vT} \quad (3-6)$$

Selon les manuels d'urbanisme [CA.TE.D. 81], il faut procéder aux vérifications suivantes :

Vérification :

- Distance façade principale axe voirie  $\geq h/2$ ,
- Distance entre façades des bâtiments  $\geq h$ ,
- Largeur trottoir selon le tableau II-4,
- Largeur de la voirie selon le tableau III-4

**Tableau III-4** : largeur des trottoirs

	$l \geq$	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 III-5** : largeur voirie de desserte sans stationnement

	$l \geq$	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	$l \leq$	9 m	pour	80	$d \leq$	100 logts
	$l \geq$	10 m	pour		$d >$	100 logts

Dans le cas où il faut apporter une correction, il est alors nécessaire de refaire le prédimensionnement de la densification de la trame plane orthogonale pour faire ressortir les évaluations réelles des espaces et la fiche technique de la trame.

## Chapitre IV

### **Identification et analyse des contraintes à la densification**

Après avoir analysé les composantes et les formules de la densification, nous identifions et nous analysons les contraintes générales qui **structurent** celle-ci. L'objectif de ce chapitre est de classer les contraintes en fonction de leurs natures et leurs origines afin de les utiliser comme des données dans la deuxième partie de la thèse.

#### **IV-1/ identification des contraintes**

L'identification des contraintes a nécessité, en dehors de notre propre expérience dans le domaine de la viabilisation, des consultations auprès de différents organismes et professionnels.

##### **IV-1-1/ Consultations :**

Ces consultations ont été le résultat de plusieurs recommandations de la part de praticiens, d'autorité public et d'enseignants.

- Ministère de l'Urbanisme de la Construction et de l'Habitat (**M.U.C.H.**), Direction de l'Urbanisme ;
- Centre National des Etudes et Recherche en Urbanisme (**C.N.E.R.U.**) ;
- Bureau d'Etudes et de Recherche en Engineering Général (**B.E.R.E.G.**) ;
- Messieurs : BENSALAM et BENYOUCHEF, Maître de conférence à l'Ecole Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme d'El-Harrach (**E.P.A.U.**), Alger.
- Messieurs : feu Laradi, professeur à la Faculté de génie civil de l'Université des Sciences et de la technologie de bab Ezzouar (**USTHB**), Alger.
- Monsieur Boulémia : Maître de conférences à la Faculté des Sciences appliqués, Filière de génie civil, Université d'Artois, France.

##### **IV-1-2/ Informations recensées :**

Les différents organismes et personnes sollicités pour nous aider à cerner la liste des contraintes rencontrées durant le processus de la densification sont unanimes sur les points suivants : réglementation, normes, cahier des charges, site et coûts.

M.U.C.H.	: réglementation et normes.
C.N.E.R.U	: normes, site et plan d'occupation des sols (P.O.S.).
B.E.R.E.G.	: cahier des charges, site et coûts de la viabilisation.
Les professionnels	: réglementation, normes, cahier des charges, site et coûts.

#### **IV-2/ Classification des contraintes en fonction de leurs origines**

Après avoir identifié les contraintes générales nous allons classer celles-ci en fonction de leurs origines afin de guider le concepteur dans ses investigations. Ces dernières concernent les guides ou documents réglementaires, les données techniques du site et celles

des coûts. Nous pouvons classer les contraintes en fonction de leurs origines selon le **Tableau IV-1** suivant :

**Tableau IV-1** : Classification des contraintes selon leurs origines.

<b>Origine des contraintes</b>	<b>détails des contraintes</b>
Réglementation et normes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plan d'occupation des sols (P.O.S.).</li> <li>• Distance minimale entre les façades bâtiments.</li> <li>• Distance minimale entre façade bâtiment et axe de la voirie.</li> <li>• Hauteur maximale des bâtiments.</li> <li>• Normes d'évaluation des espaces.</li> <li>• Normes anti-nuisances.</li> <li>• Normes infrastructures techniques.</li> </ul>
Cahier des charges	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Choix des distances entre façades bâtiments.</li> <li>• Choix des distances entre façades bâtiments et axe de la voirie.</li> <li>• Choix des valeurs pour l'évaluation des espaces.</li> <li>• Recommandations pour : hauteurs des bâtiments, densité à donner, types de logements, ...etc.</li> <li>• Spécification des constructions, des matériaux et des fonctions à donner et divers souhaits.</li> <li>• Budget de l'opération.</li> </ul>
Site	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Forme et topographie.</li> <li>• Données géotechniques.</li> <li>• Données hydrogéologiques.</li> <li>• Données sismiques.</li> <li>• Données environnement.</li> <li>• Autres données.</li> </ul>
Coûts	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Données des coûts de la construction en élévation.</li> <li>• Données du coût du foncier.</li> <li>• Etude du coût de la viabilisation choisie.</li> </ul>

### **IV-3/ Analyse des contraintes :**

Nous analysons les contraintes citées plus haut pour aboutir à une classification en fonction de leurs natures.

#### **IV-3-1/ Réglementation et normes d'évaluation et d'occupation des espaces**

Ces règlements et normes ont pour objectif de normaliser l'urbanisme et la construction d'une manière générale et émanent des institutions publiques chargées de l'urbanisme et de la construction.

La réglementation concerne l'utilisation et l'occupation des espaces à usage public ou privé. Ces règles et normes évitent de générer des conflits entre l'administration et le citoyen et entre les citoyens.

Les normes permettent d'évaluer et d'occuper l'espace en fonction des études liées au comportement des résidents. Ainsi qu'à la santé et à l'hygiène publique.

Nous remarquons ainsi que les règles et les normes vont structurer le paysage et l'aspect de l'urbain. Nous pouvons dire que la réglementation et les normes sont obligatoires et découlent d'une nature rigide.

#### **IV-3-2/ Le cahier des charges**

C'est un document émis par un bureau d'études, dans lequel le maître d'ouvrage exprime ses volontés et ses souhaits. Ces derniers doivent être compatibles avec la réglementation et les normes en vigueur. Comme il peut orienter le concepteur dans le choix des critères de confort, d'esthétique, ... etc. Le client peut également donner une fourchette de budget réservé à une opération de densification donnée pour situer les limites du programme envisagé.

Le concepteur doit exprimer les recommandations et volontés du client dans la conception de la densification. C'est pour cela que nous dirons que le cahier des charges exprime une contrainte de nature rigide.

#### **IV-3-3/ Les données du site**

Notre analyse se limite aux données de faisabilité d'une opération de densification. En effet s'il y a existence de contraintes majeures qui empêchent ou qui rendent très difficile une conception de densification, l'analyse ne concerne plus les données du site mais plutôt la faisabilité de la densification.

Les principaux obstacles à la densification d'un site sont : une topographie très accidentée, une présence d'eau en surface ou en profondeur et une faible portance du sol. La nature de ces contraintes est variable. En effet, l'existence d'artifices, pour lever ces contraintes selon un certain coût de viabilisation, peut les classer comme rigides ou bien semi-rigides. Néanmoins, nous pouvons dire que, si le site possède une topographie accidentée et une faible portance de sol, ces deux caractéristiques du site sont considérées comme étant des contraintes de nature rigide. Par contre, si le site se caractérise par une topographie peu accidentée, la contrainte topographie est prise en charge par le coût de la viabilisation et dans ce cas elle est considérée comme une contrainte de nature semi-rigide.

#### **IV-3-4/ Les coûts**

Les coûts concernent la construction en élévation, la viabilisation et le foncier. La construction en élévation a un coût plus au moins constant indépendamment des caractéristiques du site. Le coût dépend uniquement de la qualité des matériaux utilisés et des difficultés de réalisation en élévation.

La viabilisation concerne la préparation du site pour recevoir les bâtiments, les infrastructures techniques et le raccordement des réseaux avec ceux déjà existant dans le site. La nature topographique, géotechnique et hydrogéologique du site aura un impact sur les coûts de réalisation des travaux de la viabilisation.

Le foncier est cédé à un certain coût d'achat. Ce dernier varie en fonction de la situation géographique du site (zone urbaine, zone suburbaine), de la nature du sol (rocheux, tendre, accidenté) et de l'opportunité de l'investissement.

Si l'opération densification est jugée faisable, les coûts vont guider la conception dans ses différentes propositions. Nous pouvons dire que les contraintes de coût sont de nature semi-rigide.

#### **IV-3-5/ Les contraintes techniques**

Les contraintes non citées sont considérées comme des contraintes qui ne structurent pas la densification et elles sont classées comme des contraintes souples.

### IV-3-6/ Classification des contraintes selon leurs natures

Suite à l'analyse précédente nous pouvons classer les contraintes en fonction de la nature de leurs impacts sur la densification selon le **Tableau IV-2** suivant :

**Tableau IV-2** : Classification des contraintes en fonction de leurs natures.

<b>Contraintes rigides</b>	<b>Contraintes semi-rigides</b>	<b>Contraintes souples</b>	<b>Autres contraintes</b>
- Réglementation. - Normes. - Cahier des charges. - Topographie très accidentée. - Présence d'eau en surface ou en profondeur. - Faible portance de sol.	- Coût du foncier. - Coût de la construction en élévation. - Coût de réalisation de la viabilisation du site. - Présence de talus. - Implantation des bâtiments par rapport aux talus	- Normes d'évaluation et d'occupation des espaces. - Organisation des espaces. - Critères de fonctionnalité. - Critères d'intégration du site dans son environnement. - Critères d'intégration de la trame dans le site.	- Ratio longueur voirie pour un logement. - Choix du type de soutènement

### **Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons analysé identifié et classé les contraintes en fonction de leurs impacts sur la composition de l'urbain et en fonction de leurs origines. Ces contraintes ont été appelées rigides à cause de la difficulté à les surmonter. En effet, les artifices à mettre en œuvre pour réduire leurs impacts nécessitent des surcoûts que ni le maître d'ouvrage ni les règles commerciales ne le permettent.

### **Conclusion de la première partie**

Le premier chapitre avait pour objectif d'exposer les documents de l'urbanisme et de situer le plan de masse dans le contexte de la pratique actuelle en France et en Allemagne. Nous attirons l'attention sur le fait que les documents réglementaires ne sont pas une nécessité dans la mesure où certains pays comme les USA ne possèdent pas de code d'urbanisme tandis que d'autres comme l'Allemagne utilisent le projet urbain qui est beaucoup plus souple que des règlements.

Le deuxième chapitre avait pour objectif de présenter la problématique de la conception de la densification dans son contexte et de faire une brève analyse du processus de conception de la densification pour situer les limites et les motivations de nos travaux. L'analyse ne représente pas une fin en soi. Mais une étape nécessaire pour orienter notre action dans les deux chapitres qui vont suivre. En effet, il serait vain de vouloir proposer un outil de conception si nous ne maîtrisons pas le processus des études de la densification.

Le troisième chapitre avait pour but d'analyser les éléments et les formules permettant la densification d'une trame plane orthogonale sans contraintes et d'identifier les principes

généraux d'implantation des espaces au sein de celle-ci. Les résultats de cette analyse nous permettent de concevoir une densification en fonction seulement des données normatives ou d'usage et des critères de choix : des largeurs de la voirie, des plates-formes ; des données du stationnement et de l'espace vert ; du rapport  $L_T/l_T$ , de la taille de l'agglomération et de la longueur voirie à donner à un logement ( $l_v$ ). Même dans ce cas d'apparence simple, la solution du problème reste entachée d'un manque de précision en ce qui concerne la longueur voirie à donner à un logement car la valeur réelle  $l_v$  ne sera connue qu'après projection. Les critères de choix des valeurs d'évaluation prises comme données sont tributaires de plusieurs contraintes.

Le quatrième chapitre avait pour objectif d'identifier et d'analyser les contraintes. L'identification et l'analyse nous ont permis de les classer en fonction de leurs origines et de leurs natures d'impact sur la densification. Cette classification permet d'identifier et d'établir les relations entre ces contraintes et leurs impacts respectifs sur la densification. En effet, le traitement des contraintes nécessite une structuration des relations entre les contraintes et leurs impacts.

Nous rappelons que l'objectif principal de la première partie était l'analyse du processus de la conception de la densification d'une trame plane orthogonale. L'analyse a fait ressortir les différentes fonctions (loisirs, circulations, stationnements, logements, ... etc.) destinées aux différents espaces, leurs principes d'implantation au sein d'une trame, les valeurs normatives de l'évaluation des espaces, les contraintes et leurs classifications. L'identification et l'analyse des différentes contraintes va orienter notre action dans la deuxième partie qui va suivre et qui concerne l'identification des relations entre les contraintes et leurs impacts sur la densification.

## **DEUXIEME PARTIE :**

### **Identification des Relations Contraintes/Impacts sur La densification**

Cette partie a pour objectif l'identification des relations entre la densification et les contraintes. L'identification est le résultat de modélisations construites à partir des données du site et des coûts de la densification et de l'interprétation des normes, de la réglementation et du cahier des charges.

L'articulation des chapitres découle du précédent tableau III - 2, de la première partie qui illustre les contraintes en fonction de leurs origines et de leurs natures respectives. Nous distinguons quatre chapitres :

- \* Relations contraintes rigides / impacts sur la densification.
- \* Relations contraintes semi-rigides / impacts sur la densification.
- \* Relations contraintes souples / impacts sur la densification.
- \* Relations contraintes longueurs voirie/impacts sur la densification.

Nous rappelons que les actions menées dans les différents chapitres de cette partie sont dictées par l'analyse faite dans la première partie de notre thèse.

Les relations que nous allons établir serviront comme hypothèses pour la troisième partie. En effet, les relations contraintes rigides / impacts sur la densification permettront de déterminer la limite de la densification (élimination des solutions non admissibles). Les relations semi-rigides / impacts sur la densification permettront d'optimiser la limite précédente (optimisation des solutions admissibles). Le reste des autres relations n'a pas d'impacts sur la limite de la densification, mais a des impacts sur l'organisation spatiale de la trame et sur des surcoûts mineurs laissés à la charge du concepteur de la densification.

Les différentes modélisations que nous allons utilisées reposent sur la méthode déductive (hypothèses déductive) et sur la méthode récurrence. La méthode déductive consiste à avancer une vérité et à la démontrer par la suite, tandis que la méthode récurrence consiste à étendre, la vérité d'une propriété commune a au moins deux membres d'une série de termes homogènes, à l'ensemble de la série.

## Chapitre V

### **Relations contraintes rigides/impacts sur la densification**

L'objectif de ce chapitre est de construire les différentes relations entre les contraintes rigides et leurs impacts qui limitent d'une manière stricte la densification .Ces relations concernent les normes, la réglementation, le cahier des charges et la portance du sol du site.

#### **V-1 : Relations entre les normes de la densification et la densité en logements**

Les contraintes normatives structurent la forme de l'espace urbain et la densité en logements d'un site. En effet, les données normatives traduites par les valeurs minimales et maximales à prendre pour l'évaluation et l'occupation de l'espace auront un impact de limitation stricte sur la densité obtenue. Cette limitation découle de la hauteur des bâtiments et des ratios d'évaluation des espaces fixés par les normes.

##### **V-1-1 : Relation Densité/Ratio d'évaluation des espaces**

Selon la formule  $d = \frac{N_T}{ASS} 10.000$  ( $10.000 \text{ m}^2 =$  surface d'un hectare), nous constatons que la densité est inversement proportionnelle à l'assiette dans le cas où le nombre de logements  $N_T$  est constant. L'assiette (ASS) est le résultat de la somme des éléments espaces sous la forme :

$$ASS = \sum_{i=1}^m ass_i \quad (5-1)$$

Si l'évaluation des différentes assiettes (ass) des bâtiments est faite selon une fourchette de ratios minimum et maximum , nous obtenons deux valeurs extrêmes pour l'assiette totale de la trame comme suit :

$$ASS_{\min} = \sum_{i=1}^m ass_{i,\min} \quad \quad \quad ASS_{\max} = \sum_{i=1}^m ass_{i,\max}$$

Pour un nombre total de logements  $N_T$  constant, la densité suit les valeurs extrêmes de l'assiette et nous obtenons :

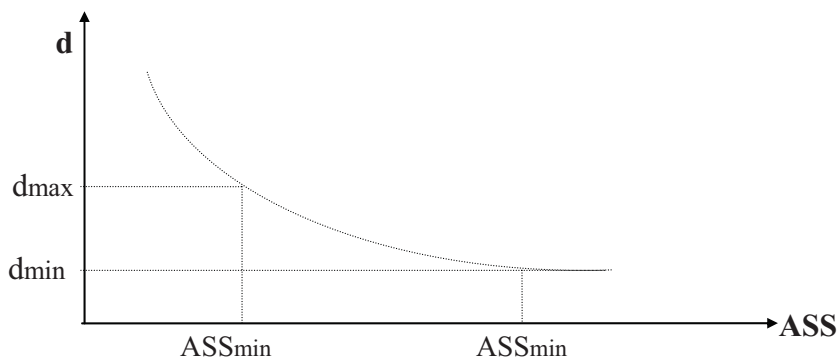
$$d_{\min} = \frac{N_T}{ASS_{\max}} 10.000 \quad \text{et} \quad d_{\max} = \frac{N_T}{ASS_{\min}} 10.000$$

A travers la variation de l'assiette totale (ASS) de la trame, les valeurs extrêmes des normes définissent un intervalle de variation de la densité selon la relation suivante :

$$d_{\min} < d < d_{\max} \Rightarrow$$

$$\frac{N_T}{ASS_{\max}} 10.000 < d < \frac{N_T}{ASS_{\min}} 10.000 \quad (5-2)$$

Le graphe de cette relation est exprimé par un spectre de points définis par les deux courbes extrêmes et compris entre elles représentant la variation de la densité en fonction de l'assiette totale. La **Figure V-1** illustre cette relation.



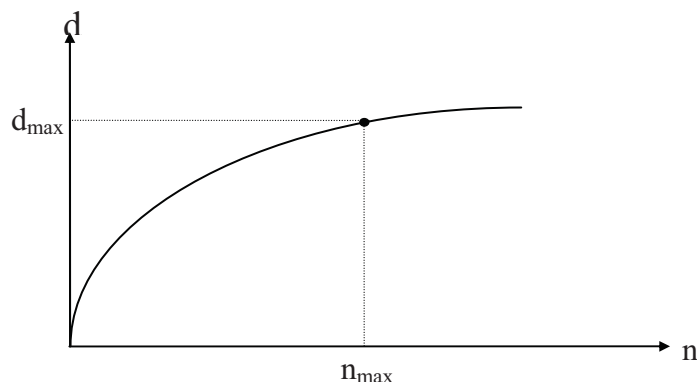
**Figure V-1** : Relation densité/assiette en fonction des valeurs extrêmes des normes.

### V-1-2 : Relation densité/hauteur maximale des bâtiments

Si la hauteur des bâtiments est limitée à  $h_{\max}$ , alors le nombre de niveaux est connu et égal à  $n_{\max}$ . Cela veut dire que le nombre de logements dans un bâtiment n'excède pas  $N_{\max} = x \cdot n_{\max}$  (où :  $x$  = nombre de logements par niveau).

comme  $d = \frac{N}{ASS} 10.000$ , nous obtenons cette relation :  $d_{\max} = \frac{x \cdot n_{\max}}{ASS_{\max}} 10.000$

Si  $x$  et  $ass$  sont constants pour chaque niveau, la relation s'écrit  $d < d(n_{\max})$  et elle est représentée par le schéma du graphe de la **Figure V-2** suivante :



**Figure V-2** : Relation densité (d)/ nombre maximal de niveaux ( $n_{\max}$ ) des bâtiments.

## **V-2 : Relations entre les prescriptions du cahier des charges et la densification**

Les prescriptions du cahier des charges sont considérées comme des données exprimant les critères de choix du maître d'ouvrage.

Si les valeurs des ratios d'évaluation des espaces sont fixés, le concepteur procède uniquement à une vérification de compatibilité de ces ratios avec les normes en vigueur.

Si les valeurs des ratios d'évaluation des espaces ne sont pas fixées, alors le concepteur propose des valeurs de ratios conformément aux orientations ou à défaut à l'appréciation du client. Nous sommes en présence de deux alternatives :

- Les ratios d'évaluation sont connus, alors le concepteur les considère comme données.
- Les ratios d'évaluation ne sont pas connus, dans ce cas le concepteur propose des ratios au client et il continue sa conception après validation de ces derniers. Le concepteur propose ensuite deux ou trois variantes d'avant-projet.

Nous constatons que la relation entre le cahier des charges et la densification est de type "donnée du problème".

## **V-3 : Relation entre la portance du sol et la densité**

L'objectif de ce sous chapitre est l'identification de la relation pouvant exister entre la densité en logements et la portance du sol.

En effet, pour des raisons sociales et économiques, l'urbanisation a tendance à se développer. Les exemples sont là pour attester que les grandes villes sont en train de connaître une croissance urbaine en hauteur. En effet les prix de terrain à bâtir sont très cher et la tentation d'élever des tours s'avère économique à partir d'un certain seuil de rentabilité (coût m<sup>2</sup> bâtir/coût m<sup>2</sup> terrain). Du point de vue technique, la possibilité de construction en hauteur pour obtenir une grande densification dépend des caractéristiques géotechniques du sol et du coefficient d'emprise au sol.

Les conséquences d'une densité élevée sur l'espace et la forme urbaine sont connues. A titre illustrative nous pouvons citer les constats suivants:

- Manque d'espaces de loisirs,
- Manque d'espaces verts,
- Concentration des circulations mécaniques et piétonnes,
- Concentration d'espaces de stationnement,
- Diminution des espaces privés au profit des espaces publics ou semi-publics.

Les avantages que procure une croissance urbaine du point de vue économique et géographique sont connus :

- Economie du foncier urbain ;
- Préservation des terres agricoles dans l'aménagement du territoire ;
- Rentabilisation maximale des infrastructures de transport public.

La densité dépend d'une seule contrainte physique : Portance du sol.

La caractéristique portance du sol dépend de deux paramètres : résistance à l'enfoncement et résistance au glissement d'un terrain. La portance du sol indique le (Tonnage) poids que peut recevoir un sol en fonction des tassements provoqués par des charges et du glissement d'un massif chargé par le poids des bâtiments.

Hypothèses :

- Le poids total de m<sup>2</sup> plancher **p** ( T/ M<sup>2</sup>) ;
- La portance  $\bar{\sigma}_s$  (T/M<sup>2</sup>)

Variables :

- Le nombre maximum d'étages **n<sub>max</sub>**.

Prédimensionnement :

Du fait que nous utilisons des radiers pour recevoir les charges verticales pour les transmettre au sol, nous pouvons déterminer la relation nombre d'étages en fonction du poids total du m<sup>2</sup> plancher.

Cette relation est simple :  $\bar{\sigma}_s = n_{\max} \cdot p$

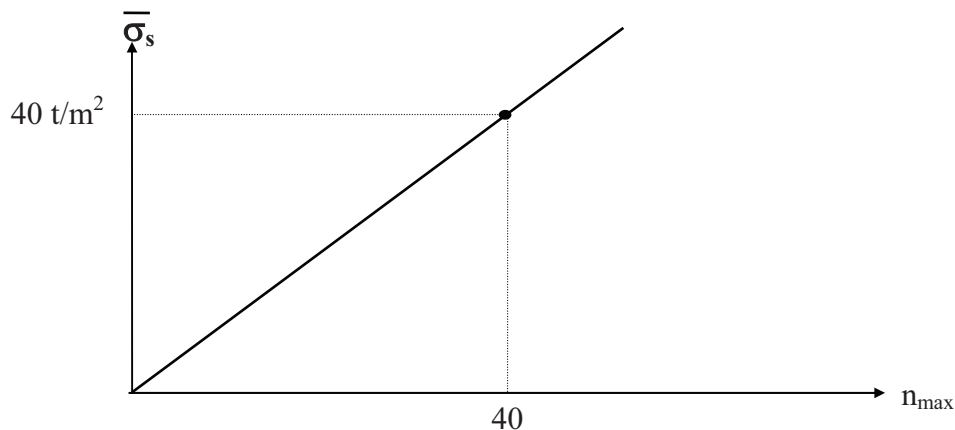
d'où 
$$n = \frac{\bar{\sigma}_s}{p} \quad (5-3)$$

$0,8 \text{ t/m}^2 < p < 1 \text{ t/m}^2$  selon N. F [P. LACROIX et A. FUENTES 82].

$5 \text{ t/m}^2 < \bar{\sigma}_s = 50 \text{ t/m}^2$  selon N. B [C. NACHTER GAL 82].

Si  $p = 1 \text{ t/m}^2$ , nous obtenons  $n_{\max} = \bar{\sigma}_s$

C'est la relation d'une droite et elle est illustrée par la **Figure V-3** suivante :



**FigureV-3** : Relation portance du sol/nombre de niveaux des bâtiments.

Exemple:

Données :  $p = 1 \text{ tonne/m}^2$  et  $\bar{\sigma}_s = 40 \text{ tonne/m}^2$ , nous obtenons  $n = 40$  étages

$$\text{Comme } N = x \cdot n ; \quad d = \frac{N}{\text{ass}} = \frac{10\,000}{\text{ass}}$$

$$\text{Alors } d = \frac{x \cdot n}{\text{ass}} = \frac{x \cdot \bar{\sigma}_s}{\text{ass}} = \frac{10\,000}{\text{ass}}$$

#### V-4/ Implantation des bâtiments

L'objectif de ce sous chapitre est de présenter un modèle d'implantation des bâtiments lors des travaux de conception d'un plan masse ou des travaux de viabilisation urbaine. Il s'agit de proposer un outil de travail qui facilite l'implantation des bâtiments de telle sorte que l'état des talus des plates-formes destinées à recevoir les bâtiments ne soit pas déstabilisé. En fonction du nombre de niveaux (étages) que comporte un bâtiment et des caractéristiques géotechniques du sol, on propose deux types d'implantation. L'une à une certaine distance ( $L_e$ ) minimale pour ne pas affecter l'angle de repos naturel du talus ( $\phi_0$ ), l'autre juste au voisinage du talus et qui nécessite une correction de l'angle de repos (pente du talus).

L'hypothèse de base repose sur le fait de pouvoir assimiler l'action d'une surcharge  $P$  sur un massif (ayant une hauteur  $H_0$  et une masse volumique  $\gamma$ ) à celle d'une couche de terre ayant une hauteur  $H = P / \gamma$ . Dans notre approche, nous négligeons la distance de servitude (2 à 3 mètres) entre le talus et le bâtiment ainsi que la profondeur des fondations de type radier (comprise entre 1 à 1.5 mètres). Cette simplification permet de trouver des solutions légèrement surdimensionnées.

Nous commençons par analyser les données (résultats) qui découlent de la théorie de la mécanique des sols ( $H = P / \gamma$ ), de l'estimation des descentes de charges des niveaux appliquées à une fondation type radier, de la portance admissible du sol et du rapport  $k$  qui exprime la charge  $P$  par rapport à la portance admissible du sol ( $k = P / \sigma_{\text{sad}}$ ).

Ensuite, nous transformons ces données pour obtenir les relations qui expriment soit la pente ( $\text{tg}\phi$ ) du talus, soit la distance minimale ( $L_{\text{emin}}$ ) recherchées.

La problématique que rencontre un ingénieur, un architecte ou un urbaniste dans la conception d'un plan-masse ou des travaux de viabilisation urbaine est le compromis entre plusieurs priorités. En effet, il doit satisfaire la stabilité de l'ouvrage plate-forme, la réglementation urbaine concernant les alignements et l'économie d'une manière générale. Le choix des solutions d'implantation des bâtiments est un travail de composition spatiale optimale entre la géotechnique, l'urbanisme et l'économie. Il est connu que dans les zones urbaines accidentées le coût du foncier est tellement élevé que les solutions recommandées sont les murs de soutènement ou bien des murs de soutènement combinés avec des talus. Pour les zones semi-urbaines, où le coût du foncier est très bas, les talus sont très adaptés. La solution optimale résulte d'une étude technico-économique appropriée au site.

Du fait que les ouvrages techniques ne donnent que des orientations pour des cas classiques, le concepteur éprouve beaucoup de difficultés devant un tel problème. En effet la plupart des auteurs qui s'intéressent à la mécanique des sols et aux travaux de terrassement préconisent un talus de 30 à 45 degrés. En ce qui concerne la distance entre le talus et l'emprise du bâtiment elle est de l'ordre de 2,0 à 4,0 mètres (selon les orientations des règles de servitudes urbaines). Ces valeurs sont données sans prendre en considération le nombre de niveaux, la nature du sol et la portance du sol. Devant de telles difficultés à prendre en charge tous les paramètres, l'apport d'une approche ou d'un modèle de conception s'avère opportun.

Nous terminons par la présentation de graphes et d'abaques de certains cas usuels pour illustrer le modèle avancé.

Symboles et terminologie utilisés :

- $H_e$  : hauteur équivalente d'une surcharge
- $L_e$  : longueur équivalente d'une surcharge
- $\gamma$  : masse volumique du sol
- $l_o$  : largeur du talus
- $H_o$  : hauteur du talus
- $\phi_o$  : angle naturel de repos du talus
- $\phi$  : angle de repos du talus sous surcharge
- $P$  : surcharge totale du radier ( $P = n.p$ )
- $n$  : nombre de niveaux
- $h$  : hauteur bâtiment ( $h=3.n$ )  $\sigma_s$
- $p$  : charge totale d'un plancher (0.6 à 1 T/m<sup>2</sup>)
- $n_{max}$  : nombre maximal de niveaux (admissible)
- $\bar{\sigma}_{sad}$  : portance admissible du sol ( $\bar{\sigma}_s = P_{max} = n_{max}.p$ )
- $k_{charge} < 1$ : Coefficient de charge du sol rapport entre  $n$  et  $n_{max}$  ou  $P$  et  $\bar{\sigma}_s$   
( $P = k_{charge}.\sigma_s$  et  $n = k_{charge}.n_{max}$ ).

#### V-4-1/ Analyse de l'interaction talus-bâtiment

Il est connu que l'angle de repos naturel est déterminé pour chaque type de sol, mais avec une surcharge de sol nulle ( $P=0$ ) **Figure V-4-a**. Si nous construisons une tour sur un massif avec une certaine charge ( $P$ ) **Figure V-4-b** évidemment cet angle sera le même mais la distance ( $L_e$ ) à respecter entre le talus et la plate-forme doit être déterminée **Figure V-4**. Ce phénomène a été étudié en mécanique du sol et les résultats indiquent que nous pouvons remplacer l'action d'une surcharge artificielle par une charge de terre (sur le massif) équivalente sous la forme :

$$H_e = P/\gamma \quad [\text{B. BALOUCHEV.75}]. \quad (5-4)$$

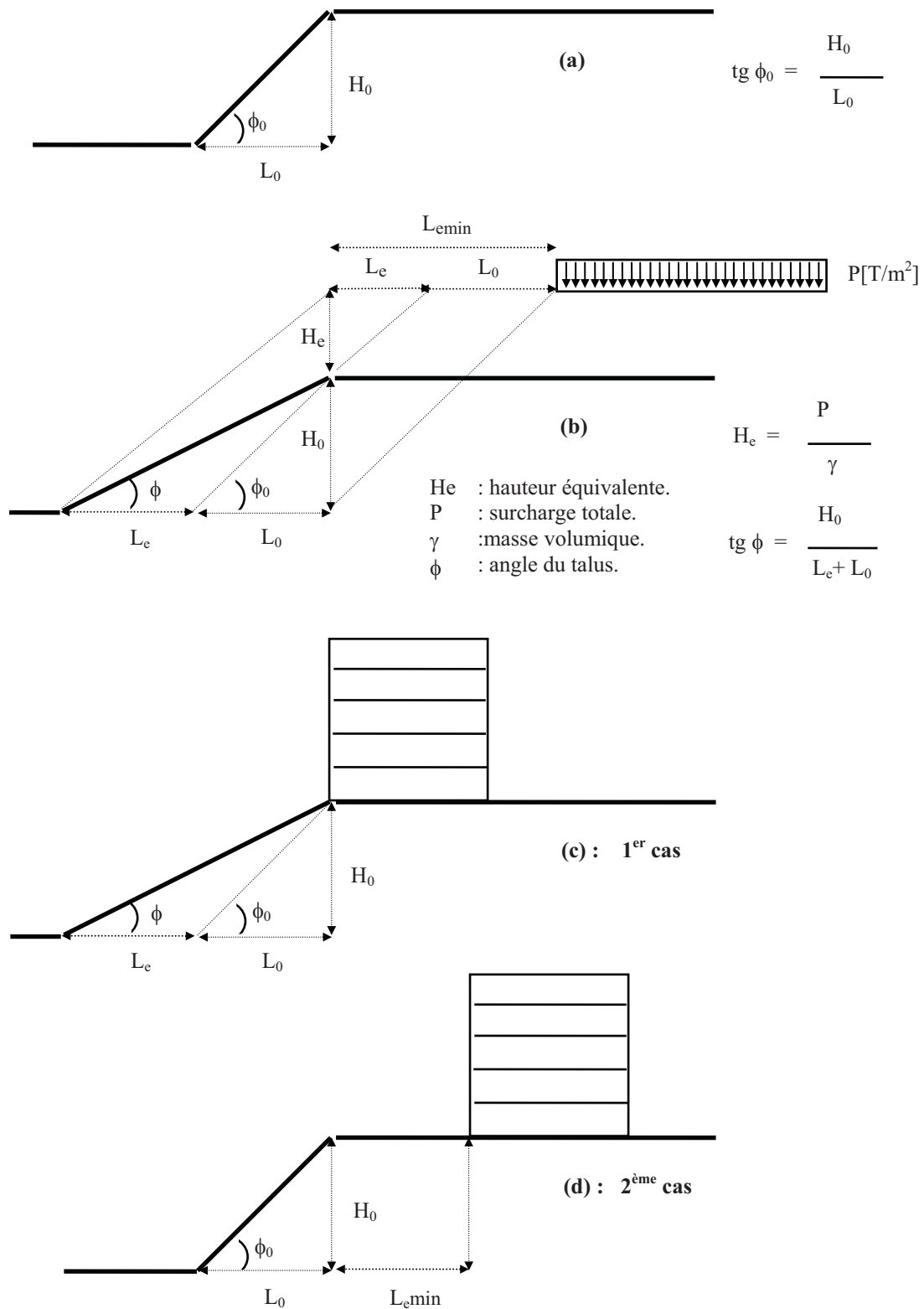
Nous allons utiliser la relation  $H_e = p/\gamma$  pour répondre aux deux questions qui vont suivre. La résolution se fera graphiquement.

**Question n° 1 :** (Figure V-3-b et Figure V-3-d)

Pouvons-nous trouver une relation entre le nombre de niveaux et la distance minimale ( $L_e$ ) nécessaire contre un glissement de terrain, dans le cas où l'emprise ne se trouve pas à la limite du talus ?

**Question N° 2 :** (Figure V-4-a et Figure V-4-c)

Pouvons-nous trouver une relation entre le nombre de niveaux maximal (ou la Portance) et la pente du talus d'un massif à donner, pour éviter un glissement de terrain, dans le cas où l'emprise commencerait immédiatement à la limite du talus ?



**Figure V-4** : Schémas représentant l'emprise d'un bâtiment en fonction du talus

- (a) Talus naturel sans surcharge.
- (b) Talus naturel avec surcharge  $P = k \cdot n_{\max} \cdot \bar{p} = k \cdot \sigma_s$
- (c) Position talus emprise bâtiment avec  $L_{e \min} = 0$ .
- (d) Position talus emprise bâtiment avec  $L_{e \min} > 0$

## V-4-2/ Détermination de la distance minimale $L_{e,min}$ (Figure V-4-a et V-4-d)

Prédimensionnement :

$$\begin{aligned}L_{e,min} &= L_0 + L_e \\ &= H_0 / \operatorname{tg}\phi_0 + H_e / \operatorname{tg}\phi_0 \\ &= H_0 / \operatorname{tg}\phi_0 + (P/\gamma) / \operatorname{tg}\phi_0 \\ &= H_0 / \operatorname{tg}\phi_0 + (n.p/\gamma) / \operatorname{tg}\phi_0\end{aligned}\quad (5-5)$$

$p = 0.7 \text{ t/m}^2$  (charge totale répartie par étage);  
 $h = 3n$  (hauteur de l'immeuble);

Pour simplifier on prend le cas le plus défavorable entre un sol sableux et un sol argileux.

- Sol sableux :

$\operatorname{tg}\phi_0 = 0.5$  ( $\phi_0 = 26.56^\circ$ , angle de repos naturel);  
 $\gamma = 1.7 \text{ t/m}^3$  (masse volumique du sable compact);

On obtient :

$$\begin{aligned}L_{e,min} &= H_0 / 0.5 + (n \cdot 0.7 / 1.7) / 0.5 \\ &= 2 \cdot H_0 + n \cdot 0.77 \\ &= 2 \cdot H_0 + (h/3) \cdot 0.77 \\ &= 2 \cdot H_0 + h \cdot 0.26\end{aligned}\quad (5-6)$$

- Sol argileux :

-  $\operatorname{tg}\phi_0 = 1$  ( $\phi_0 = 45^\circ$ , angle de repos naturel);  
-  $\gamma = 2 \text{ t/m}^3$  (masse volumique de l'argile compacte);

On obtient :

$$\begin{aligned}L_{e,min} &= H_0 / 1 + (n \cdot 0.7 / 2) / 1 \\ &= H_0 + n \cdot 0.35 \\ &= H_0 + (h/3) \cdot 0.35 \\ &= H_0 + h \cdot 0.116\end{aligned}$$

Le cas le plus défavorable est le sol sableux.

La valeur  $0.26 \cdot h$  est négligeable devant  $2 \cdot H_0$  et on peut arrondir la distance minimale à :

$$L_{e,min} > 2 \cdot H_0 \quad (5-7)$$

## V-5/ Détermination de la pente (Figure V-4-a et Figure V-4-d).

Hypothèses :

- $k_{\text{charge}} = n / n_{\text{max}} = \sigma_s / \bar{\sigma}_s$
- Portance du sol connue  $\bar{\sigma}_s$  [T/m<sup>2</sup>]
- Densité du sol connue  $\gamma$  : [T/m<sup>3</sup>]
- Angle naturel connu  $\phi_0$ .
- Hauteur talus connu  $H_0$  : [m]
- $p = 1 \text{ T/m}^2$ : charge totale d'un niveau (n)

Prédimensionnement :

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{H_o}{L_o + L_e} = \frac{H_o}{\frac{H_o}{\operatorname{tg} \phi_o} + L_e} \longrightarrow \operatorname{tg} \phi = \frac{1}{\frac{1}{\operatorname{tg} \phi_o} + L_e/H_o}$$

Remplaçons  $L_e$  par sa valeur  $L_e = \frac{H_e}{\operatorname{tg} \phi_o} = \frac{P}{\gamma \cdot \operatorname{tg} \phi_o} = P \frac{1}{\gamma \cdot \operatorname{tg} \phi_o}$

Nous aurons :

- en fonction de la portance du sol  $\bar{\sigma}_s$

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{1}{\frac{1}{\operatorname{tg} \phi_o} + \frac{\bar{\sigma}_s}{(\gamma \cdot H_o \operatorname{tg} \phi_o)}} \quad (5-8)$$

- en fonction du nombre de niveaux  $n_{\max}$

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{1}{\frac{1}{\operatorname{tg} \phi_o} + \frac{p \cdot n_{\max}}{(\gamma \cdot H_o \operatorname{tg} \phi_o)}} \quad (5-9)$$

Exemple :

$$\bar{\sigma}_s = 40 \text{ t/m}^2; \quad \operatorname{tg} \phi_o = 1; \quad \gamma = 2 \text{ T/m}^3; \quad H_o = 1 \text{ m}; \quad p = 1 \text{ T/m}^2$$

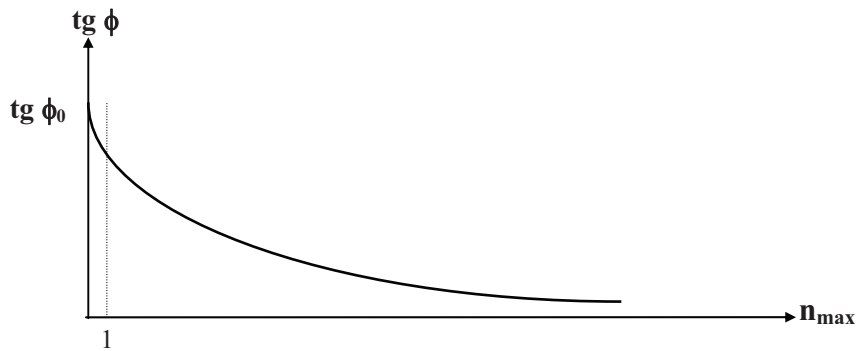
- Selon la portance :

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{1}{(1/\operatorname{tg} 45^\circ) + 40/2 \cdot 1 \cdot \operatorname{tg} 45^\circ} = 1/21 = 0,0476 \text{ (pente 4,76\%)} \text{ d'où } \phi = 2,7252^\circ$$

- Selon le nombre de niveaux  $n$  maximal :  $n_{\max} = \bar{\sigma}_s / p = 40 \text{ T/m}^2 / 1 \text{ T/m}^2 = 40$

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{1}{(1/\operatorname{tg} 45^\circ) + 1 \cdot 40 / 2 \cdot 1 \cdot \operatorname{tg} 45^\circ} = 1/21 = 0,0476 \text{ (pente 4,76\%)} \text{ d'où } \phi = 2,7252^\circ$$

La relation entre le nouveau angle de repos naturel  $\text{tg}\phi$  et la portance maximale (ou bien nombre de niveaux maximal) a une forme hyperbolique selon la **Figure V-7**.



**Figure V-5** : Relation entre l'angle du talus  $\text{tg}\phi$  et le nombre de niveaux  $n_{\text{max}}$ .

**Exemples 3** : (Graphes illustratifs avec  $k=1$  et  $H_0=1\text{m}$ )

Avec les données du tableau V-1, construisons un ensemble de graphes pour donner une idée sur la relation entre la pente d'un talus et les caractéristiques des sols (tableaux V-2 à V-5).

Tableau V-1 : valeurs de la densité et de l'angle de repos pour quelques sols

Hypothèses des abaques [SANGLERAT 73]			
N° Sols		$\gamma$ (T/m <sup>3</sup> )	$\phi_0$
1	Sableux	1,6	35°
2	Argileux - sableux	1,8	40°
3	Argileux	2,0	45°

**Tableau V-2** : Valeurs des pentes des talus dans le cas où la longueur équivalente  $L_{e\text{min}} = 0$ .

$\bar{\sigma}_s$ [T/m <sup>2</sup> ]	$H_0=1\text{ m}$			$H_0=2\text{ m}$			$H_0=4\text{ m}$		
	$\text{tg}35$	$\text{tg}40$	$\text{tg}45$	$\text{tg}35$	$\text{tg}40$	$\text{tg}45$	$\text{tg}35$	$\text{tg}40$	$\text{tg}45$
0	0,70020	0,83909	1	0,7002	0,83909	1	0,70020	0,83909	1
5	0,16974	0,22211	0,28571	0,09658	0,12799	0,16666	0,05186	0,06928	0,09090
10	0,09658	0,12799	0,16666	0,05186	0,06928	0,09090	0,02693	0,03613	0,04762
15	0,06749	0,07258	0,11764	0,03545	0,04749	0,06250	0,01818	0,02444	0,03225
20	0,05186	0,06928	0,09090	0,02693	0,03613	0,04761	0,01373	0,01846	0,02439
30	0,03545	0,04697	0,06250	0,01818	0,02444	0,03225	0,00921	0,01240	0,01639
40	0,02693	0,03613	0,04762	0,01372	0,01846	0,02439	0,00693	0,00933	0,01234

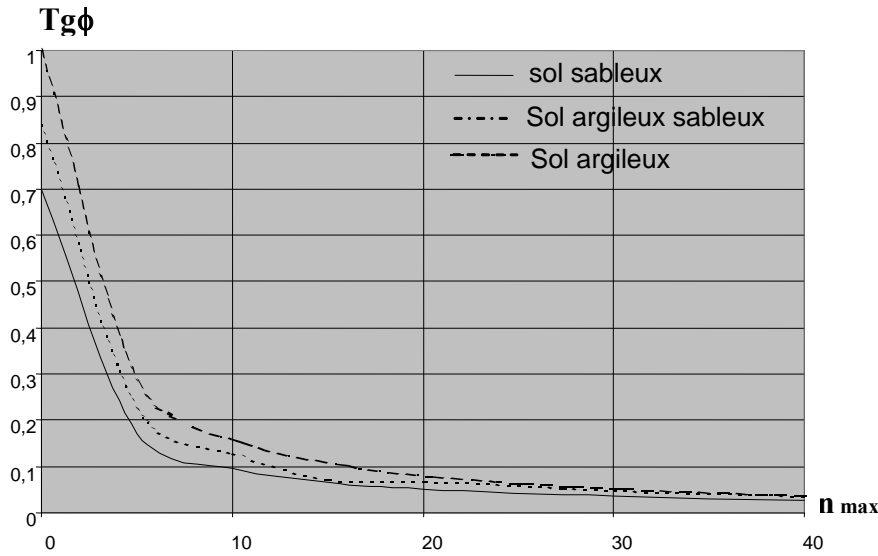


Figure V-6 : Pente d'un talus en fonction du nombre de niveaux maximal ( $n_{max}$ ), dans le cas où  $L_{emin} = 0$  et  $H_o = 1m$

Tableau V-3 : pentes des talus dans le cas où la longueur équivalente  $L_{emin} = 0$  et  $P = k \cdot P_{max}$  (sol sableux).

tgφ (Sol sableux)												
$\bar{\sigma}_s$ [T/m <sup>2</sup> ]	Ho=1m				Ho=2m				Ho=4m			
	$k_{charge} = 1$	$K=0.75$	$K=0.5$	$K=0.25$	$K=1$	$K=0.75$	$K=0.5$	$K=0.25$	$k_{charge} = 1$	$K=0.75$	$K=0.5$	$K=0.25$
0	0,7002	0,7002	0,7002	0,7002	0,7002	0,7002	0,7002	0,7002	0,7002	0,7002	0,7002	0,7002
5	0,1697	0,2094	0,2733	0,3931	0,1302	0,1635	0,2196	0,3344	0,0718	0,0926	0,1302	0,2196
10	0,0965	0,1231	0,1697	0,2733	0,0718	0,0926	0,1302	0,2196	0,0378	0,0496	0,0718	0,1302
15	0,0674	0,0872	0,1231	0,2094	0,0496	0,0646	0,0926	0,1635	0,0257	0,0338	0,0496	0,0926
20	0,0518	0,0675	0,0966	0,1697	0,0378	0,0496	0,0718	0,1302	0,0194	0,0257	0,0378	0,0718
25	0,0421	0,0551	0,0795	0,1427	0,0306	0,0402	0,0586	0,1082	0,0156	0,0207	0,0306	0,0586
30	0,0354	0,0465	0,0675	0,1231	0,0257	0,0338	0,0496	0,0926	0,0131	0,0173	0,0257	0,0496
35	0,0306	0,0402	0,0587	0,1082	0,0221	0,0292	0,0429	0,0809	0,0112	0,0149	0,0221	0,0429
40	0,0269	0,0355	0,0519	0,0966	0,0194	0,0257	0,0378	0,0718	0,0099	0,0131	0,0194	0,0378

**Tableau V-4** : pentes des talus dans le cas où la longueur équivalente  $L_{e,min} = 0$  et  $P = k_{charge} \cdot P_{max}$  (sol argileux sableu).

<b>tgφ (Sol sableux-argileux)</b>												
$\bar{\sigma}_s$ [T/m <sup>2</sup> ]	Ho=1m				Ho=2m				Ho=4m			
	$k_{charge}=1$	$K=0.75$	$K=0.5$	$K=0.25$	$K=1$	$K=0.75$	$K=0.5$	$K=0.25$	$k_{charge}=1$	$K=0.75$	$K=0.5$	$K=0.25$
0	0,8391	0,8391	0,8391	0,8391	0,8391	0,8391	0,8391	0,8391	0,8391	0,8391	0,8391	0,8391
5	0,2221	0,2721	0,3513	0,4952	0,1482	0,1866	0,2519	0,3875	0,0813	0,1050	0,1482	0,2519
10	0,1280	0,1624	0,2221	0,3513	0,0813	0,1050	0,1482	0,2519	0,0427	0,0560	0,0813	0,1482
15	0,0899	0,1157	0,1624	0,2721	0,0560	0,0730	0,1050	0,1866	0,0290	0,0382	0,0560	0,1050
20	0,0693	0,0899	0,1280	0,2221	0,0427	0,0560	0,0813	0,1482	0,0219	0,0290	0,0427	0,0813
25	0,0564	0,0735	0,1056	0,1876	0,0345	0,0454	0,0663	0,1229	0,0176	0,0233	0,0345	0,0663
30	0,0475	0,0622	0,0899	0,1624	0,0290	0,0382	0,0560	0,1050	0,0147	0,0195	0,0290	0,0560
35	0,0410	0,0538	0,0783	0,1432	0,0249	0,0329	0,0485	0,0916	0,0127	0,0168	0,0249	0,0485
40	0,0361	0,0475	0,0693	0,1280	0,0219	0,0290	0,0427	0,0813	0,0111	0,0147	0,0219	0,0427

**Tableau V-5** : pentes des talus dans le cas où la longueur équivalente  $L_{e,min} = 0$  et  $P = P_{max} \cdot k_{charge}$  (sol argileux)

<b>tgφ (Sol argileux)</b>												
$\bar{\sigma}_s$ [T/m <sup>2</sup> ]	Ho=1m				Ho=2m				Ho=4m			
	$k_{charge}=1$	$K=0.75$	$K=0.5$	$K=0.25$	$K=1$	$K=0.75$	$K=0.5$	$K=0.25$	$k_{charge}=1$	$K=0.75$	$K=0.5$	$K=0.25$
0	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
5	0,2857	0,3478	0,4444	0,6154	0,1667	0,2105	0,2857	0,4444	0,0909	0,1176	0,1667	0,2857
10	0,1667	0,2105	0,2857	0,4444	0,0909	0,1176	0,1667	0,2857	0,0476	0,0625	0,0909	0,1667
15	0,1176	0,1509	0,2105	0,3478	0,0625	0,0816	0,1176	0,2105	0,0323	0,0426	0,0625	0,1176
20	0,0909	0,1176	0,1667	0,2857	0,0476	0,0625	0,0909	0,1667	0,0244	0,0323	0,0476	0,0909
25	0,0741	0,0964	0,1379	0,2424	0,0385	0,0506	0,0741	0,1379	0,0196	0,0260	0,0385	0,0741
30	0,0625	0,0816	0,1176	0,2105	0,0323	0,0426	0,0625	0,1176	0,0164	0,0217	0,0323	0,0625
35	0,0541	0,0708	0,1026	0,1860	0,0278	0,0367	0,0541	0,1026	0,0141	0,0187	0,0278	0,0541
40	0,0476	0,0625	0,0909	0,1667	0,0244	0,0323	0,0476	0,0909	0,0123	0,0164	0,0244	0,0476

## Conclusion

Nous avons déterminé les relations qui existent entre la topographie (terrassement), la géotechnique (portance admissible et charge) et la viabilisation urbaine (implantation des ouvrages). Ainsi, nous avons mis en évidence l'importance du phénomène de la conception des talus et de l'implantation qui résultent des travaux de terrassement lors d'une opération de construction d'un ou de plusieurs bâtiments.

Notre action s'est limitée à la construction d'abaques assez simplifiés et légèrement surdimensionnés pour concevoir rapidement un talus en fonction de deux types extrêmes d'implantation : l'un au voisinage de la limite d'un talus naturel (avec un angle  $\phi$  et l'autre à une certaine distance minimale en conservant l'angle naturel  $\phi_0$ ).

Les résultats des abaques prouvent que pour des niveaux ( $n$ ) relativement hauts les talus ont une pente très douce ou bien une distance minimale importante entre l'emprise des bâtisses et le début des talus. Les conséquences de ce constat entraîne une contrainte pour la conception et une perte d'espace foncier, d'où la tendance vers un choix de terrains pas trop accidentés.

La prise en charge des problèmes liés aux terrassements, à la mécanique des sols et à l'implantation des immeubles dans les opérations de conception et de réalisation des plans d'aménagement urbains nécessite une approche multi -technique pour cerner tous les aspects et tenter de résoudre le problème d'une manière optimale.

## Chapitre VI

### **Relations contraintes semi-rigides/impacts sur la densification**

L'objectif de ce chapitre est de cerner les limites de la densification en fonction des contraintes des coûts découlants des critères de la rationalité économique. Nous parlerons des coûts du foncier, de la construction en élévation, de la viabilisation et de l'impact des talus induits par l'opération terrassement sur l'augmentation de l'espace foncier de l'assiette. Nous mettons également en relief l'antagonisme entre le coût de la construction et ceux cités plus haut relatifs à un logement en élévation.

Notre travail consiste à élaborer les relations entre les coûts et le nombre de niveaux à construire pour le même type de logement. Les résultats découlants d'une modélisation serviront ultérieurement à déterminer les coûts d'un logement en élévation et à optimiser la densification.

#### Données :

- Dimension bloc :  $L \cdot l$
- Nombre de logements par niveau :  $x$
- Nombre d'habitants par logement :  $y$
- Surface emprise un logement :  $e$
- Surface emprise un bloc :  $E = x \cdot e$
- Nombre de bâtiments :  $m$
- Emprise totale de la trame :  $E_T = m \cdot x \cdot e$
- Nombre total de logements :  $N_T = x \cdot n \cdot m$
- Densité :  $d = N_T \cdot 10000 / \text{ASS}$
- Assiette totale trame :  $\text{ASS} = l_T \cdot L_T$
- Sur largeur d'une plate-forme :  $l_0 = 2,5 \text{ à } 3,5\text{m}$

Variable : Nombre de niveaux :  $n$

#### **VI-1/ Relation entre le coût du foncier d'un logement et le nombre de niveaux**

Nous allons exprimer le coût du foncier d'un logement en fonction du nombre de logements.

$c_f$  : coût du mètre carré du foncier.

$n$  : nombre de niveaux.

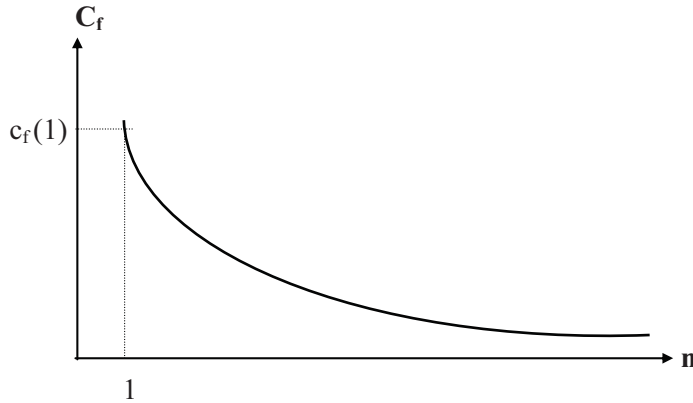
#### Prédimensionnement :

Soit  $C_f(n)$  le coût du foncier relatif à un logement en élévation.

$$C_f(n) = c_f \frac{\text{ASS}}{N_T} = c_f \frac{\text{ass}}{N} \quad (6-1)$$

$$C_f(n) = c_f \frac{\text{ass}}{x} = c_f \frac{\text{Const}}{n} \quad (6-2)$$

Le coût du foncier relatif à un logement en élévation est représenté par une relation de type hyperbole. Le graphe de la **Figure VI-1** illustre cette relation.



**Figure VI-1** : Relation entre le coût du foncier relatif à un logement et le nombre de niveaux n.

#### **VI-2/ Relation entre le coût construction d'un logement en élévation et le nombre de niveaux :**

Nous exprimons le coût de la construction d'un logement en élévation en fonction du nombre de niveaux.

##### Hypothèses :

D'après les renseignements obtenus auprès du C.N.A.T. (Centre National d'Assistance Technique), le surcoût de la construction en élévation par rapport au coût du rez-de-chaussée (n=1) est considéré comme un accroissement linéaire  $\Delta c$  compris entre 6 à 7%.

D'où :

$$\Delta c(n) = \Delta c.(n-1) \quad (6 -1)$$

$c_c(1)$  : coût du mètre carré construction du rez-de-chaussée.

##### Variables :

n : nombre de niveaux.

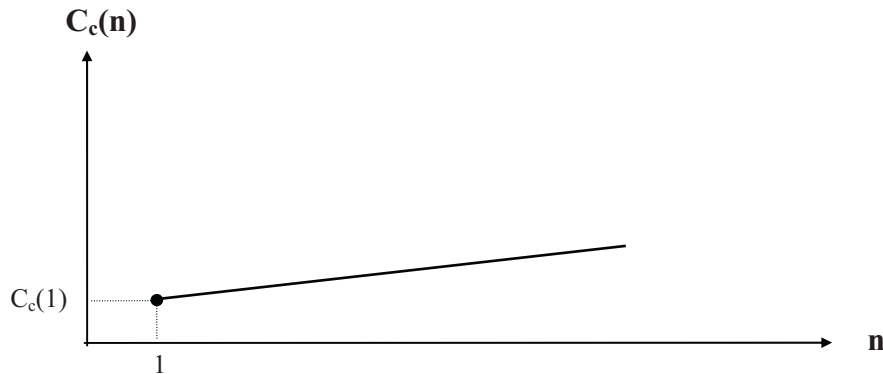
##### Prédimensionnement :

Soit  $C_c(n)$  le coût de la construction d'un logement en élévation.

$$C_c(n) = c_c(1).[1 + \Delta c(n - 1)].e$$

$$= c_c(1) \cdot (1 - \Delta c + n \cdot \Delta c) \cdot e \quad (6-3)$$

Cette relation est exprimée par une droite. La **Figure VI-2** suivante illustre cette relation.



**Figure VI-2** : Relation entre le coût construction d'un logement en élévation et le nombre de niveaux.

### VI-3/ Relation entre le coût de la viabilisation relatif à un logement en élévation et le nombre de niveaux :

La viabilisation urbaine est une opération qui consiste à préparer un site en vue de recevoir des bâtiments avec leurs infrastructures techniques et à assurer leur bon fonctionnement.

La viabilisation se compose des opérations suivantes :

- \* terrassements en grandes masses des plates-formes des bâtiments et des parkings,
- \* réseau voirie et réseaux divers,
- \* élimination ou amortissement des impacts des effets des différentes sources de nuisance.

Le coût de réalisation de ces opérations varie en fonction de la nature topographique du terrain et des caractéristiques géotechniques du sol des sites.

Pour construire nos hypothèses, nous avons consulté des entreprises, le C.N.A.T. qui est chargé de traiter les informations concernant les coûts et les prix de réalisation du secteur de l'habitat et de la construction et des professionnels travaillant dans des bureaux d'études.

Nous avons déduit à la suite des informations recueillies, une composition du coût de la viabilisation selon les paramètres suivants :

$$C_v(n) = \alpha \cdot \beta \cdot c_v(n) \cdot c_c(1) \quad (6-4)$$

$C_v(n)$  : coût de la viabilisation relatif à un logement en élévation pour un  $m^2$ .

$c_v(n)$  : pourcentage viabilisation relatif à un logement en élévation en fonction de  $c_c(1)$ .

$c_c(1)$  : coût du mètre carré construction du rez-de-chaussée.

$\alpha$  : coefficient relatif au relief du terrain.

$\beta$  : coefficient relatif à la résistance mécanique du sol.

Tableau VI-1 : Valeurs des coefficients  $\alpha$  et  $\beta$  relatifs à la topographie et à la dureté du sol.

$\alpha$	= 0,8	: Terrain plat	$\beta$	= 0,80	: Sol meuble
$\alpha$	= 1	: Terrain assez plat	$\beta$	= 1,00	: Sol assez meuble
$\alpha$	= 1,10	: Terrain assez accidenté	$\beta$	= 1,20	: Sol assez dur
$\alpha$	= 1,20	: Terrain accidenté	$\beta$	= 1,50	: Sol dur

Tableau VI-2 : Pourcentage (%) cout viabilisation  $c_v(n)$  en fonction de l'élévation et du cout construction du premier étage.

n	Cout viabilisation	
1	$c_v(1) = (16 \text{ à } 17\%).c_c(1)$	$\alpha = \beta = 1$ Correspond aux valeurs moyennes
2	$c_v(2) = (10 \text{ à } 11\%).c_c(1)$	
3	$c_v(3) = (08 \text{ à } 09\%).c_c(1)$	
4	$c_v(4) = (06 \text{ à } 07\%).c_c(1)$	
5	$c_v(5) = (05 \text{ à } 06\%).c_c(1)$	
6	$c_v(6) = (04 \text{ à } 05\%).c_c(1)$	

Nous allons modéliser les %  $c_v$  (fournis par le C.N.A.T.) en fonction du nombre de niveaux.

Hypothèses :

- $c_c(1)$  : coût du m<sup>2</sup> construction du rez-de-chaussée.
- $\alpha$  : coefficient relatif au relief du terrain.
- $\beta$  : coefficient relatif à la résistance mécanique du sol.
- $c_v(n)$  : pourcentage viabilisation relatif à un logement en élévation en fonction de  $c_c(1)$ .
- $e$  : surface de l'emprise d'un logement (m<sup>2</sup>).

Variables : n (nombre de niveaux).

Prédimensionnement :

Elaborons une fonction  $c_v(n)$  donnant des valeurs proches de celles fournies par le C.N.A.T. Cette fonction est illustrée par le **Tableau VI-3** suivant :

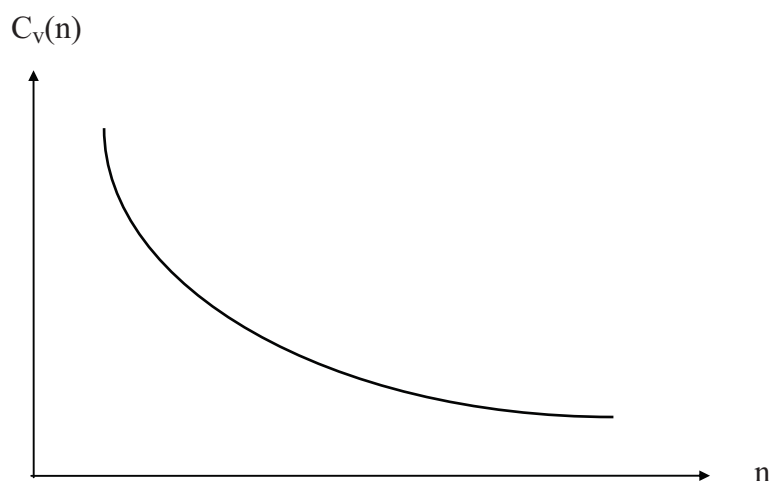
**Tableau VI-3:** Valeurs du pourcentage viabilisation en fonction du coût du m<sup>2</sup> construction du rez-de-chaussée et du nombre de niveaux.

n	c <sub>v</sub> (C.N.A.T.)	c <sub>v</sub> (n) = $\frac{1}{3(n+1)}$ (modèle)
1	16 à 17%	0,166
2	10 à 11%	0,111
3	08 à 09%	0,083
4	06 à 07%	0,066
5	05 à 06%	0,055
6	04 à 05%	0,047
7	Néant	0,041
8	Néant	0,037
9	Néant	0,033
10	Néant	0,030

Nous pouvons alors écrire que la relation donnant le coût de la viabilisation relatif à un logement en élévation est une fonction du nombre de niveaux (n) et de la surface emprise d'un logement sous la forme suivante:

$$C_v(n) = \alpha \cdot \beta \cdot c_c(1) \cdot e \frac{1}{3(n+1)} \quad (6-4)$$

Cette relation est de type hyperbole et elle illustrée par la **Figure VI-3** suivante :



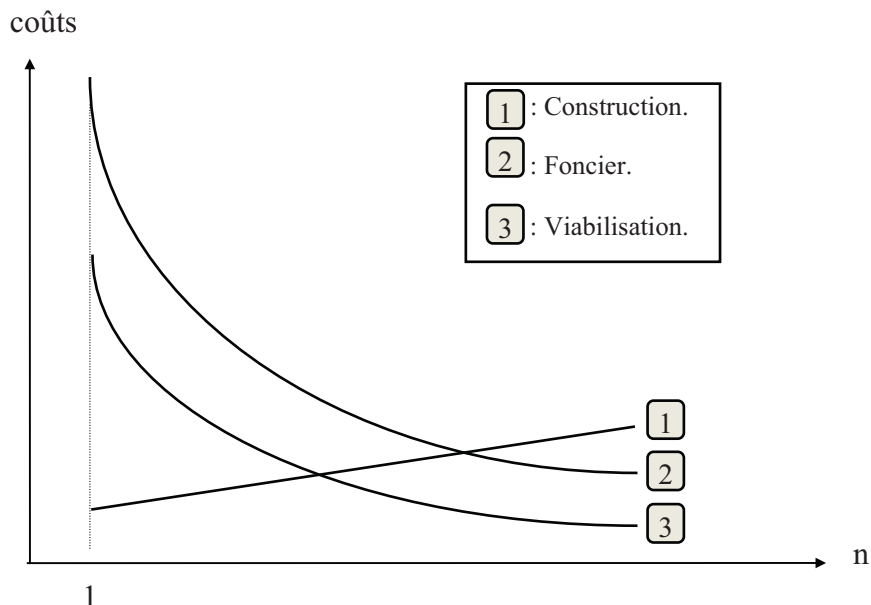
**Figure VI-3:** Relation entre le coût de la viabilisation d'un logement en élévation et le nombre de niveaux.

A travers l'analyse des graphes représentant les relations des coûts en fonction du nombre de niveaux, nous constatons que le coût de la construction en élévation C<sub>c</sub>(n) connaît

une croissance linéaire sous la forme d'une droite tandis que les autres coûts connaissent une décroissance sous la forme d'une hyperbole. La divergence des courbes exprime un antagonisme entre le coût de la construction et ceux du foncier et de la viabilisation. Cet antagonisme est illustré par la **Figure VI-4** suivante :

$$C_c(n) = c_c(1) \cdot (1 - \Delta c + n \cdot \Delta c) \cdot e = 15.000 \cdot [1 + 0,06(n - 1)] \cdot 100$$

$$C_v(n) = \alpha \cdot \beta \cdot c_v(n) \cdot c_c(1) \cdot e = 1,2 \times 1,1 \times 15.000 \times 100 / [3 \cdot (n+1)] = 660.000 / (n+1)$$



**Figure VI-4** : Antagonisme entre le coût de la construction et ceux du foncier et de la viabilisation relatifs à un logement en élévation.

#### VI-4/ Exemple d'études des coûts d'un logement en élévation :

##### Données :

$e = 100 \text{ m}^2$	: surface de l'emprise d'un logement.
$x = 2$	: nombre d'appartements par niveau.
$\alpha = 1,2$	: terrain assez accidenté.
$\beta = 1,10$	: sol assez dur.
$c_c(1) = 15.000 \text{ DA/m}^2$	: coût de la construction du rez-de-chaussée.
$c_f = 1.000 \text{ DA/m}^2$	: coût du foncier.
$c_v = 1/3(n+1)$	: % viabilisation pour n en fonction de $c_c(1)$ .
$n = R + 4$	: 5 niveaux à construire.
$C.E.S.(1) = 0,420$	: ass(1) = 476 m <sup>2</sup>
$C.E.S.(2) = 0,320$	: ass(2) = 620 m <sup>2</sup>
$C.E.S.(3) = 0,265$	: ass(3) = 760 m <sup>2</sup>
$C.E.S.(4) = 0,222$	: ass(4) = 900 m <sup>2</sup>
$C.E.S.(5) = 0,190$	: ass(5) = 1050 m <sup>2</sup>

$$C_f(n) = c_f \frac{\text{ass}}{x} \frac{1}{n} = \frac{1.000}{2} \frac{\text{ass}}{n}$$

**Tableau VI-4** : Exemple d'évaluation des coûts d'un logement en élévation (Prix année 2000).

<b>n</b>	<b>C<sub>f</sub> (DA/logt)</b>	<b>C<sub>c</sub> (DA/logt)</b>	<b>C<sub>v</sub> (DA/logt)</b>	<b>C<sub>T</sub> = C<sub>f</sub> + C<sub>c</sub> + C<sub>v</sub> (DA/logt)</b>
1	238.000,00	1.500.000,00	330.000,00	2.068.000,00
2	155.000,00	1.590.000,00	220.000,00	1.965.000,00
3	126.666,66	1.685.000,00	165.000,00	1.976.666,66
4	112.500,00	1.786.524,00	132.000,00	2.031.024,00
5	105.000,00	1.893.715,44	110.000,00	2.108.715,44

C<sub>f</sub>(n): cout du foncier relatif à un logement en élévation

C<sub>c</sub>(n): cout de la construction relatif à un logement en élévation

C<sub>v</sub>(n): cout de la viabilisation relatif à un logement en élévation

C<sub>T</sub>(n): cout total relatif à un logement en élévation

A la lumière de cet exemple, nous déduisons qu'il y a possibilité de déterminer les coûts d'un logement en élévation et d'optimiser le coût total en fonction du nombre d'étages. L'optimisation se fera par comparaison du coût total de chaque tranche de coût par niveaux.

## Chapitre VII

### **Relations contraintes souples/impacts sur la densification**

Ce chapitre a pour but de cerner les limites d'une densification selon des critères de fonctionnalité. Nous parlerons des plates-formes, de la réseautique, de la circulation, du stationnement et des accès. Ces contraintes ne sont pas un obstacle majeur à la densification mais ont un effet d'impact sur la densification.

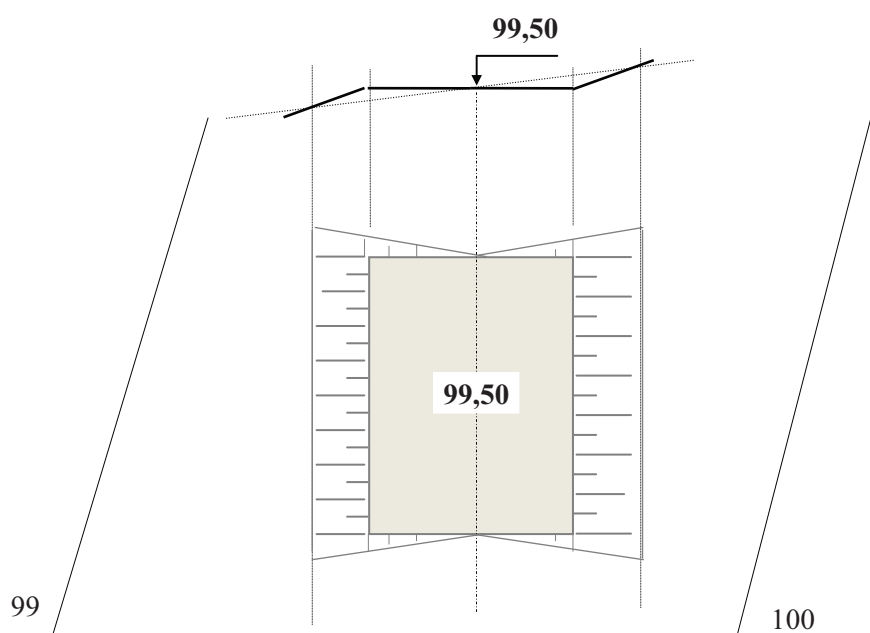
#### **VII-1/ Relation contraintes d'implantation et cubature de terrassement**

Nous allons analyser les conséquences de la minimisation des cubatures terrassement sur la forme urbaine.

##### **VII-1-1/ Implantation des plates-formes des bâtiments**

- Critère de pose : [Olivier 1976].

Les plates formes doivent être parallèles aux courbes de niveaux et les volumes déblais doivent être égaux aux volumes remblais **Figure VII-1** suivante:



**Figure VII-1:** Implantation d'une plate-forme (vue en plan et coupe transversale) en fonction des courbes.

##### Impact :

Nous aurons des plates-formes qui seront parallèles aux courbes de niveaux et qui peuvent être disposées en courbures ou en lignes selon la **Figure VII-2**. Dans ce cas, nous aurons des rangées

de bâtiments soit en alignement soit en courbure ce qui va guider la forme urbaine future de la densification.

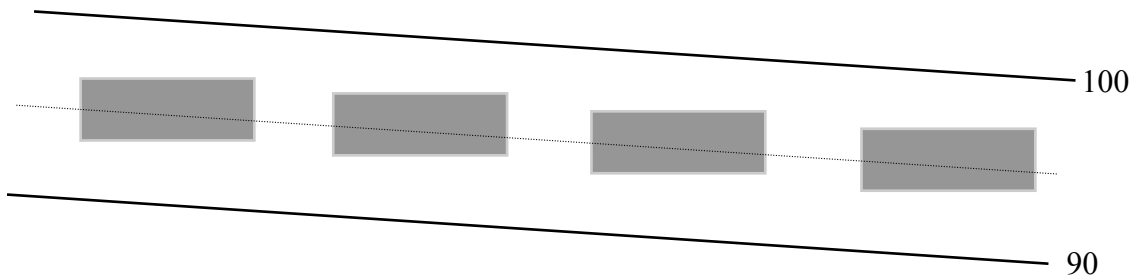


Figure VII-2 : Disposition des plates-formes de bâtiments en fonction des courbes de niveaux.

### VII-1-2/ Implantation des voiries

- Critère de pose [OLIVIER. 76] :

Le tracé en plan est parallèle aux courbes de niveaux ( Figure VII-3) et le profil en long doit présenter des volumes déblais = volumes remblais (Figure VII-4).

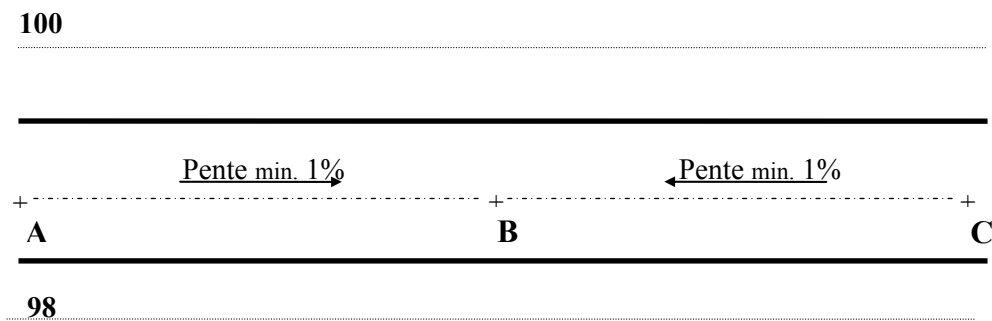


Figure VII-3 : Tracé en plan d'une voirie

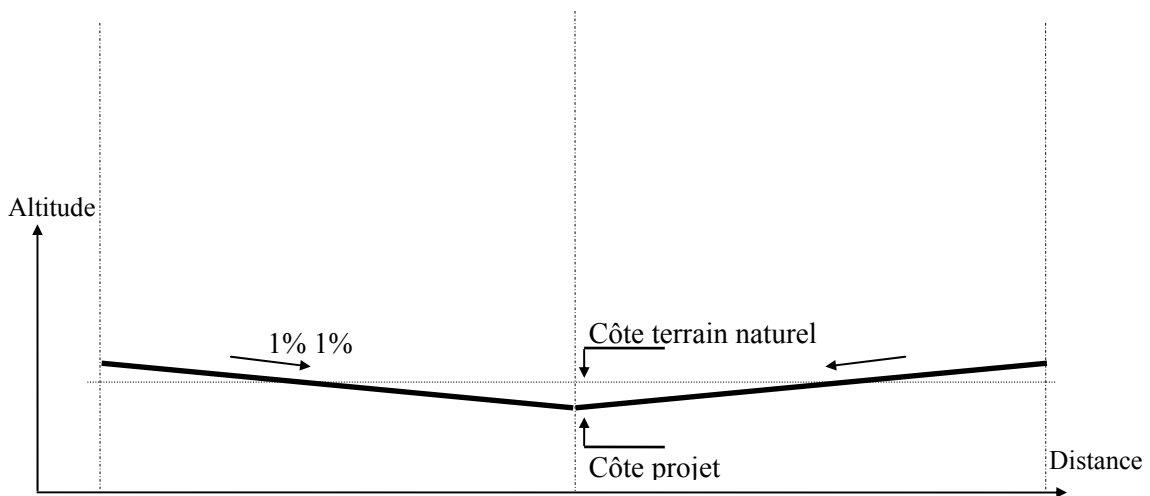
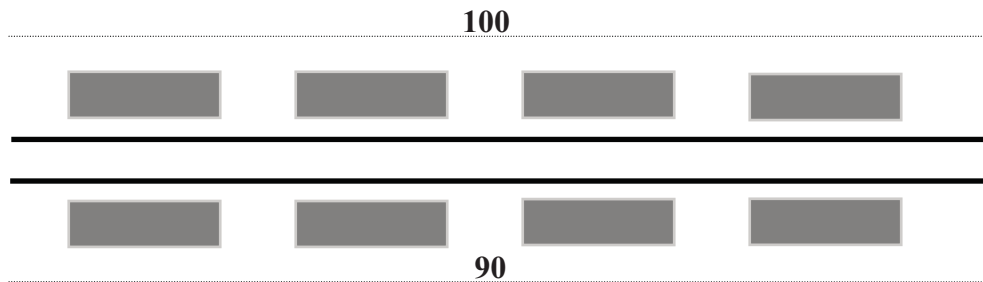


Figure VII-4 : Profil en long d'une voirie (tronçons AB et BC correspondants au tracé en plan de la Figure VII-3)

### Impacts :

- Les voiries seront parallèles aux courbes de niveau et par transition parallèles aux plates-formes.
- Les bâtiments et les rues qui les bordent donneront naissance à des formes urbaines linéaires s'étalant à l'infini et parallèles entre-elles (**Figure VII-5**).
- Dans le cas où les courbes de niveau sont des cercles concentriques ce qui veut dire soit une colline soit une cuvette, la forme urbaine se présentera selon les deux cas possibles: Forme en spirale ou forme en anneaux.



**Figure VII-5 :** Forme urbaine linéaire pouvant s'étaler d'une manière infinie.

## **VII-2/ Relation contrainte d'écoulement des eaux de surface et la densification :**

Nous allons analyser les conséquences de l'écoulement des eaux d'assainissement sur la voirie, le bassin urbanisable et la trame.

Principe : [H. GUERREE / C. GOMELA 82].

- Suivre la pente du terrain pour assurer un bon écoulement.
- Articuler le réseau pour déboucher sur un ou deux points de rejets.
- Faire coïncider les points de rejets sur le réseau public existant.

### **VII-2-1/ Relation entre les réseaux assainissement et voirie et la trame**

Généralement le tracé de la trame est conditionné par les évacuations des eaux et par le tracé de la voirie qui porte le tracé du réseau assainissement. L'écoulement des eaux se fera plus ou moins perpendiculairement aux courbes de niveau et par déduction perpendiculaire aux voiries. Mais comme le réseau voirie suit le réseau assainissement, nous serons donc obligés de concevoir des voiries perpendiculaires (transversales) à celles qui suivent les courbes de niveau voir **Figure VII-6** et **VII-7**, pour les terrains plats. Dans le cas où le terrain n'est pas plat on n'a pas besoin de voirie transversale comme le montre la **Figure VII-6**.

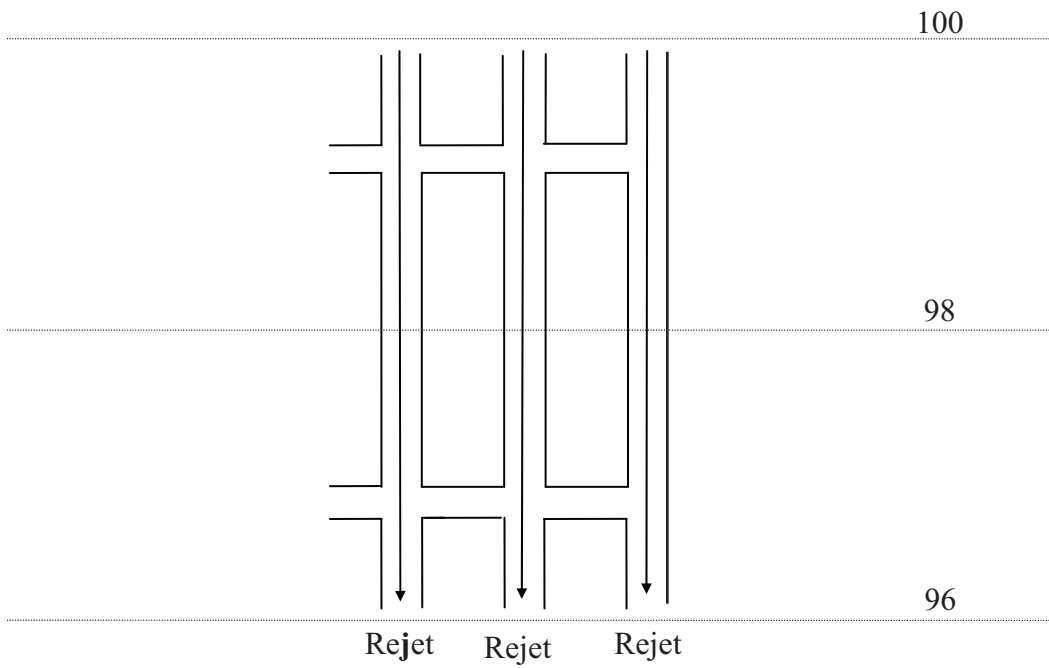


Figure VII-6 : Premier cas de tramage : Cas d'un terrain plat  $LT \rightarrow \infty$

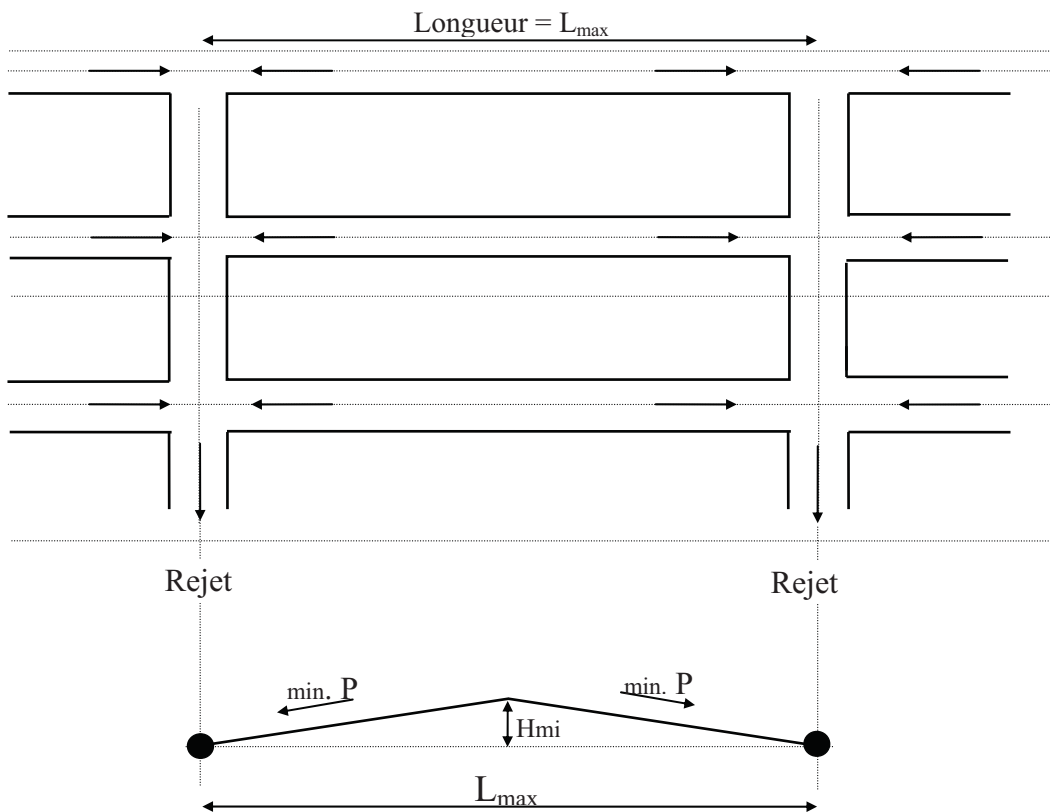
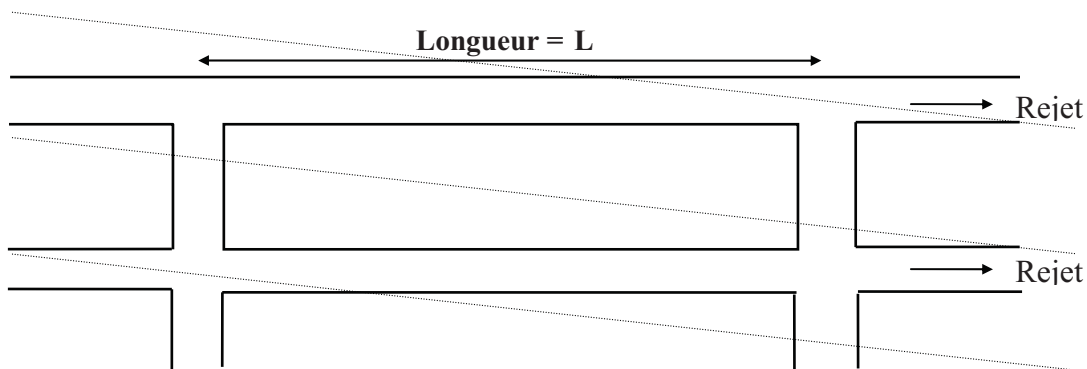


Figure VII-7 : Deuxième cas de tramage : Cas d'un terrain plat  $L_{max} = 200$  m



**Figure VII-8:** Troisième cas de tramage : Cas d'un terrain accidenté  $L \rightarrow \infty$ .

Dans le cas où les voiries sont implantées d'une manière parallèle aux courbes de niveaux, le réseau principal de collecte assainissement sera porté par les voiries perpendiculaires aux courbes de niveau, c'est à dire dans le sens de la largeur de la trame. Le réseau assainissement se trouvant sur les voiries parallèles aux courbes de niveau sera un réseau secondaire et la possibilité d'écoulement naturel des eaux va limiter la longueur de la trame selon le schéma de la **Figure VII-11**.

Nous obtenons :

$$\min \text{ pente} = \min tg = \frac{H_{\min}}{L_{\max}/2} \quad \text{d'où} \quad L_{\max} = \frac{2H_{\min}}{\min \text{ pente}} \quad (7-1)$$

$$\text{avec : } H_{\min} = 1 \text{ m et } \min \text{ pente} = 0,5\% \Rightarrow L_{\max} = 1 / 0,005 = 200 \text{ m}$$

L'impact de l'assainissement hydraulique à travers sa pente minimale va structurer la trame en terme de longueur  $L_T$ . Cela veut dire que pour les sites présentant un relief très plat, la longueur de la trame doit être inférieure à 200 m, et pour les autres sites cette longueur est supérieure à 200 m et pouvant même tendre vers l'infini.

Exemple :

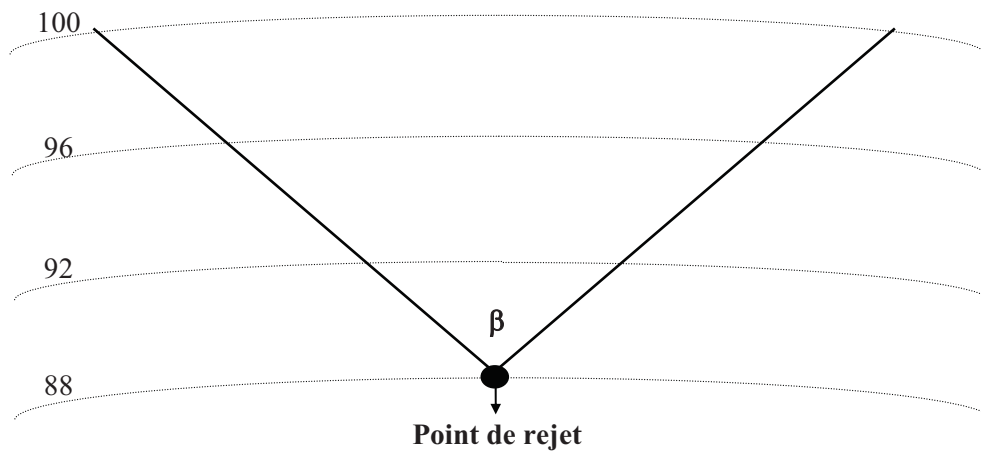
Figure VI-2-1-2	$L_{\max} <$	200 m
Figure VI-2-1-3	$L_{\max} >$	200 m

## VII-2-2/ Relation entre le point de rejet et l'espace urbanisable

La relation entre le point de rejet et l'espace urbanisable est déterminée par les deux conditions suivantes :

- L'écoulement des eaux nécessite une pente minimale absolue de 0,5 %.
- A partir du point de rejet ou des points des rejets, nous pouvons délimiter l'espace bassin urbanisable. Pour cela il suffit de tracer des droites ou des courbes avec une pente minimale normale de 1 % (voir **Figure VII-12**).

La solution graphique permettant la délimitation du bassin urbanisable est utilisée en hydraulique pour les écoulements des eaux de surface par la méthode dite rationnelle (C.I.A) [H.GUERREE / C.GOMELA 1982].



$\beta$  : Angle de collecte ou angle du bassin urbanisable.

**Figure VII-9:** Délimitation du bassin urbanisable.

### VII-2-3/ Relation entre la condition écoulement des eaux et les dimensions de la trame :

La trame est connue comme étant un espace urbain délimité par un réseau de voiries, mais l'explication n'est pas connue. Dans notre cas, si nous prenons en considération l'impact de la voirie et en même temps l'impact de l'assainissement hydraulique, l'explication devient évidente. En effet, il y aurait deux voiries parallèles découlant de l'impact voirie et deux autres voiries perpendiculaires aux précédentes découlant de l'impact écoulement des eaux.

#### Grandeur maximale de la trame :

Du moment que la voirie porte le réseau assainissement, essayons de cerner l'espace trame à travers la condition d'écoulement des eaux qui est la pente minimale normale 1 %.

La largeur ( $l_T$ ) sera étudiée dans le chapitre densification parce qu'elle dépend des espaces minimums entre bâtiments et bâtiments et voiries ( $L_T/l_T = k$ ).

Dans le cas où les voiries sont implantés non pas parallèles avec les courbes de niveau mais à  $45^\circ$ . L'écoulement des eaux se fera sur le tracé des voiries longitudinales, il n'y a pas d'impact sur les voiries transversales et dans ce cas la longueur  $\rightarrow$  infini.

$$\frac{L_T}{l_T} \rightarrow \infty \quad (7-2)$$

En conclusion, nous rappelons que la nature topographique du site a un impact direct sur le tracé assainissement hydraulique et le tracé voirie. Aussi, ces derniers structurent l'espace urbanisable et indirectement les dimensions de la trame orthogonale.

### VII-3/ Relation entre la contrainte circulation mécanique et la densification

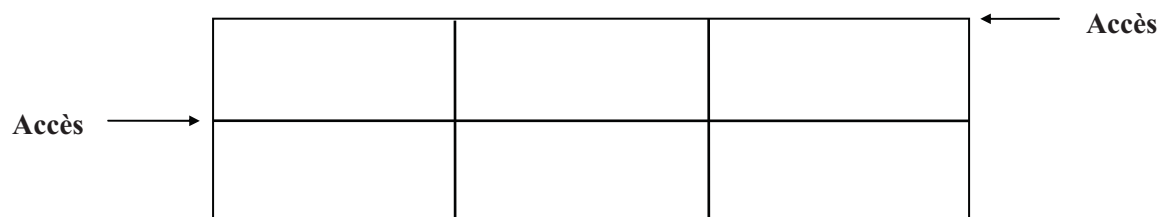
Nous nous contenterons de l'étude impact de la circulation mécanique sur la forme urbaine en fonction des critères de la circulation à l'échelle d'un plan de masse et d'une trame. Nous retenons les critères suivants :

- Minimisation de la longueur totale du réseau voirie.
- Minimisation de la largeur de la voirie.
- Répartition du trafic d'une manière fluide et équilibré sur l'ensemble des tronçons du réseau.

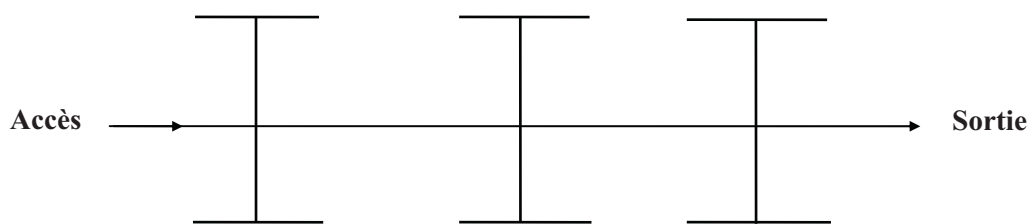
#### VII-3-1/ Impact de la minimisation longueur voirie sur la densification

Le problème de la longueur de la voirie a été étudié par les services de l'urbanisme Français et publié dans les cahiers de l'urbanisme. Ce phénomène dépend de la densité logements/hectare et de la forme urbaine. La longueur économique de la voirie, exprimée sous la forme d'un ratio en fonction de la densité en logements, est indiquée comme une valeur orientative sans donner des détails. Ce ratio indique clairement que pour obtenir une minimisation, il faut avoir une grande densité.

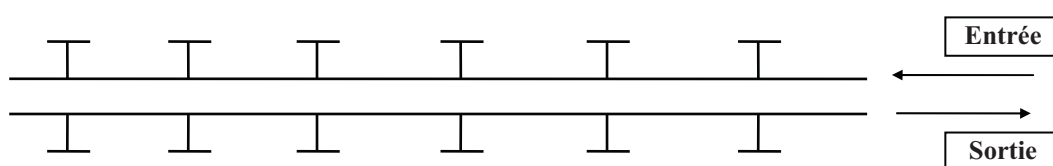
Si nous partons des schémas de voirie connus, nous aurons les formes urbaines suivantes: **Figure VII-13 à VII-14.**



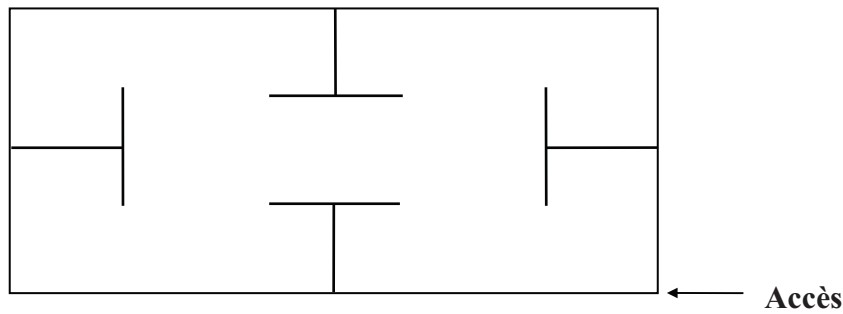
**Figure VII-10 :** Réseau maillé formant des trames orthogonales compactes.



**Figure VII-11 :** Réseau ramifié sans trames formant des îlots isolés compactes ou éclatés.



**Figure VII-12 :** Réseau linéaire sans trames formant une succession d'îlots compacts.



**Figure VII-13 : Réseau semi-ramifié ou semi-maillé formant une super trame compacte composée d'îlots à l'intérieur.**

Nous pouvons comparer les longueurs voiries en fonction de la forme urbaine dans un ordre de minimisation suivant :

- Réseau Linéaire     Figure VI-3-1-3
- Réseau ramifié     Figure VI-3-1-2
- Réseau semi-maillé Figure VI-3-1-4
- Réseau maillé     Figure VI-3-1-1

### VII-3-2/ Impact du trafic local sur la taille d'une zone urbaine et le nombre d'accès

Notre étude n'a pas l'ambition de prendre en charge tous les impacts mais seulement l'impact du trafic local.

Jusqu'à l'année 1970, la conception des voiries répondait à un souci d'adaptation à la forme urbaine, mais depuis, la tendance est de prendre en considération la conception de la voirie dans un cadre globalisé s'intégrant et s'articulant avec l'urbain futur et l'urbain existant [COQUAND. 80].

Nous allons utiliser les résultats obtenus par [COQUAND. 80] pour répondre aux questions suivantes :

#### Question N° 1 :

Peut-on prédimensionner la taille d'une zone urbaine en termes de logements en fonction du gabarit (largeur) et de la capacité (nombre de voiries et débits) de la voirie ?

♦ Distance de freinage : elle est définie à partir de la relation énergie cinétique et travail correspondant au freinage.

$$\frac{1}{2}mv^2 = m.g.f.d_f \quad (7-3)$$

$$d_f = \frac{v^2}{2 \cdot g \cdot f}$$

d'où :

$$d_f = \frac{v^2}{2g \cdot f} = \frac{v^2}{20 \cdot f} \quad [\text{m}] \quad (7-4)$$

m: masse du véhicule

v : m/s

g : 10 m/s<sup>2</sup>

f : coefficient de frottement (0,3 à 0,4)

V : km/h

Si  $f = 0,4$  et V en km

Nous obtenons :

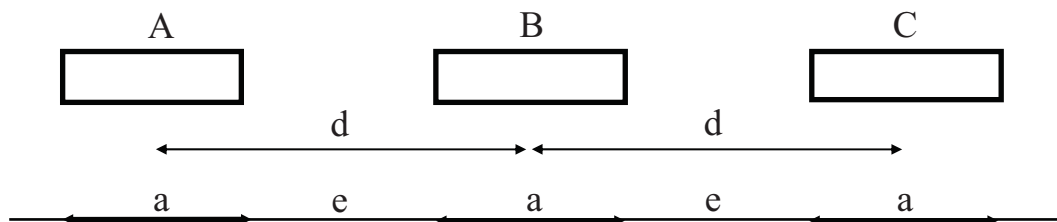
$$d_f = \frac{v^2}{8} \quad [\text{m}] \quad (7-5)$$

ou bien

$$d_f = \frac{V^2}{260f} = \frac{V^2}{100} \quad [\text{m}] \quad (7-6)$$

◆ Distance de sécurité entre deux véhicules (circulation groupée) :

Cette distance (d) est limitée par le phénomène du freinage qui dépend de l'état de la chaussée, du réflexe du conducteur de véhicule et de l'adhérence des pneus de la voiture avec la couche de roulement de la chaussée. La circulation en procésion ou groupée est représentée par la **Figure VII-17** suivante :



a : Longueur véhicule.

e : Espacement entre deux véhicules égale à la distance parcourue pendant le temps perception-réaction qui égale à environ 0.75 secondes.

**Figure VI-14:** Circulation de véhicules en procésion.

Théoriquement nous obtenons selon le **HYGWAY Capacity Manual [R.COQUAND. 80]**, les distances suivantes :

$$d = a + e = a + v \cdot t_r = a + 0,75v \text{ [m/s]} \quad (7-7)$$

$$t_r = 3/4 \text{ [s]} \quad \text{ou bien} \quad d = a + V/5 = a + 0,2 V \text{ [km/h]} \quad (7-8)$$

Cette formule correspond à la même intensité de freinage pour les véhicules qui se suivent. Dans la pratique, l'intensité de freinage des véhicules qui suivent est inférieure par rapport à celle du premier véhicule qui a freiné. Pratiquement, la précédente formule est corrigée en rajoutant une certaine distance de sécurité ( $d'_f$ ) pour s'écrire comme suit :

$$d = a + e + d'_f = a + e + 30\% d_f = 8 + 0,2V + 0,003V^2 \quad (7-9)$$

Débit horaire maximum avec vitesse constante.

$$Q = \frac{1000 V}{d} = \frac{1000 V}{8 + 0,2V + 0,003V^2} \text{ [véhicule / heure]} \quad (7-10)$$

$$\frac{dQ}{dV} = \frac{8000 - 3V^2}{(8 + 0,2V + 0,003V^2)^2} = 0 \quad (7-11)$$

$$8000 - 3V^2 = 0 \rightarrow V = \sqrt{\frac{8000}{3}} = 50 \text{ km/h} \quad (7-12)$$

$$\text{d'où } d_f = 26 \text{ m et } Q_{\max} = 1961 \text{ véhicules / heure} \quad (7-13)$$

Dans le cas d'une voirie tertiaire  $V = 30 \text{ km/h}$  nous obtenons:  $d_f = 16,70 \text{ m}$  et  $Q = 1796 \text{ véhicules / heure}$  (potentiel saturation).

Dans la projection urbaine, ce débit est minoré par mesure de sécurité et de confort. La minoration est de l'ordre de 50 % et s'applique essentiellement aux artères urbaines (voies tertiaires, voies secondaires et voies urbaines rapides). Pour les voiries de desserte, le débit est limité à 400 véhicules/heure à cause des nuisances du bruit et des gaz [R.COQUAND 80].

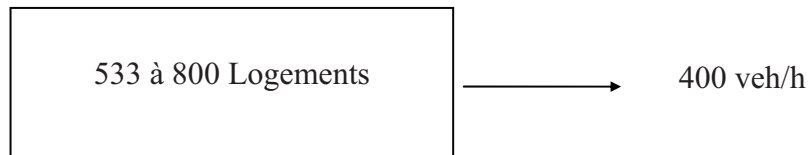
#### Hypothèses :

- Largeur fixée à 6 m [Ministère Habitat 89].
- Nombre de voies : 2
- Débit de pointe  $\leq 400 \text{ véhicules / heure / voie}$  (selon le Highway capacity Manual : niveau de service A ou B).
- 0,75 à 0,5 véhicule / logement [Ministère Habitat 89].
- Un seul accès.

Prédimensionnement : voir **Figure VII-18**

- Nombre de logement n avec 0,75 veh/logt ?

On obtient  $n1 = 400/0,75 = 533$  logts. (7-14)



**Figure VII-15** : Taille d'une zone résidentielle en fonction du débit d'un accès.

- Nombre de logements n avec 0,5 v/logt :

On obtient  $n2 = 400/0,5 = 800$  logts. (7-15)

D'après le **Hygway Capacity Manual**, la capacité d'une route varie avec les conditions dans lesquelles on souhaite circuler. La notion de niveau de service est posée en termes de vitesse moyenne d'un véhicule et de rapport (R) du débit effectif au débit maximum possible (théorique). Le niveau "A" correspond à une circulation fluide : vitesse voisine de 100 km/h et R faible. Et le niveau "B" correspond à une circulation proche de l'encombrement mais très supportable dans le milieu suburbain, tandis que le niveau "C" correspond à une circulation encombrée mais admissible aux artères urbaines. Les niveaux "D" et "E" correspondent à l'apparition et au développement de la congestion ou de la saturation. Le niveau "F" correspond à la congestion ou à la saturation.

En zone urbaine résidentielle, la vitesse est inférieure à 50 km/h et le rapport R est entre 0.7 et 1, ce qui donne un débit proche de 1900 véhicules/heure. Les recommandations du ministère de la construction et de l'urbanisme limitent ce débit à 400.

### **VII-3-3/ Impact sur la largeur de la voirie :**

La circulation s'écoule comme un fluide (c'est-à-dire avec une vitesse et un diamètre), par analogie nous pouvons dire qu'elle aura une vitesse et une largeur de voie.

L'ancienne norme Française (décret du 14 mars 1964 pour les voies communales) admettait des largeurs de voirie de 5 m.

A partir de 1989, les recommandations du [MUCH. 89] préconise des largeurs de voirie de desserte comprises entre 5,5 à 6m.

**Question N° 2** : Comment donner des largeurs à des voiries tertiaires ?

Hypothèses :

- Débit horaire de pointe (voie de 3 m) < 400 v/h. (**selon le High way capacity Manual : niveau de service A**).
- Par voie trafic poids lourd négligeable.
- Largeur poids lourd 2,5 m.
- Vitesse faible < 40 km.

### Prédimensionnement:

Dans ce cas il faut prendre en considération le phénomène de croisement le plus défavorable: camion/véhicule léger ou camion/camion.

Nous pouvons confirmer qu'une voirie de 5 m (selon l'ouvrage route de **COQUAND** page 136) composée de deux voies d'une largeur de 2,5 m chacune permet le croisement (sans difficulté si la vitesse est faible) de deux camions.

**Question N°3** : La largeur 5 m est elle indépendante de la longueur du tronçon à parcourir ?

Hypothèses:

Nous pouvons prendre comme restriction la distance de visibilité qui permet à un camion de dépasser un autre camion à l'arrêt. Cette distance correspond à une distance de dépassement d'un véhicule à l'arrêt par un autre en mouvement.

Cette distance est évaluée à 2 fois  $d_a$  :

$d_a$  : distance d'arrêt.

$d_v$  : visibilité = 2  $d_a$ .

### Prédimensionnement :

- $d_v = 2 \times 40$  m en alignement.
- $d_v = 2 \times 45$  m en courbe accentuée

Nous pouvons dire qu'une voirie de 5 m de large ne doit pas avoir une longueur supérieure à 100 m.

### **Question N° 4 :**

Dans quelle condition la largeur est entre 5,5 m et 6 m pour la voirie ?

Hypothèses :

- Débit horaire de pointe (voie de 3 m) < 400 v/h.
- Vitesse réduite < 40 km/h
- Longueur > 100 m.

### Prédimensionnement :

- \* Dans ce cas, nous prenons une largeur de 5,5 m parce que le croisement entre deux camions est assuré et les contraintes de manoeuvres et de visibilité sont levées.
- \* Si le débit moyen est compris entre 400 et 800 V/H/voie et les mêmes conditions maintenues, il est alors recommandé de prendre une voirie de 6 m de large [**COQUAND 80**].

## **VII-3-4/ Impact sur les carrefours ou noeuds**

Le carrefour ou nœud est un point où se croisent, où se rencontrent plusieurs voies (au moins trois). Le choix de l'endroit du carrefour dépend de plusieurs paramètres :

- Directions à prendre,
- Débit à prendre en charge,
- Articulation des réseaux,
- L'accessibilité,
- Visibilité.

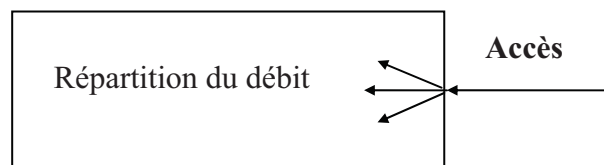
**Question N° 5 :** Où placer les carrefours ?

Hypothèses :

- Les points d'accès sont connus.
- Débit à prendre en charge connu.
- Variable: Articulation du réseau

Prédimensionnement : (voir **Figure VII-19**)

- Pour minimiser les longueurs voiries, il faut prévoir des nœuds. Comme nous l'avons cité plus haut (minimisation longueur voirie), les réseaux se répartissent selon leur articulation en 4 schémas : - Maillé, ramifié, semi-ramifié et linéaire.
- Le trafic est canalisé à l'entrée d'une cité grâce à un accès puis réparti à l'intérieur. Nous pouvons admettre un niveau de service "B" à l'entrée mais à l'intérieur il faut rester à un niveau de service "A" ce qui veut dire qu'il faut prévoir un carrefour de répartition du trafic pour respecter le niveau de service.



**Figure VII-16 :** Répartition du débit issu d'un seul accès.

**Question N° 6 :**

Où placer l'accès ?

Hypothèses :

- \* La direction à forte gravitation est connue.

Variables :

- Longueur de jonction entre le point d'accès et la voie menant à la zone à forte gravitation.
- Réseau voirie.

Prédimensionnement : (voir **Figure VII-20**)

Si nous partons du critère minimisation, nous débouchons sur un point d'accès qui soit le plus près possible du point de jonction avec la direction à forte gravitation.



Figure VII-17 : Emplacement d'un point d'accès en fonction d'une direction à forte gravitation.

#### VII-4/ Relation entre le stationnement mécanique et la densification :

Nous allons analyser les conséquences du stationnement sur l'espace urbain et proposer des solutions pour réduire les coûts.

L'expérience a montré que la minimisation des coûts de stationnement en termes d'économie d'espace urbain et d'économie de réalisation dépend des facteurs suivants :

- ◆ Mode de stationnement,
- ◆ L'emplacement des parkings,
- ◆ La disposition géométrique du parking par rapport à la topographie.

##### VII-4-1/ Mode de stationnement

Surface d'une place =  $2,5 \times 6 = 15 \text{ m}^2$

Surface d'une place avec zone de manoeuvre = 20 à 23  $\text{m}^2$

Avec les données des surfaces de stationnement, nous pouvons construire le tableau VII-1 suivant :

Tableau VII-1 : mode de stationnement et nombre de places

Stationnement	Nombre Places/100 ML	Nombre Places/Hectare
En bataille	40	500
En épis 45°	39	500
En alignement	17	Néant

Il ressort d'après le Tableau VII-1 que le stationnement en alignement est le plus économique parce qu'il ne nécessite pas de voie d'accès supplémentaire vers un parking en bataille.

#### VII-4-2/ Impact du parking centralisé sur un ensemble de trames

Ce cas se rencontre dans des zones à très forte densité (où les aires de stationnement n'arrivent pas à être réparties au niveau de chaque trame), voir **Figure VII-21**.

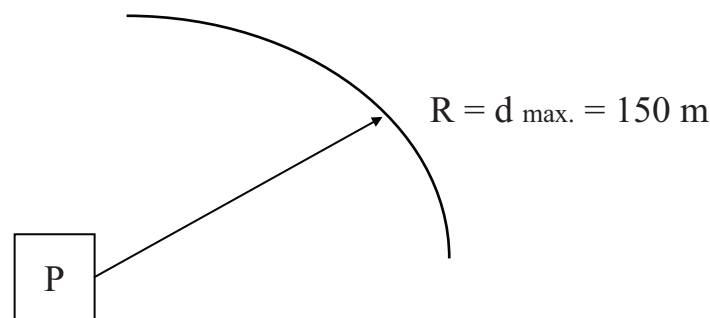
Nos hypothèses vont reposer sur le critère commodité du parcours parking / logement le plus éloigné. Ce critère se compose de deux paramètres : vitesse d'un piéton et temps maximal de déplacement.

$v = 1800 \text{ m/h}$  Vitesse d'un piéton

$t_{\max} = 5 \text{ mn.}$  Temps à mettre entre le parking et la trame la plus éloignée.

$$\text{d'où } d_{\max} = v.t = \frac{1800 \text{ m}}{60 \text{ m}} 5 \text{ mn} = 150 \text{ m} \quad (7-16)$$

$d_{\max}$  représente la distance ou bien le rayon d'influence du parking.



**Figure VII-18:** Rayon d'influence du parking centralisé.

Si nous appliquons ce résultat à l'échelle de plusieurs trames orthogonales nous obtenons la forme urbaine représentée par la **Figure VII-22**.

Trame	Trame	Trame
Trame	PARKING	Trame
Trame	Trame	Trame

**Figure VII-19 :** Emplacement d'un parking centralisé par rapport aux trames

### **VII-4-3/ L'emplacement des parkings**

Dans la pratique les aires de stationnement sont :

- Soit centralisées,
- Soit réparties en petits parkings.

L'avantage des petits parkings se situe en termes de confort de déplacement (appartement-parking). En effet la distance à parcourir à pied est courte par rapport à la distance à parcourir pour arriver à un parking centralisé.

L'inconvénient des petits parkings, c'est qu'ils ne peuvent pas être organisés du point de vue sécurité gardiennage.

### **VII-4-4/ Implantation du parking par rapport à la topographie**

Les parkings sont la plupart du temps conçus comme des plates formes horizontales indépendamment du relief du terrain. Dans le cas où le terrain est très accidenté, le coût des terrassements devient exorbitant. Pour éviter un surcoût de terrassement, nous pouvons projeter des assiettes de parkings légèrement en pente où en gradins.

### **Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons abordé les contraintes qui ne sont pas rigides et qui ne posent de grands obstacles dans la conception. En effet ce type de contraintes peuvent être surmontées moyennant quelques artifices.

Nous pouvons conclure que ces obstacles relèvent des techniques urbaines.

## Chapitre VIII

### **Relation contrainte longueur voirie/impact sur la densification.**

Ce chapitre a pour objectif d'établir le ratio longueur voirie à donner à un logement en fonction de la densité et de la forme de la trame, et du nombre de trames prévues. Le nombre de trames composant l'ensemble sera exprimé par la notion de « coefficient de la taille de l'agglomération ».

#### **VIII-1/ Influence de la forme de la trame ( $k = L_T/l_T$ ) sur la longueur voirie totale :**

Selon la forme géométrique de la trame, le rapport  $k = L_T/l_T$  varie et par conséquent la longueur voirie totale  $L_{vT}$  varie. Nous allons analyser le comportement d'une trame et de sa longueur totale voirie en fonction du rapport  $k$ .

$$L_{vT} = L_T + l_T = k \cdot l_T + l_T \quad (8-2)$$

$$\text{Assiette} = 10.000 \cdot N_T/d = L_T \cdot l_T = (k \cdot l_T)l_T = k \cdot l_T^2 \quad (8-3)$$

$$\text{d'où : } l_T^2 = 10.000/k \cdot N_T/d \quad \dots > l_T = \frac{100}{\sqrt{k}} \sqrt{\frac{N_T}{d}}$$

$$L_{vT} = k \frac{100}{\sqrt{k}} \sqrt{\frac{N_T}{d}} + \frac{100}{\sqrt{k}} \sqrt{\frac{N_T}{d}}$$

$$= 100 \sqrt{\frac{N_T}{d}} \left( \sqrt{k} + \frac{1}{\sqrt{k}} \right) = 100 \sqrt{\frac{N_T}{d}} K_f \quad (8-3)$$

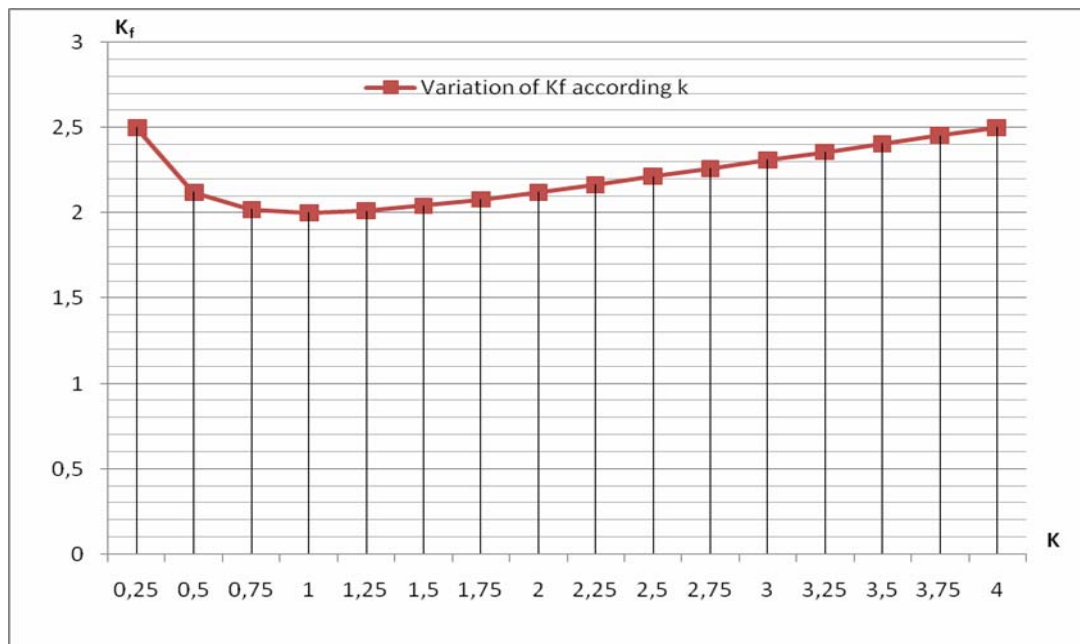
$$\text{avec } K_f = \sqrt{k} + \frac{1}{\sqrt{k}} \quad \text{Coefficient de la forme de la trame.} \quad (8-4)$$

Si  $k = 1 \implies K_f = 2$  nous aurons un carré avec les caractéristiques :

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

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

La variation du coefficient de la forme ( $K_f$ ) en fonction de la longueur et la largeur de la trame ( $L_T$  et  $l_T$ ) est illustrée par la **Figure VIII-2-1** suivante:



**Figure VIII-1:** variation du coefficient de la forme ( $K_f$ ) en fonction du rapport  $k$  ( $k=L_T / l_T$ )

### VIII-2/ : Influence de la taille urbaine (nombre de trame) sur la longueur totale voirie relative à une trame :

Nous allons dé montrer que la longueur voirie totale  $L_{VT}$  relative à une trame est une corrélation de la composition urbaine et de la taille urbaine à projeter. Pour cela nous prenons des trames de forme carré et la longueur totale de la voirie sera égale à la somme des cotés de chaque trame.

#### Hypothèses :

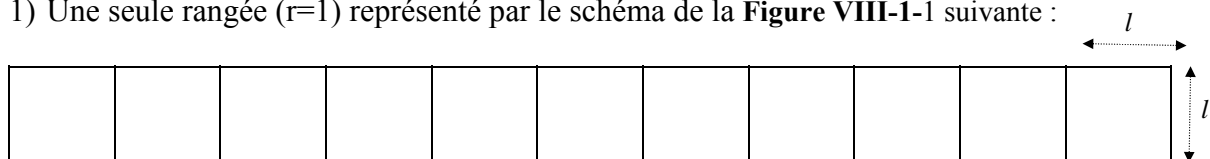
- Trames carrées de surface = 1 Hectare
- $l$  : coté du carré
- $n$  : Nombre de niveaux (étages)
- densité constante pour chaque trame.

#### Variables :

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

#### Prédimensionnement :

1) Une seule rangée ( $r=1$ ) représenté par le schéma de la **Figure VIII-1-1** suivante :

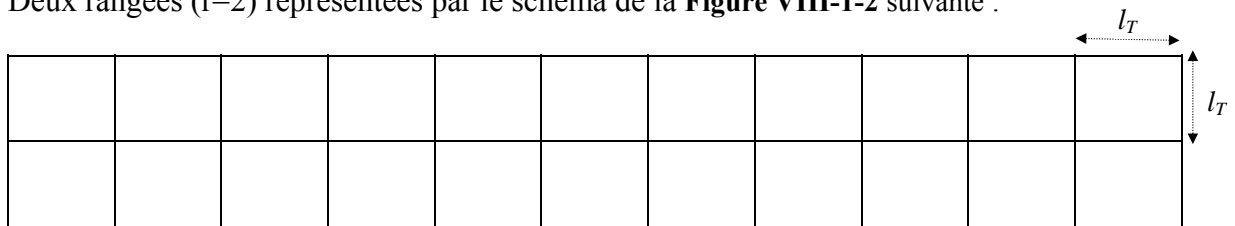


**Figure VIII —1-1 :** Schéma de la disposition d'un ensemble composé de  $i= 11$  trames carrées agencées sur une seule rangée.

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

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

2) Deux rangées (r=2) représentées par le schéma de la **Figure VIII-1-2** suivante :



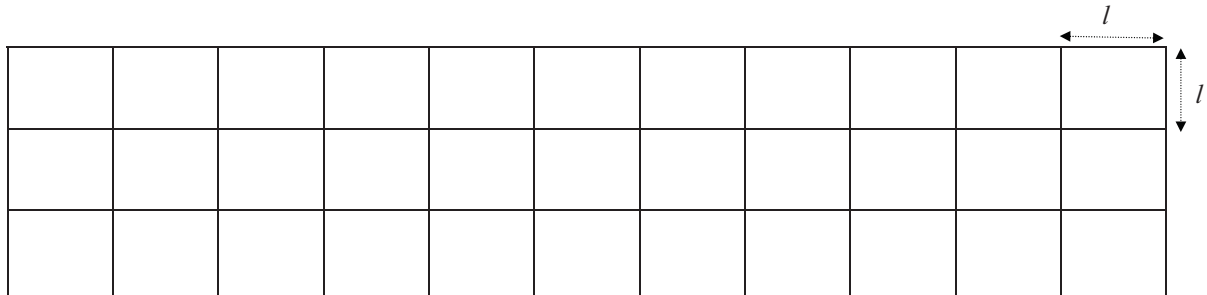
**Figure VIII-2** : Disposition d'un ensemble de i trames carrées agencées sur deux rangées.

- 2 carrés :  $L_{vT} = 7.l/2 = (2,5 \times 2 + 2)l/2$
- 4 carrés :  $L_{vT} = 12.l/4 = (2,5 \times 4 + 2)l/4$
- 6 carrés :  $L_{vT} = 17.l/6 = (2,5 \times 6 + 2)l/6$
- 8 carrés :  $L_{vT} = 22.l/8 = (2,5 \times 8 + 2)l/8$
- 10 carrés :  $L_{vT} = 27.l/10 = (2,5 \times 10 + 2)l/10$

- .....
- $i$  carrés :  $L_{vT} = (2,5i + 2)l/i = 2,5.l + 2.l/i$

$$\lim_{i \rightarrow \infty} L_{vT} = 2,5.l$$

3) Trois rangées et plus ( $r \geq 3$ ) représentées par le schéma de la **Figure VIII-4** suivante :



**Figure VIII-4:** Disposition d'un ensemble de  $i$  trames carrées agencées sur trois rangées.

A partir de trois (3) rangées la longueur voirie totale  $L_{vT}$  est très proche de la valeur :

$$L_{vT} = (2i + 2) l/i = 2l(1 + 1/i) \quad (8-1)$$

d'où  $\lim_{i \rightarrow \infty} L_{vT} = 2.l$

Vérification :

Nous allons comparer les longueurs totales de la voirie ( $L_{vT}$ ) obtenues par la relation (8-1) avec les longueurs réelles obtenues sur des exemples. Le **tableau VIII-1** exprime l'erreur relative obtenue par l'application de la relation (8-1).

**Tableau VIII-1:** Erreur relative obtenue par l'application de la relation

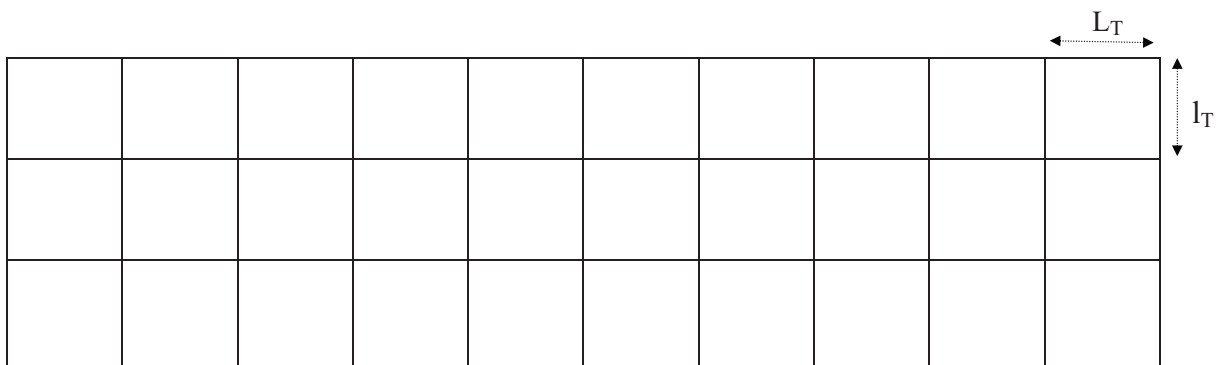
Rangées $i$		$L_{vT}$ réelle	$L_{vT} = (2i+2)l/i$	$(L_{vT} \cdot r - L_{vT})100/L_{vT} \cdot r$
3	9	24 $l$ / 9	24 $l$ / 9	0
	12	31 $l$ / 12	30,93 $l$ / 12	0,225
	15	38 $l$ / 15	37,75 $l$ / 15	0,668
	18	45 $l$ / 18	44,49 $l$ / 18	1,133
	21	52 $l$ / 21	51,16 $l$ / 21	1,600
	24	59 $l$ / 24	57,80 $l$ / 24	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

### VIII-3/ Détermination de la longueur voirie totale d'une trame en fonction de la taille agglomération (T)

Nous allons exprimer la longueur totale voirie ( $L_{vT}$ ) en fonction du nombre total de trames ( $i$ ) et du mode de rangement des trames ( $r$ ) sans assimiler ces dernières à des carrés comme cela a été fait dans le sous chapitre précédent VIII-1.

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

Nous allons utiliser des simulations de manière systématique sur un certain nombre de rangées représenté par la **Figure VIII-4** et essayer de trouver une loi par récurrence.



**Figure VIII-4** : Disposition d'un ensemble de  $i$  trames rectangulaires agencées sur deux rangées.

$$\begin{aligned} \text{- 01 rangée : } L_{vT} &= \frac{2i \cdot L_T + (i + 1)l_T}{i} = 2L_T + l_T + l_T/i \\ &= 2k \cdot l_T + l_T + l_T/i = l_T(2k + 1 + 1/i) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- 02 rangées : } L_{vT} &= \frac{3}{2} \frac{i}{i} L_T + \frac{(i + 2)}{i} l_T = 3/2L_T + l_T + 2l_T/i \\ &= 3k \cdot l_T/2 + l_T + 2l_T/i = l_T(1,5 \cdot k + 1 + 2/i) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- 03 rangées : } L_{vT} &= \frac{4}{3} \frac{i}{i} L_T + \frac{(i + 3)}{i} l_T = 4/3L_T + l_T + 3l_T/i \end{aligned}$$

$$= 4k \cdot l_T/3 + l_T + 3l_T/i = l_T (4k/3 + 1 + 3/i)$$

- 04 rangées :

$$L_{vT} = \frac{5 \frac{i}{4} L_T}{i} + \frac{(i+4)}{i} l_T = \frac{5}{4} L_T + l_T + 4l_T/i$$

$$= 5k \cdot l_T/4 + l_T + 4l_T/i = l_T (5k/4 + 1 + 4/i)$$

- r rangées disposées en r. i/r nous aurons

$$L_{vT} = l_T \left( \frac{(r+1)}{r} k + 1 + \frac{r}{i} \right) \quad (8-5)$$

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

$$\lim_{\substack{i \rightarrow \infty \\ r \rightarrow \infty \\ r \ll i}} L_{vT} = l_T (k + 1) = L_T + l_T \quad (8-6)$$

Nous constatons que la longueur voirie relative à une trame qui se trouve dans un ensemble composé d'une infinité de trames est égale à  $L_T + l_T$ , c'est-à-dire à son demi-périmètre.

Pour connaître la longueur voirie relative à une trame qui se trouve dans un ensemble composé de i trames, il faut multiplier le demi-périmètre ( $L_T + l_T$ ) par un coefficient ( $T > 1$ ) supérieur à 1 qu'on appellera coefficient de la Taille.

Posons :

$$L_{vT} = (L_T + l_T) \cdot T \quad (8-7)$$

T : Coefficient de la Taille

Les simulations sur le rangement des trames donnent les valeurs suivantes :

- Nombre de trames infini :  $T=1$
- Nombre de trames égale à 1 :  $T=2$

Ainsi le nombre de trames dépend du nombre de trames et du mode de rangement.

**Exemple :**

Soit 30 trames de dimensions  $L_T = 80$  m et  $l_T = 40$  m, disposées en cinq rangées contenant chacune 6 trames. Dans ce cas les valeurs des caractéristiques sont :

$i = 30$  trames;  $r = 5$  rangées;  $i/r = 6$  trames par rangées ;  $k = 80/40 = 2$  ;

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

Nous trouvons :

$$L_{vT} = [(r+1)k/r + 1 + r/i]l_T = [(6).2/5 + 1 + 5/30].40$$

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

$$T.(L_T + l_T) = [(r+1)k/r + 1 + r/i]l_T$$

$$\text{d'où } T = [(r+1)k/r + 1 + r/i]l_T / (L_T + l_T) = 142,666 / 120 = 1,19$$

**Remarque :**

En ayant le même type de trame, mais des nombres différents tel que :

- $i = 4$  disposées en deux rangées ( $r=2$ ), nous obtenons :

$i/r = 2$  trames par rangées;

$k = 80/40 = 2$  ;

$K_f = 2,121$ ;

$T = [(r+1)k/r + 1 + r/i]l_T / (L_T + l_T) = 180 / 120 = \mathbf{1,50}$

$L_{vT} = [(r+1)k/r + 1 + r/i]l_T = (3 \times 2/2 + 1 + 2/4).40 = \mathbf{180 \text{ m}}$  ;

- Avec  $i = 2$  et  $r = 1$ , nous obtenons

$T = (4 + 1 + 0,5).40 / 120 = \mathbf{1,833}$

La figure VIII-1 décrit le comportement du coefficient de la taille (T) en fonction du nombre de trames (i) et du nombre de rangées (r).

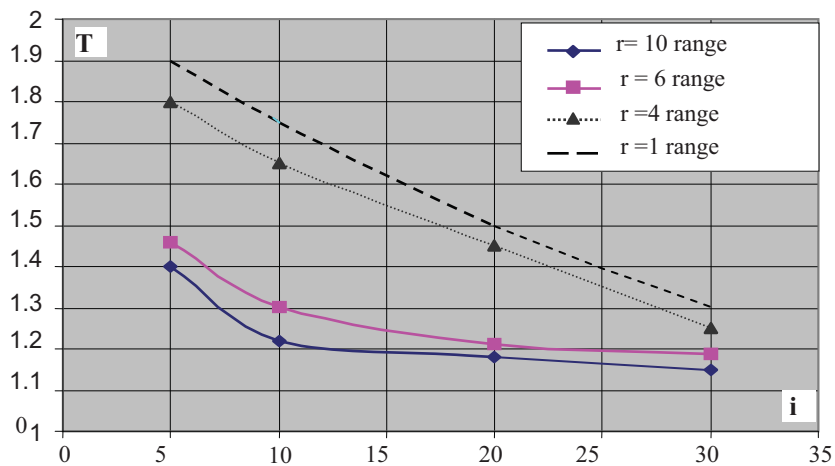


Figure VIII-5: Coefficient de la taille (T) en fonction du nombre de trames (i) et du nombre de rangées (r).

## Conclusion

Nous avons mis en évidence la relation longueur de voirie qui existe entre : la densité urbaine, la forme urbaine et le nombre de trames à projeter (ou bien la taille urbaine projetée).

Les paramètres qui expriment cette dépendance sont le coefficient de la forme ( $K_f$ ) et le coefficient de la taille ( $T$ ) qui sont donnés sous la forme suivante :

Le coefficient de la forme  $K_f = \sqrt{k} + \frac{1}{\sqrt{k}}$  où  $k = L_T / l_T$

Le coefficient de la taille  $T = L_{vT} / (L_T + l_T)$  varie entre 1 et 2.

$L_{vT}$  : longueur totale de la voirie de la trame.

$L_T$  et  $l_T$  : longueur et largeur de la trame.

Ainsi, La longueur totale voirie ( $L_{vT}$ ) a pour forme finale :

$$L_{vT} = 100 \sqrt{\frac{N_T}{d}} K_{f.T} \quad (8-8)$$

## CHAPITRE IX

### **Soutènement : talus et murs**

L'objectif de ce chapitre est la construction d'un modèle permettant de prendre une décision concernant le choix entre la conception d'un mur de soutènement ou bien d'un talus en zone urbaine relativement accidentée. Il s'agit de mettre au point des abaques servant d'outil facilitant la détermination des coûts d'aménagement des murs de soutènement et des talus ainsi que le seuil d'optimisation.

L'opportunité d'un tel travail réside dans le manque d'analyse dans les opérations d'aménagement urbains où la solution des murs de soutènement répond à un souci d'esthétique et d'économie. En effet, le manque d'espace dans les zones urbaines à forte densité et présentant une topographie accidentée nécessite une solution optimisée du point de vue économique, fonctionnel et sécuritaire.

Le mur de soutènement retenu est en béton armé type rideau, car il est le plus utilisé par rapport aux murs traditionnels en pierres ou en moellons. Les caractéristiques géométriques des murs en béton armé sont standardisés, dans la littérature, en fonction de la hauteur du talus ce qui facilite rapidement leur prédimensionnement. Le talus est représenté par une hauteur  $H$  et une largeur  $L$  conformément à la relation  $L = H / \tan \phi$ , où  $\phi$  désigne l'angle de repos naturel.

Les volumes relatifs au mur de soutènement et le volume du talus équivalent pouvant le remplacer sont évalués en premier.

Après avoir ensuite évalué l'espace foncier nécessaire à l'emprise du talus, le coût de réalisation du mur de soutènement est comparé au coût de réalisation du talus et au coût de la surface du sol perdu.

La démarche se termine par la présentation de graphes illustrant les coûts et la solution optimisée.

Les critères retenus généralement dans la conception traditionnelle répondaient uniquement à un souci de stabilité d'un massif de terre et ce en recourant à des artifices tel que les murs et les talus. La sécurité contre le glissement, le renversement et l'éboulement de l'ouvrage provoqué par les conditions d'exploitation et l'érosion se fait à l'aide d'un coefficient de sécurité pour la méthode déterministe Ou bien par une probabilité selon l'approche dite de « fiabilité ». Ainsi, lors du dimensionnement de l'ouvrage, le critère sécurité qui reste toujours déterminant ne satisfait qu'un acteur à savoir l'Ingénieur. Cette tendance qui néglige les autres aspects tel que l'économie et l'environnement est loin de satisfaire les exigences des urbanistes.

Actuellement, le concepteur dispose d'outils axés essentiellement sur les aspects dimensionnement et vérification de l'ouvrage. Les contraintes économiques et environnementales exprimées par les différents partenaires et acteurs dans les aménagements urbains font que le concepteur doit faire preuve de beaucoup d'imagination et de connaissances multidisciplinaires.

Dans la pratique de la plupart des bureaux d'études, le choix du type de soutènement adapté à un site et à une situation donnée est souvent conditionné par des considérations budgétaires ou par les clauses du cahier de charges. L'ingénieur et l'urbaniste appréhendent la conception de leurs actions dans l'insertion prioritaire à la chaîne des différentes interventions et ensuite dans la conformité des recommandations du client et de la réglementation en générale. L'acte de conception est ainsi partagé et les solutions proposées sont souvent contradictoires et concurrentielles entre elles.

Devant la complexité des contraintes d'une part, et de l'hétérogénéité des critères que l'on doit prendre en compte d'autre part, le problème de choix du type de soutènement se pose comme une équation à plusieurs paramètres et sa résolution doit satisfaire l'exigence sécurité et le critère économie. Une telle approche revêt un caractère multidisciplinaire et interdisciplinaire.

Notre travail s'intéresse à la relation coût existant entre le mur de soutènement type rideau en béton armé, le talus équivalent et l'espace foncier gagné sur les talus. Pour cerner cette relation avec le maximum de précision, l'étude exige que certaines conditions soient remplies. Nous supposons que les coefficients de sécurité sont de même ordre de grandeur pour le talus et le mur, que la réalisation de ces ouvrages se fait sur le même site et que le drainage est bien fait, ce qui fait que le problème de la poussée hydrostatique ne se pose pas.

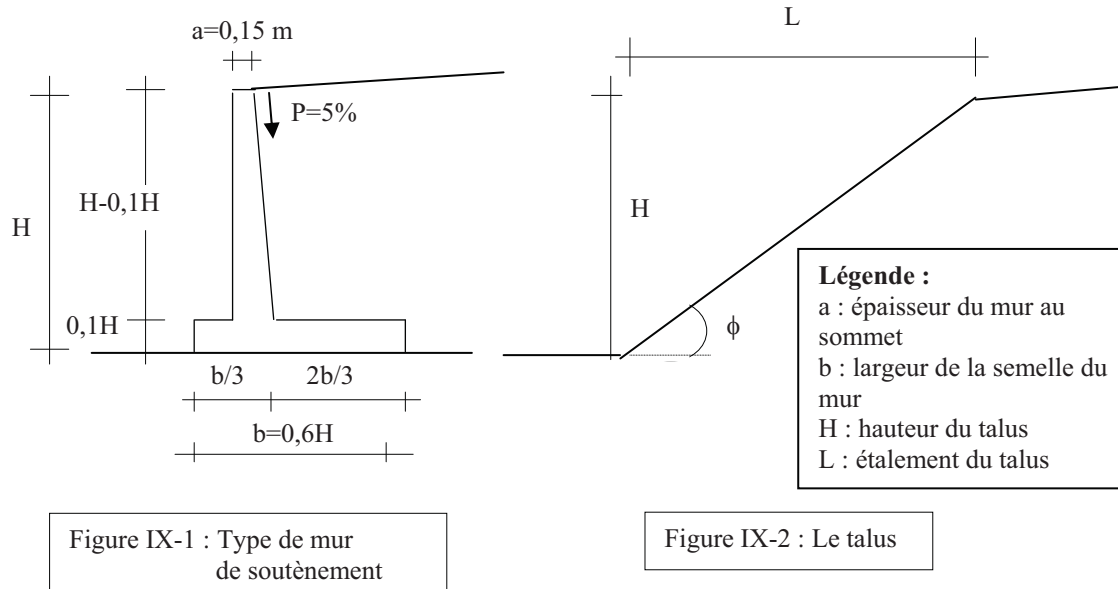
Pour améliorer et rendre plus fiable la prise de décision lors de la conception, nous nous sommes proposé d'élaborer un système d'aide au choix économique de ces ouvrages. Dans un premier temps, ce système nécessite une enquête sur les coûts unitaires de réalisation des tâches relatives aux composants constituant l'ouvrage, ou à défaut de reconstituer ces coûts par la méthode de la comptabilité analytique. Dans une deuxième phase, une base de données relatives aux coûts du mètre carré espace foncier doit être établie afin de prendre en charge la surface foncier économisée si on opte pour un mur à la place d'un talus.

## **IX-1/ Définition et présentation du domaine d'étude**

Avec le développement croissant des besoins en infrastructures et équipements des villes, les projets de génie civil, de bâtiment et d'habitat sont de plus en plus astreints à s'insérer dans une conception intégrée appelée « aménagements urbains ». Ainsi les aménagements de type circulation mécanique, aires de stationnement, zones d'habitat, zones à activité économique, et les zones de loisirs et de détente comportent des ouvrages de soutènement tel que les talus et les murs de soutènement.

Les ouvrages murs de soutènement sont presque exclusivement réalisés en béton armé, pierres, et rarement avec d'autres matériaux, tandis que les talus sont réalisés avec le sol natif au site et rarement avec un apport de terre extérieur au site. La fonction soutènement assignée à un ouvrage peut être exercée indépendamment par un mur ou par un talus.

Les figures IX-1 et IX-2 représentent respectivement le mur de soutènement et le talus.



Le soutènement des massifs de terre est essentiellement destiné à reprendre et à transmettre les différentes sollicitations au sol de fondation. L'ouvrage pouvant remplir cette fonction est soit un talus soit un mur de soutènement. Dans certains cas les ouvrages de soutènement sont destinés à satisfaire d'autres fonctions telles que la protection sonore et la délimitation des espaces entre voisins et entre espace privé et espace public.

- La solution des talus est connue, car elle ne fait que refléter un phénomène naturel. En effet dans la nature, il existe une multitude de massifs de terre en situation d'auto-stabilité comme il est montré dans la figure 2. Cette stabilité est assurée par le frottement interne du sol d'un talus qui joue le rôle d'une butée. Cette butée se définit par ses caractéristiques géométriques et par ses propriétés physiques et mécaniques. Les sollicitations en présence, découlent de la résultante des poussées du massif de terre et des charges d'exploitation se trouvant en amont. Il existe ainsi des talus en déblais et en remblais dont l'action est de retenir ou d'épauler une masse de terre. L'inconvénient des talus est qu'ils sont très vulnérables à la corrosion provoquée par le ruissellement des eaux pluviales et c'est pour cela qu'il est recommandé de recouvrir ces derniers par une surface boisée ou à défaut par un tapis végétal. L'avantage reconnu aux talus par rapport aux murs de soutènement est que le coût d'intervention de réparation des dommages subis est léger.
- Les murs de soutènement sont généralement destinés à remplacer les talus et à récupérer la surface réservée initialement à ces derniers. Dans le passé, ils étaient réalisés totalement en pierres ou en moellons. Actuellement, pour des raisons de rapidité et de coûts ces derniers sont conçus en béton-armé préparé sur chantier ou importé sous la forme d'éléments préfabriqués. Un tel artifice rend possible l'exploitation des espaces de l'entourage immédiat, que ce soit du côté amont ou du côté aval. Ces ouvrages créent une discontinuité dans le profil du terrain naturel, et c'est pour cela qu'il faut prendre en considération la contrainte d'intégration à l'environnement immédiat. Nous pouvons rencontrer ainsi des ouvrages dits en *déblai* permettant d'élargir la zone située en aval et des ouvrages dits en *remblai* permettant d'élargir la zone se trouvant en amont. Le mur type rideau se définit comme étant composé d'une paroi verticale ayant une section variable et d'une semelle solidaire avec la paroi. Les caractéristiques géométriques de ce mur sont illustrées dans la **figure IX-1**.

Ainsi le concepteur dispose d'un choix d'ouvrages lui permettant de satisfaire non seulement les exigences techniques et économiques, mais aussi les exigences environnementales.

## **IX-2/ Finalité des ouvrages de soutènement**

### **1. Finalité des ouvrages de soutènement:**

Comme pour un bâtiment, l'espace qui peut être un talus ou un mur de soutènement doit assurer un certain nombre de fonctions. Ces fonctions sont prises en charge par l'opération aménagement. Ainsi nous pouvons distinguer cinq fonctions principales :

- reprise et transmission des charges,
- délimitation des espaces,
- zone de circulation piétonne correspondant aux allées piétonnes pour les talus ;
- zone d'espace vert pour les talus,
- multiple pour les murs. soutènement, délimitation d'espace et élément décoratif d'une façade de bâtiment.

Chaque fonction s'exerce dans un espace correspondant, tandis que la fonction articulation des fonctions s'exerce sur l'ensemble des espaces du projet et en relation avec les fonctions du voisinage du site du projet. Nous pouvons appeler cette fonction "organisation spatiale".

### **2. Composantes du talus :**

Les éléments qui composent un talus sont des espaces fonctions. Ainsi on peut distinguer :

- L'espace géométrique défini par la hauteur et la largeur matérialisant le talus,
- la surface planimétrique du talus qui dépend de la pente du terrain,
- l'espace vert recouvrant le talus,

### **3. Composantes du mur de soutènement :**

Les éléments composant un mur de soutènement type rideau en béton armé sont identifiés à partir des fonctions pour lesquelles elles sont destinées. L'association de la fonction et de l'espace dans lequel cette dernière se manifeste, fait ressortir les éléments suivants :

- La paroi verticale appelée rideau servant à reprendre les poussées et à délimiter l'espace amont et aval,
- La semelle, élément horizontal, servant à reprendre les forces transmises par le rideau et à les transmettre à son tour vers le sol fondation,
- Les contre forces ou bien raidisseurs lorsque la hauteur du mur est importante.

## **IX-2/ Construction et résolution du problème**

Cette étape concerne la formulation des données, la pose du problème et sa résolution.

### **1. Les volumes :**

Le mur de soutènement est totalement réalisé en b,ton armé, et nécessite un remblai du coté, amont pour les besoins du drainage. Les principales taches sont réduites aux fournitures et pose de béton armé et remblai drainé.

a) Le mur de soutènement

- Volume béton armé (Vba) :

$$\begin{aligned} V_{ba} &= \text{volume rideau} + \text{volume semelle} \\ &= 0,5(H - 0,1)[a + (a + 5\% (H - 0,1))] + 0,1H(0,6H) \\ &= 0,085 H^2 + (a - 0,005)H - (0,1a - 0,00025) \end{aligned} \quad (9-1)$$

Généralement  $a = 0,15 \text{ m}$

$$\text{d'où } V_{ba} = 0,085H^2 + 0,145H - 0,01475 \quad (9-2)$$

- Volume remblais drainé (Vr) :  $V_r = 0,5(H.b) = 0,5(H.0,6H) = 0,30.H^2$  (9-3)

b) Talus

$$V_t = 0,5H.L = 0,5H(H / \text{tg}\phi) = H^2 / 2 \text{tg}\phi, \quad (9-4)$$

$$S_{ev} = L.1 \text{ ml} = (H / \text{tg}\phi).1 \quad (9-5)$$

## 2. Les coûts unitaires

### **Symboles :**

- $C_{0t}$  : Coût du mètre cube terrassement,
- $C_{0v}$  : Coût du mètre carré espace vert.
- $C_{ba}$  : Coût du mètre cube béton armé,
- $C_r$  : Coût du mètre cube remblai drainé,
- $C_{ov}$  : Coût du mètre carré espace vert,
- $C_{ot}$  : Coût du mètre cube terrassement (déblai),
- $C_{ov}$  : Coût du mètre carré espace vert.

- Mur

$$V_{ba} = 0,085H^2 + 0,145H - 0,01475 \quad (9-6)$$

$$V_r = 0,5(H).(0,6H) = 0,30.H^2 \quad (9-7)$$

- $C_{ba}$  : Coût du mètre cube béton armé,
- $C_r$  : Coût du mètre cube remblai drainé.

- Foncier

$C_{or}$  : Coût du mètre carré foncier.

- Géotechnique

$\phi$  : angle de repos naturel (ou rapport hauteur/largeur).

## IX-3/ Résolution du problème

### – Détermination des coûts :

$$\text{Coût du ml mur: } C_m = C_{ba} (0,085H^2 + 0,145H - 0,01475) + C_r (0,30H^2) \quad (9-8)$$

$$\text{Coût du ml talus: } C_t = C_{ot} (H^2 / 2 \text{tg}\phi + C_{ov} (H / \text{tg}\phi)) \quad (9-9)$$

$$\text{Coût du ml foncier économisé: } C_f = C_{or} (H / \text{tg}\phi) \quad (9-10)$$

### – Pose du problème :

Deux alternatives se présentent:

- solution avec talus, mais en même temps dépense supplémentaire nécessaire à l'espace foncier représenté par le talus,
- solution avec mur de soutènement.

Globalement, les dépenses se résument en trois types: réalisation du talus, acquisition de la surface foncière relative au talus et réalisation du mur. Le choix entre le mur de soutènement et le talus repose essentiellement sur une comparaison entre la somme des coûts du talus et du foncier d'un côté, et le coût du mur de soutènement de l'autre côté.

#### – Résolution

Le choix est soumis à un seuil (ou bien limite) à partir duquel la solution mur est recommandée. Cette condition est formulée par la relation suivante :

Coût du mètre linéaire talus  $\geq$  Coût du mètre linéaire mur de soutènement - Coût du mètre linéaire foncier économisé.

En définitif, la solution avec mur de soutènement est préconisée lorsque la condition qui va suivre est satisfaite.

Si $(C_t + C_{ev}) + C_f \geq C_{ms}$ , Alors la solution mur de soutènement s'impose
$[CO_t (H^2 / 2 \text{ tg}\phi) + C_{ov} (H / \text{tg}\phi)] + C_{of} (H / \text{tg}\phi) \geq C_{ba} (0,085H^2 + 0,145H - 0,01475) + C_{Or} (0,3H^2)$ (9-11)

### IX-4/ Détermination des coûts moyens:

#### – Les coûts moyens de réalisation

Tableau IX- I: Résultats de l'enquête sur les coûts de réalisation en DA

Année 2001	Unité	Cabinet Expert	Entreprise COSIDER	Entreprise Individuelle	Centre national d'assistante technique	Moyenne
Béton armé	M3	6800,00	6400,00	6600,00	6500	6650
Remblais drainé	M3	150,00	120,00	140,00	120,00	140
Déblais	M3	100,00	80,00	110,00	K*100,00 (K=1 à 1,5)	100
Espace vert	M2	100,00	100,00	80,00	100,00	95

Le coefficient K prend en charge la dureté du sol.

#### – Les coûts moyens du foncier

Tableau IX-2 : Résultats de l'enquête sur les coûts d'acquisition du m<sup>2</sup> foncier en zone urbaine en DA

zones	Cabinet Expert	Agence foncière	Agence immobilière	Moyenne
1	5000,00 à 8000,00	6000,00 à 10000,00	6000,00 à 8000,00	5666 à 8666
2	3000.00 à 5000.00	4000.00 à 6000.00	3000.00 à 6000,00	3333 à 5666
3	2000.00 à 3000.00	2000.00 à 4000.00	2000.00 à 3000.00	2000 à 3333

#### – Interprétation des résultats

En ce qui concerne les coûts de réalisation des tâches, les valeurs sont proches les unes par

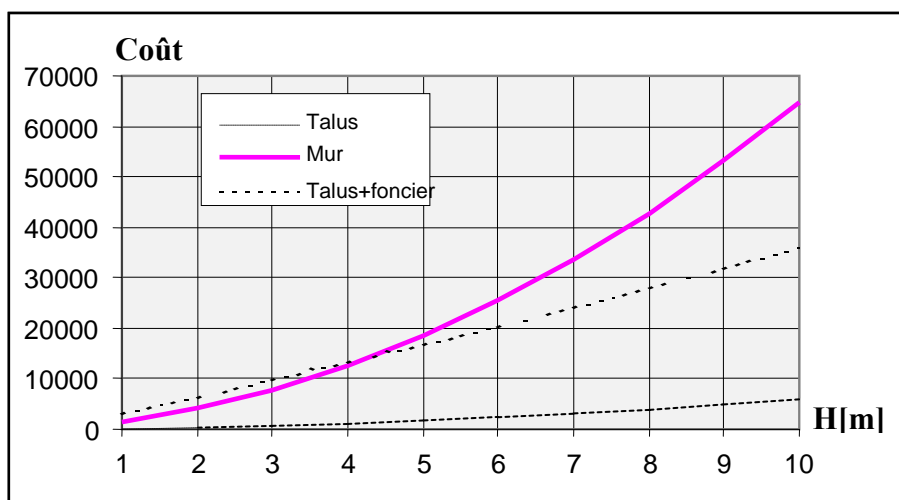
rapport aux autres et par conséquent la moyenne sera prise en considération. Par contre, les valeurs du foncier sont assez éloignées les unes par rapport aux autres ce qui fait que la prise en compte de la moyenne arithmétique ne donnera pas de résultats fiables, Pour donner un sens pratique à la construction des abaques, le coût du foncier sera indexé sur celui du béton armé qui est une valeur stable, Ainsi, le rapport  $R = \text{coût béton armé} / \text{coût foncier}$  donnera une évaluation beaucoup plus pratique des différentes courbes qui seront construites.

### IX-5/ Exemples de calculs des coûts

Sur la base des coûts moyens déterminés plus haut, les coûts du talus ( $C_t + C_{ev}$ ) et du mur de soutènement ( $C_{ms}$ ) sont présentés dans les tableaux suivants :

**Tableau IX-3** : calculs des coûts avec  $\phi = 45^\circ$  ;  $C_{0t} = 100$  DA ;  $C_{ba} = 6\,500$  DA ;  $C_{0r} = 100$  DA ;  $C_{0f} = 3\,000$  DA

H [m]	H <sup>2</sup>	C <sub>t</sub> [DA]	C <sub>ev</sub> [DA]	C <sub>t</sub> + C <sub>ev</sub> [DA]	C <sub>f</sub> [DA]	C <sub>ms</sub> [DA]
1	1	50	100	150	3000	1441,125
2	4	200	200	400	6000	4041,125
3	9	450	300	750	9000	7746,125
4	16	800	400	1200	12000	12556,125
5	25	1250	500	1750	15000	18471,125
6	36	1800	600	2400	18000	25491,125
7	49	2450	700	3150	21000	33616,125
8	64	3200	800	4000	24000	42846,125
9	81	4050	900	4950	27000	53181,125
10	100	5000	1000	6000	30000	64621,125

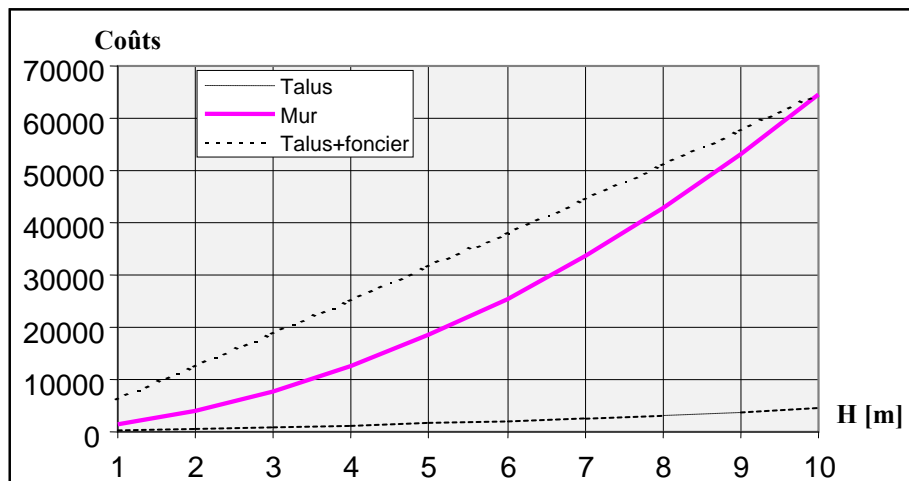


**Figure IX-3** : Coûts en fonction de la hauteur avec  $\text{tg}\phi = 1$

Ce premier graphe fait ressortir que la solution mur est viable pour une hauteur [H] inférieure à 3,5 m et que le coût du ml mur est de 1 000 DA pour une hauteur proche de 3,5 m.

**Tableau IX-4** : calculs des coûts avec  $\phi = 30^\circ$ ; Cot = 100 DA; C ba = 6 50 0 DA; Or = 14 0 DA; C0v = 100 DA; C0f = 3 000 DA

H [m]	H <sup>2</sup>	Ct [DA]	Cev [DA]	Ct + Cev [DA]	Cf [DA]	Cms [DA]
1	1	25	200	225	6000	1414,125
2	4	100	400	500	12000	4041,125
3	9	225	600	825	18000	7746,125
4	16	400	800	1200	24000	12556,125
5	25	625	1000	1625	30000	18471,125
6	36	900	1200	2100	36000	25491,125
7	49	1225	1400	2625	42000	33616,125
8	64	1600	1600	3200	48000	42846,125
9	81	2025	1800	3825	54000	53181,125
10	100	2500	2000	4500	60000	64621,125



**Figure IX-4** : Coûts en fonction de la hauteur avec  $\text{tg}\phi = 0,5$

Ce second graphe fait ressortir que la solution mur est viable pour une hauteur [H] inférieure à 9,5 m et que le coût du ml est de 6 000 DA pour une hauteur proche de 9,5 m.

### Conclusion de la deuxième partie

Les impacts des contraintes rigides sur la densification nous permettent d'éliminer les solutions non admissibles.

Dans le chapitre cinq et d'après les graphes précédents **Figure V-5-5 et V-5-6**, nous constatons que pour construire des tours, nous aurons besoin de terrains relativement plats pour que l'impact des talus soit négligeable. Dans le cas où le terrain est accidenté et si nous voulons économiser des terrains affectés aux talus ou bien diminuer l'espace entre la plate-

forme et le talus, nous devons prévoir des murs de soutènement. Evidemment le mur de soutènement revient plus cher qu'un talus. Le choix définitif se fera sur la base d'une étude technico-économique comparative entre les solutions talus et murs de soutènement. L'impact sur la densité se traduit indirectement à travers la limite emprise bâtiment et l'assiette puisque les talus vont soit augmenter l'assiette en gardant l'emprise fixe, soit réduire l'emprise en gardant l'assiette fixe. Des travaux similaires effectués par le professeur [BIAREZ], repris dans l'ouvrage "Fondations et ouvrages en terre de Philipponnat [G. Philipponnat 79 ]", concernent la stabilité des fondations de bâtiments reposant sur des talus. Dans notre recherche les résultats concernent la stabilité d'un talus sous influence d'une charge de bâtiment transmise par la fondation type radier.

Dans le chapitre six nous déduisons que la conception des parkings doit être conçue d'une manière éclatée, si c'est possible proche des résidants et longeant la voirie que ce soit en bataille ou en alignement, pour éviter des tronçons de voiries supplémentaires menant vers ces parkings, la signalisation routière doit être prise en compte dans la projection urbaine et l'implantation des parkings doit tenir compte de la nature topographique du site.

Dans le chapitre sept, nous pouvons simplifier la conclusion comme suit :

- $L_{vT} = 100\sqrt{N/d} \cdot K_f \cdot 1,8 < L_{vT} < 100\sqrt{N/d} \cdot K_f \cdot 2$  Pour les petites opérations (nombre de trames réduit → taille agglomération petite).
- $L_{vT} = 100\sqrt{N/d} \cdot K_f \cdot 1,5 < L_{vT} < 100\sqrt{N/d} \cdot K_f \cdot 1,8$  : Pour les moyennes opérations (nombre de trames moyen → taille agglomération moyenne).
- $L_{vT} = 100\sqrt{N/d} \cdot K_f \cdot 1 < L_{vT} < 100\sqrt{N/d} \cdot K_f \cdot 1,5$  : Pour les grandes opérations (très grand nombre de trames → taille agglomération grande).

La longueur voirie totale  $L_{vT}$  (d'une trame) varie en fonction du mode de rangement, du nombre de trames et du rapport  $K = L_T/l_T$ .

Dans cette partie nous avons identifié les relations contraintes/impacts sur la densification et ces dernières vont nous servir comme hypothèses pour la résolution de notre modèle de densification d'une trame plane orthogonale. C'est pour cela que dans la troisième partie, nous abordons la résolution du problème de notre modèle.

#### Propositions :

- \* Rapprocher le stationnement du lieu de résidence.
- \* Agrandir les voies à 8 m pour permettre le stationnement en ligne sur un côté pour voirie à double sens ou bien à 10 m pour un stationnement sur les deux côtés de la voirie.
- \* Combiner le stationnement en ligne et en bataille.
- \* Abandonner l'idée des plates-formes pour les parkings pour épouser la forme du terrain.

## Troisième partie

### **La conception assistée par ordinateur, la programmation orientée objet, Démarche de résolution, présentation du logiciel « Urban design » et Exemple d'études d'une trame**

Cette troisième partie aborde la problématique de la conception assistée par ordinateur (C.A.O) avec son corollaire le langage orienté objet, d'un côté et de l'autre côté la démarche de résolution de la densification, des coûts des ouvrages de soutènement, du choix du type d'ouvrage, de l'implantation des bâtiments en fonction de la stabilité des talus et enfin de la présentation du logiciel baptisé « Urban design ».

Elle commence par traiter de la démarche de la résolution du problème de la densification et des tâches accompagnent celle-ci. En effet, en plus de l'étude de la densité urbaine, d'autres travaux suivent comme les implantations des ouvrages et les travaux de soutènement d'une manière générale.

Nous présentons notre démarche pour trois types de conception : la densification urbaine au sens restrictive (densité urbaine), les études des coûts des ouvrages de soutènement comme les talus naturels et les murs de soutènement en béton armé, et enfin une étude d'aide au choix entre ces deux derniers ouvrages.

La densité urbaine est traitée selon deux cas pratiques : aide à la décision vis à vis d'un client ou d'un décideur en lui fournissant des solutions prêtes à l'emploi selon des critères de standing spatiale et aide à la conception pour assister un concepteur qui peut être un urbaniste, un aménageur ou un ingénieur en génie civil.

De la même manière que précédemment sont abordées les études de coûts concernant les talus et les murs de soutènement. A savoir, une phase d'aide à la décision en présentant trois cas de solution possibles en fonction des caractéristiques géotechniques et ensuite une phase d'aide à la conception où l'aménageur dispose de toutes les données du problème. Si le choix n'est pas imposé pour le type de soutènement, alors nous présentons la démarche permettant de faire un choix sur la base des coûts.

L'implantation d'un bâtiment en fonction de la stabilité des talus de sa plateforme est traitée de la même manière que précédemment : aide à la prise de décision en fonction des caractéristiques géotechniques et en suite aide à la conception générale lorsqu'on dispose de toutes les données du problème.

Cette partie s'articule selon trois chapitres : Aide à la conception par ordinateur, la programmation orientée objet et Démarche de résolution et présentation du logiciel « Urban design ».

## **CHAPITRE X**

### **La conception assistée par ordinateur**

La conception assistée par ordinateur ou C.A.O., concerne le processus conception-fabrication depuis l'élaboration du cahier des charges jusqu'à la préparation des documents de fabrication. Elle peut donc être considérée comme l'ensemble des aides informatiques aux bureaux d'études et aux bureaux des méthodes. Le sigle C.F.A.O. (conception et fabrication assistées par ordinateur) remplace ainsi de plus en plus le sigle C.A.O., trop restrictif, d'autant que la C.A.O. trouve son prolongement dans l'automatisation de la fabrication, la robotique et la gestion de production.

Un système de C.A.O. comprend des matériels (ordinateurs, écrans ...) et des logiciels (programmes de calcul) permettant ainsi d'utiliser les possibilités de la machine dans les domaines du calcul, de la manipulation d'information ou de la visualisation. La C.A.O. met ainsi à profit cette synergie entre les qualités respectives de l'homme et de la machine.

Ce processus s'appuie sur une représentation informatique de l'objet en cours de conception, le modèle, parfois appelé maquette virtuelle. Ce modèle permet de simuler des actions (calculs, cinématique...) sans avoir à fabriquer l'objet et facilite ainsi, à moindre coût, les modifications et les améliorations.

#### **X-1/ Les logiciels pour la C.A.O.**

Le processus de conception doit être considéré comme un processus «informatique», c'est-à-dire que des informations sont manipulées (modèles, mathématiques, etc., mis à part les maquettes physiques), contrairement au processus de fabrication, qui est un processus matériel et énergétique (mais qui devrait pouvoir également être modélisé).

L'aspect le plus important est la modélisation de l'objet (ou du processus) en cours de conception. Le modèle d'un objet est la représentation informatique de cet objet (contenant donc des informations géométriques, mais également technologiques). Le modèle n'est pas le seul ensemble d'informations qui doit être manipulé. Dans un système de C.F.A.O. intégré, les données concernent également les projets antérieurs, les capacités techniques de l'entreprise, etc.

Les actions qui doivent être accessibles durant tout le processus seront globalement de trois types :

- des gestions d'information ; l'information pourra être aussi bien le modèle que des plans terminés, etc.
- des actions d'interactions, tant en entrée (entrée de valeurs, désignation d'un objet...) qu'en sortie (visualisation d'une pièce mécanique avec élimination des parties cachées, résultat d'un calcul...);
- des calculs (sur la cinématique, sur la géométrie, sur les structures...).

## X-1-1/ Les systèmes de gestion de base de données

Un système de gestion de base de données (S.G.B.D.) pour la C.A.O. doit permettre à divers programmes de mémoriser, de manipuler et d'extraire les caractéristiques et la structure d'objets conçus ou en cours de conception. Si l'on peut ainsi les rapprocher facilement des S.G.B.D. conçus pour la gestion, une différence fondamentale apparaît cependant à la première analyse.

Une base de données pour la C.F.A.O. est essentiellement dynamique, tant du point de vue des données que du point de vue de la structuration des informations. Les autres caractéristiques générales sont les suivantes:

- la structure des informations peut être très complexe;
- les informations contenues sont extrêmement variées (géométrie, topologie, données techniques...);
- l'intervenant sur la base de données est en général un concepteur (et non pas un administrateur de base de données), et le mode de travail est interactif;
- le taux de modification est très élevé, et le S.G.B.D. doit admettre parfois une certaine incohérence, dans le cas, par exemple, d'une recherche de solutions en parallèle.

Si certaines tentatives ont été faites pour utiliser des S.G.B.D. classiques ou pour respecter les normes d'accès, on ne peut affirmer que des S.G.B.D. généraux appliqués à la C.A.O. ont été développés. Dans la plupart des développements de systèmes de C.A.O., les auteurs de ces systèmes ont préféré réaliser des S.G.B.D. spécifiques bien adaptés à leur application et respectant ainsi des performances compatibles avec le mode de travail interactif. Signalons cependant la définition de S.G.B.D. spécialisés à certains domaines (chimie, cartographie...). Il s'agit de données communes à toute une profession qui peuvent être gérées de manière classique.

## X-1-2/ Les logiciels graphiques

Les logiciels graphiques pour la C.A.O. représentent la partie la plus visible et la plus spectaculaire d'un système. Rappelons tout d'abord que graphique et C.A.O. sont deux domaines ayant une partie commune, mais que, de même qu'il existe des systèmes de C.A.O. sans graphique, il existe des techniques graphiques hors C.A.O. (dessin artistique par exemple). Si la C.A.O. utilise des techniques graphiques, ces techniques ont souvent été développées en dehors d'elle, avec pour préoccupation essentielle la visualisation d'objets ou de formes.

Les logiciels graphiques utilisés en C.A.O. sont d'une grande variété en raison de la diversité des applications. Nous allons donc simplement définir de façon macroscopique quelques principes concernant des logiciels généraux accessibles aux utilisateurs.

La représentation d'objets du point de vue de leurs propriétés géométriques (et non pas fonctionnelles) est connue sous le terme de modélisation géométrique. Historiquement, la modélisation géométrique a découlé des premiers travaux faits dans le domaine graphique. Dès 1963, de nombreuses études portent sur la représentation graphique (les fondements de la plupart des algorithmes d'éliminations de parties cachées ont été découverts avant 1972), et des réalisations spécifiques, en particulier dans les domaines de l'aéronautique et de l'automobile, débouchent sur les représentations de surfaces (Coons, Bézier...).

À partir des années soixante-dix, les algorithmes sont améliorés, et des aspects tels que la commande numérique commencent à être bien maîtrisés. Les premiers systèmes de modélisation de solides font leur apparition. La modélisation des solides connaît un

développement important dans l'industrie et des fonctionnalités spécifiques apparaissent dans ces modèles, essentiellement à cause de l'évolution des matériels (animation, couleur, etc.).

La modélisation géométrique est un aspect important de la C.F.A.O. En effet, c'est le point de départ de nombreuses autres fonctions, tant au niveau des études qu'au niveau de la fabrication. Par exemple, le modèle géométrique sera utilisé pour une modélisation par éléments finis pour la sortie de plans de fabrication ou pour créer les bandes de commande numérique.

Un modèle géométrique est généralement créé à partir de l'utilisation interactive d'un terminal graphique, ce qui pousse à une assimilation erronée entre l'image qui apparaît sur le terminal graphique et le modèle de l'objet. Le modèle géométrique d'un objet est la représentation informatique des formes et des dimensions de cet objet. Il est sans doute utile de remarquer qu'un modèle géométrique peut être créé sans terminal graphique, par exemple comme résultat de calculs.

La représentation bidimensionnelle est souvent mal adaptée pour un objet quelque peu complexe. Cette modélisation est cependant encore très souvent employée car elle est moins coûteuse et bien adaptée à de nombreux problèmes de l'industrie. Dans les techniques classiques (sans C.A.O.), le plan est utilisé, ce qui permet de représenter un objet sous plusieurs vues.

Lorsque l'objet est très complexe, des maquettes permettent de le représenter. Un modèle tridimensionnel a pour but la représentation virtuelle d'un objet dans ses trois dimensions. Parmi les travaux qui ont été menés dans ce domaine et parmi les logiciels opérationnels, il est possible de distinguer trois types de modèles tridimensionnels:

- le modèle «fil de fer»;
- le modèle «surface»;
- le modèle «solide» (ou «volumique»).

Le modèle «fil de fer» est historiquement le premier à avoir été mis en œuvre. Il ne conserve que les coordonnées (X, Y, Z) des sommets et les arêtes les joignant. Il est de toute évidence très ambigu.

Le modèle «surface» permet la définition de surfaces parfois très complexes. Cette possibilité a souvent été ajoutée à des modèles «fil de fer» pour définir les surfaces d'un objet qui ne peuvent pas être automatiquement déduites de ce modèle. Cependant, ce modèle hybride («fil de fer» + «surface») n'assure pas la non-ambiguïté de l'information (tel le fait que plusieurs surfaces déterminent ou non un volume).

Le modèle «solide» permet la représentation d'objets complexes en assurant la cohérence de l'information, par reconnaissance de la matière en particulier.

Un modèle géométrique est souvent performant pour modéliser un objet. Or, dans la plupart des cas (en mécanique, par exemple), il s'agit de modéliser un nombre très grand d'objets. Cela pose évidemment quelques problèmes : le nombre d'objets à manipuler influe fortement sur les performances de certains algorithmes, par exemple l'élimination des parties cachées, mais la contrainte essentielle se trouve au niveau de la gestion de données graphiques et non graphiques, par exemple pour gérer dans un assemblage la répartition statistique des chaînes de cote.

## **X-1-2/ Les fonctions de calcul**

L'un des aspects essentiels des systèmes de C.F.A.O. est l'aide qu'ils peuvent apporter au

concepteur en lui permettant d'appliquer un certain nombre de fonctions sur le modèle. Cet aspect devrait, dans le cas idéal, être plus utile à la conception qu'une vérification. L'importance des calculs a souvent imposé leur utilisation en temps différé, mais les nouvelles générations de calculateurs autorisent de grands espoirs sur leur utilisation en temps réel. Les types de calculs utilisés sont de nature extrêmement différente; citons par exemple:

- les calculs simples d'aide à la conception qui sont utilisés en temps réel et qui sont essentiellement des aides au dialogue entre le concepteur et le modèle; il s'agit par exemple de calculs tels que distance entre deux droites, surface d'un contour, etc.;
- les calculs qui sont nécessaires sur le modèle géométrique pour remplir les fonctions de manipulation d'information graphique (entre autres les calculs de contraintes ou de transformations géométriques, les calculs de base comme les intersections de surfaces, les algorithmes d'élimination de parties cachées, etc.);
- les calculs de structure pour vérifier que telle ou telle contrainte est respectée;
- des calculs permettant de trouver une solution à un problème donné, soit exacte, soit approchée (par exemple le calcul du placement de pièces de bois rectangulaires dans un panneau rectangulaire);
- les simulations de fonctionnement, soit du produit conçu lui-même, soit des outillages (parcours d'un outil ou simulation de la gamme).

## X-2/ Les problèmes économiques

L'un des obstacles les plus importants à la diffusion de la C.A.O. dans l'ensemble du tissu industriel est la difficulté que l'on rencontre dans de nombreux cas à prouver la rentabilité d'un investissement qui peut se révéler important. Dans le coût global, il faut bien entendu compter les coûts du système de C.A.O. lui-même, mais également des coûts moins visibles, qui peuvent largement dépasser le coût du système, tels que les coûts qui sont liés à la formation des personnels, à la réorganisation de l'entreprise, à la prise en compte des études antérieures (il n'existe pas de moyen simple et rapide pour faire «digérer» à la machine les milliers de plans et de symboles traités par le bureau d'étude avant l'introduction de la C.A.O.), etc.

Il est possible cependant de dégager deux types de gains: des gains directs et des gains indirects.

Les gains directs sont obtenus dans les services utilisant la C.A.O., et ils s'évaluent essentiellement en gains de temps (faciles à dégager si des modifications fréquentes interviennent, si l'utilisation de symboles est courante...). Ces gains directs peuvent être très importants (le bureau d'étude va *n* fois plus vite; on a observé, par exemple, des réductions de délais de 30 à 7 mois dans la conception de formes en automobile; des gains en temps de 1 à 10, voire 15, sont courants dans des phases de développement impliquant de nombreuses modifications) ou négligeables, et parfois même négatifs dans la mesure où ils peuvent faciliter des gains indirects.

Les gains indirects sont des gains induits dans les autres services par l'utilisation de la C.A.O. Il peut s'agir de gains de marchés (la C.A.O. permettant des avant-projets parfaitement documentés dans un délai très bref), d'une meilleure conception d'un produit (la C.A.O. permettant d'analyser plusieurs solutions et de prendre en compte les contraintes liées à la fabrication), d'une fiabilité accrue dans la transmission d'informations, de gains par une fabrication moins coûteuse et de meilleure qualité (la définition numérique assurant la conservation de la précision et facilitant la mise en œuvre de procédés automatiques comme la commande numérique), etc. Des gains importants peuvent également être relevés par la suppression de certaines opérations, par exemple des opérations de traçage ou la suppression de gabarits.

### **X-3/ Les problèmes sociaux**

L'introduction de la C.A.O. dans les entreprises modifie, bien entendu, les conditions de travail, mais également l'organisation même de l'entreprise.

Les modifications des conditions de travail sont dues essentiellement à l'utilisation de terminaux graphiques et alphanumériques. Bien que des personnes motivées puissent travailler jusqu'à huit heures par jour sur un système de C.A.O., on recommande en général des sessions de durée plus courte (deux heures), à cause de la fatigue visuelle (due aux écrans) et nerveuse. Il est indéniable que le travail posté (deux équipes en général), qui a fait son apparition dans les bureaux d'études à cause du prix élevé des systèmes, peut provoquer certains problèmes sociaux. En revanche, peu de phénomènes de rejet psychologique ont marqué l'acquisition de systèmes de C.A.O. L'une des précautions à prendre pour éviter le rejet est d'impliquer ses utilisateurs finaux dans le choix, puis dans l'implantation des systèmes. On observe alors très souvent un enthousiasme important de la part de ces «cobayes», qui se communique vite à la quasi-totalité des personnels des bureaux d'études et des bureaux des méthodes.

L'expérience prouve que l'un des plus gros problèmes auquel doit faire face une entreprise décidant d'implanter la C.A.O. concerne l'organisation. En effet, des modifications profondes vont intervenir, aussi bien dans les manipulations d'informations (par exemple, l'information correcte n'est plus un plan, mais ce qui est conservé dans la machine) que dans les relations entre services. Le service qui, dans l'avenir, sera le plus concerné par ces modifications est sans aucun doute le service méthodes, secteur clé entre la conception et la fabrication, trop souvent isolé et ne disposant, habituellement, que de très peu d'outils.

### **X-4/ Les principaux domaines d'application**

Longtemps, les entreprises qui ont fait appel à des techniques de C.A.O. l'ont fait pour résoudre des problèmes extrêmement difficiles ou impossibles à résoudre sans l'aide d'un calculateur. Elles ont donc, dans un premier temps, utilisé au mieux les capacités de calcul et de gestion d'informations.

La C.A.O. a été un passage obligé pour l'industrie électronique puisque, sans cette technique, la conception des produits électroniques actuels serait impossible (cf. infra). La C.A.O. a été également, dans de très grosses entreprises, appliquée à la modélisation de surfaces complexes (industries automobile et aérospatiale).

La complexité de calculs a imposé l'utilisation de machines extrêmement coûteuses. L'apparition des matériels graphiques interactifs n'a pas réduit ce coût. La C.A.O. a ainsi été un domaine réservé à certaines grosses entreprises, d'autant que le manque d'outils logiciels sur le marché imposait la mise en place d'une équipe de concepteurs et de réalisateurs de systèmes de C.A.O. Par la suite, un certain nombre de systèmes pour la C.A.O. ont été plus largement diffusés, soit sous forme de logiciels (qui peuvent être adaptés à des ordinateurs différents), soit sous forme de systèmes «clé en main» (mise en œuvre conjointe des matériels et des logiciels).

Qu'en est-il alors de l'utilisation de la C.A.O.?

Dans le domaine de l'électronique, la C.A.O. existe depuis longtemps pour des utilisations en conception et en fabrication de composants ou d'équipements avec: simulations logiques et

analogiques, aides au dépannage, aides au placement et à l'implantation. Des projets importants sont en cours de réalisation, essentiellement au niveau de l'intégration des systèmes.

Dans le domaine de la mécanique, pris dans son sens large, un certain nombre d'outils a été mis à la disposition des entreprises. Qu'ils soient «clé en main» ou logiciels généraux, ces outils remplissent des fonctions de dessin. Ces outils ont aussi ajouté la vision dite «réaliste» des objets. Ils ont pourtant tous souvent péché par un manque de fonctionnalités utiles aux bureaux d'études (par exemple, la liaison avec la gestion des nomenclatures).

Les problèmes traités concernent:

- le dessin technique (dessin industriel); il s'agit des aides à la réalisation de plans, à la définition de familles de pièces, à des sorties de plans à différentes échelles (pouvant même aller jusqu'à la suppression de certains tracés à grande échelle), etc.;
- la définition de formes complexes (carrosserie de voiture, fuselage d'avion, coque de navire); comme cela a été dit précédemment, des outils ont vu le jour dans les grandes entreprises de l'aéronautique et de l'automobile, mais également chez certains architectes navals;
- la conception de mécanismes incluant des études cinématiques, comme des disjoncteurs;
- les calculs de résistance de matériaux (élasticité, calcul de structure...), d'aérodynamique;
- la conception d'outillages;
- les liaisons vers la commande numérique (C.N.), particulièrement après la conception de formes;
- l'optimisation de l'utilisation des matériaux (découpe de barres ou de tôles)...

Les professions de la mécanique touchées par la C.F.A.O. couvrent une palette très large allant de la machine à laver aux voitures ou aux avions, en passant par les matériels de chantiers (pelleteuses...), les roulements à billes, etc.

Les architectes (et toutes les professions du bâtiment) ont profité de l'apparition des micro-ordinateurs. En effet, leur prix très raisonnable et des logiciels résolvant au moins partiellement les problèmes des architectes ont permis une implantation de ces outils dans les bureaux d'études pour la conception de villas, d'immeubles ou de locaux à usage industriel à partir d'éléments standards (portes, fenêtres, cloisons...) allant du plan vers la gestion des chantiers, en passant par les sorties plus ou moins complètes des devis descriptifs et quantitatifs.

D'autres applications dans le domaine du bâtiment et de la voirie et des réseaux divers (V.R.D.) existent, par exemple:

- le tracé de route avec visualisation, mais également calculs de déblais et remblais, évaluations du gros œuvre;
- des calculs (calculs de structures, de charpentes...);
- des outils spécifiques pour les électriciens (schémas...), les chauffagistes (calculs, économies d'énergie...).

Certains meubles sont depuis peu conçus par ordinateur. Cela est surtout vrai pour des meubles constitués à partir de modules (kits par exemple). Des systèmes sur micro-ordinateur permettent de choisir une cuisine (à partir de perspectives au trait sur écrans graphiques) et de sortir automatiquement le devis en fonction du style, des éléments et de l'implantation choisis.

Le domaine de l'habillement utilise des aides informatiques pour des opérations ponctuelles

telles que la gradation (opération qui permet d'obtenir plusieurs tailles à partir d'une taille donnée), le placement et la découpe. D'autres domaines tout aussi traditionnels sont étudiés, entre autres la chaussure, les coffrages en bois...

## **X-5/ Crise et cycle de vie des logiciels**

Nombreux sont ceux qui ont peu d'expérience en matière de développement de logiciel, et à plus forte raison, du génie logiciel. Ce n'est pas l'apprentissage de la syntaxe d'un langage particulier, tel que Delphi ou Visual Basic qui peut suffire à la maîtrise de la C.A.O. Le génie logiciel ne se résume pas à la simple écriture du code mais comporte d'autres facettes tout aussi importantes telle que :

- Le logiciel soit fait à temps en termes de délai,
- Le logiciel fonctionne immédiatement,
- Le logiciel soit de bonne qualité (sans bogues),
- Le logiciel soit concurrent en termes de coût.

Le fait d'évoquer les problèmes qui se posent aujourd'hui dans les domaines de la conception assistée par ordinateur renvoie à la résolution de ces problèmes et au langage orienté objet qui peut faciliter la mise en œuvre de ces solutions grâce à la souplesse de l'interface offerte à l'utilisateur.

Nous aborderons plusieurs notions qui peuvent ou non être familières, mais dont l'importance n'est pas à négliger. Ces notions comprennent la crise du logiciel, le cycle de vie du logiciel et le génie logiciel.

### **X-5-1/ La crise du logiciel**

La crise du logiciel dure depuis si longtemps que l'on a fini par penser qu'elle représentait un état normal. On ne programme des ordinateurs que depuis quelques décennies. Tout amateur d'informatique le confirme, l'apparition du système d'exploitation Windows 95 a bouleversé la technologie des systèmes d'exploitation et a fait un bond extraordinaire du point de vue interface et utilisation des outils de conception bureautique ou autres.

Les temps changent, la technologie change, mais pas les gens. Les méthodes de programmation ont très peu évolué depuis les débuts de l'informatique. Cependant, assez récemment, on a pu assister à un bouleversement brutal de la doctrine dominante en matière de programmation.

Autrefois (avant 1990), lorsqu'un programmeur avait une tâche à effectuer, il se plantait devant son clavier et commençait à coder. En ce temps-là, s'il y avait quelque chose à faire, il suffisait de passer une ou deux nuits blanches devant le clavier et le résultat était là. C'était l'époque des programmes de 1000 lignes. C'était l'époque où un simple individu pouvait pianoter un peu plus intelligemment que les autres et devenir millionnaire.

Bref, c'était l'âge d'or de la programmation. Mais toutes les bonnes choses ont une fin.

Les ordinateurs sont devenus plus sophistiqués, et les utilisateurs plus exigeants. La taille des tâches confiées n'a cessé d'augmenter, comme a augmenté par conséquent le temps de codage. Puis, on s'est aperçu de quelque chose d'étrange. Passée une certaine taille de programme, le temps de codage s'avérait beaucoup plus long que prévu (en se basant sur des programmes plus courts). Si un programme était deux fois plus long qu'un autre, on supposait qu'il fallait un temps de codage double (on croyait que la fonction était linéaire). En fait, cela prenait beaucoup, beaucoup plus de temps (comme illustré Figure 4.1). Signe de la profonde injustice de l'univers ou application de la loi de Murphy, on a dû se rendre à l'évidence : lorsqu'un programme atteint une certaine taille, le cerveau humain ne peut embrasser toute la

complexité de l'application. La complexité était donc en cause et l'on n'y pouvait rien (rien directement, tout du moins). Cette triste constatation s'imposa vite.

La complexité est un phénomène inévitable, mais il est possible de réduire celle-ci de manière conséquente en recourant à la simplicité dans la conception des programmes. L'existence du bogue rappelle que la complexité n'a pas été battue. On trouve même des bogues dans les programmes les plus simples. Il faut un effort non négligeable pour débarrasser le plus petit des programmes de tous ses bogues. Imaginons un peu ce que ça doit être dans un programme complexe. En fait, la solution consiste à écrire des petits programmes "sans bogues" et de les regrouper pour former un gros programme "sans bogues". Cette approche modulaire permet de maîtriser la complexité. Un logiciel "sans bogues" est une chose impossible.

## **X-5-2/ Cycle de vie du logiciel**

Le cycle de vie du logiciel correspond à une série d'étapes à suivre, et à suivre dans l'ordre. Cette approche disciplinée permet au développeur de créer un meilleur produit, mais aussi de passer moins de temps à assurer l'entretien de son produit. Ce n'est pas une panacée, mais un outil puissant.

- **Analyse**

L'analyse et la définition d'un problème permet de prendre la décision si après tout une solution logicielle est bien adaptée. De nombreuses choses peuvent être résolues bien plus facilement avec une feuille de papier et un crayon qu'avec un logiciel. Il faut s'assurer qu'une solution informatique résout le problème au lieu d'y ajouter.

Lors de cette phase d'analyse, il faut déterminer le type de ressources nécessaires pour mener le projet à terme. Pour des projets plus importants, on aura peut-être besoin de l'assistance d'autres développeurs, de rédacteurs techniques, etc. Il n'est pas encore question de choisir un langage.

En effet, on ne peut choisir un langage qu'une fois le problème bien cerné et la solution conçue.

Après quoi, on peut alors sélectionner le langage le mieux adapté à la solution envisagée.

Sur de gros projets, le résultat de cette phase d'analyse débouche généralement sur la création de spécifications système. Ces spécifications permettent de définir le système dans son ensemble, en établissant quelles seront les fonctions système qui devront être effectuées.

Lors de cette phase, on ajoute souvent quelques détails spécifiques demandés par l'utilisateur. Ces détails sont pris en compte afin de lui éviter de se fourvoyer dans une impasse de développement, et sont rarement liés à l'implémentation en elle-même. Ils concernent plutôt des remarques générales d'ergonomie dont on déduit l'approche correcte à utiliser pour l'intégralité de l'analyse.

- **Cahier des charges**

Dans cette phase, il faut prendre les fonctions définies dans la phase d'analyse et déterminer un cahier des charges détaillé pour chacune d'entre elles. Les spécifications système servent de base pour cette phase, et des spécifications logicielles précises en sont le résultat. Quelles fonctions le logiciel doit-il accomplir ? Ici, la conception ne conçoit qu'une partie de la solution complète.

A ce stade commence la problématique des déclarations des sous-routines ou des procédures, et des fonctions. Si le choix du langage est fait, en utilisant la syntaxe appropriée, il est recommandé de créer une documentation mieux intégrée à la solution et plus facile à modifier.

- **Conception**

C'est dans cette phase que tous les détails de la conception sont affinés. Comme les idées sont claires, suite à la phase du cahier des charges, l'étape suivante s'impose d'elle-même. Elle consiste à développer un design détaillé de la solution logicielle, comprenant une définition des relations entre les diverses unités et un flux procédural détaillé.

A mesure que la conception progresse, il faut préciser la définition et la description pour expliquer la façon dont fonctionnera le tout.

Il est important de communiquer avec les destinataires du logiciel, pour se mettre d'accord sur le projet. Il est important de comprendre que le client ne connaîtra pas tous les détails de prime abord (un client sait rarement ce qu'il désire, il sait simplement qu'il désire). C'est un processus itératif.

C'est pour cela qu'il est recommandé de mettre au point plusieurs exemples (écran, disposition des boutons, aspects et couleurs des fenêtres, etc).

- **Codage**

Cette phase de développement commence ici et ne se termine jamais... On continuera à coder pendant tout le cycle de vie du logiciel.

Si le logiciel a été bien conçu et les interfaces des différents modules correctement défini, le code devrait s'écrire tout seul ou presque.

Cette phase aboutit à deux résultats. Tout d'abord, le code lui-même bien sûr, mais également, presque aussi important, des spécifications complètes du logiciel décrivant le produit tel qu'il a été réalisé. Ceci servira d'outil de test et servira de base pour le manuel de l'utilisateur.

- **Test**

Le but de cette phase est de tester le produit tel qu'il a été créé, et de vérifier sa conformité au cahier des charges. C'est lors de cette phase qu'une appréciation peut être portée pour savoir si les désirs du client et les critères de la bonne conception ont été satisfaits. Chaque fonction de l'application doit renvoyer à une spécification du cahier des charges. Si une fonction ne correspond à aucune spécification, cette fonction n'a pas de raison d'être.

On effectue généralement les tests en deux temps. Tout d'abord on procède au *test d'unités*.

Cette phase consiste à prendre séparément chaque unité, à écrire des pilotes pour chacune et à tester leur fonctionnalité et leur fiabilité. Ensuite vient le *test d'intégration*. Dans cette phase, on réunit les unités déjà testées et on vérifie qu'elles se comportent ensemble conformément à nos attentes.

Le test des logiciels est un art en soi. Ecrire une application d'une manière simple et les tests seront tout aussi simples. Dans le cas de programmes plus importants, les tests peuvent devenir très lourds à mener à bien s'ils sont menés sans discernement. Il existe de nombreux livres consacrés exclusivement aux tests de logiciel.

- **Maintenance et opération**

La conception du logiciel étant terminée et le produit livré, une nouvelle préoccupation s'impose : la maintenance. Les statistiques prouvent que 30 % des efforts et de l'argent sont dépensés dans cette nouvelle phase. Il faut maintenant suivre le parcours du logiciel chez les clients, qui trouveront des fonctions non documentées (un euphémisme pour bogues) auxquelles il faut remédier. Puis, doucement, l'application prendra le chemin de l'obsolescence.

Il est important de garder à l'esprit, que plus le cycle de vie d'un produit raccourci, plus les coûts de maintenance baissent. Il faudra par contre s'adapter à cette nouvelle vitesse d'évolution, qui impose l'ajout constant de nouvelles fonctionnalités aux logiciels, ainsi que la rédaction et la maintenance des documentations liées au produit.

Assurer la maintenance d'une application, une fois que son auteur n'est plus là, reste l'une des principales préoccupations des concepteurs de logiciels. Toute la documentation, manuel de l'utilisateur, documents de conception, cahier des charges et rapports de tests aideront le nouveau venu dans sa tâche.

Maintenant que nous avons évoqué certaines des étapes nécessaires à une approche méthodique, nous devons parler du niveau supérieur. Ce qui était nécessaire autrefois (et qui le reste aujourd'hui selon certains) était une discipline de programmation, c'est-à-dire un ensemble de règles servant de guide au programmeur, et aidant à suivre le processus de conception et à l'affiner sans cesse avec de nouvelles règles permettant d'obtenir un environnement plus stable.

## **X-2. Le génie logiciel**

Un ingénieur logiciel est très différent d'un programmeur. Un ingénieur logiciel discute avec le futur utilisateur et écrit noir sur blanc les besoins de l'utilisateur. Il écrit ensuite noir sur blanc ce qui doit être fait pour construire le logiciel.

Après tout cela seulement l'ingénieur logiciel commence à écrire son code. Ce n'est peut-être pas toujours passionnant et nécessite souvent beaucoup de travail, mais cela permet souvent d'écrire un code très solide.

Il est bien sûr possible de commencer hâtivement le code pour des applications assez simples, mais pour les gros systèmes, il est impératif d'adopter une certaine organisation pour avoir au bout du compte, un logiciel qui fonctionne en toute sécurité et avec un coût minimal en termes de la main-d'œuvre. Le génie logiciel est la version disciplinée de la programmation.

### **X-2-1/ Objectifs du génie logiciel**

Accepter de réaliser un travail, c'est s'engager à honorer un contrat suite à une soumission. La concrétisation de cette tâche ne peut faire l'économie d'une démarche, pour atteindre le but initialement fixé. Le premier objectif est que le produit fini corresponde au cahier des charges. C'est un objectif principal trop général qui doit être subdivisé en plusieurs sous-objectifs plus limités, mais aussi plus faciles à réaliser et à garder à l'esprit.

Comme nous l'avons dit auparavant, toute application passera la majeure partie de son cycle de vie dans la phase de maintenance. Il est donc important que notre ensemble d'objectifs prenne en compte les changements. Les quatre objectifs du génie logiciel sont donc la capacité de modification, l'efficacité, la fiabilité et la compréhensibilité.

### **X-2-2/ Capacité de modification**

Dans le cycle de vie de votre logiciel, celui-ci devra être modifié à de nombreuses reprises. Cela peut être à la suite de la découverte d'un bogue, ou pour ajouter une fonction demandée après coup par les utilisateurs. Dans tous les cas de figure, il est important que le travail, qui résulte d'un processus de conception rigoureux, ne soit pas détruit s'il y a apport d'une modification. C'est ce qu'on appelle dans le bâtiment apporter des modifications à l'édifice sans endommager les fondations.

Il faut donc contrôler les modifications, en changeant certaines parties de l'application sans altérer les autres. Ce n'est pas chose facile. De nombreux langages ne permettent pas de le faire correctement et réagissent très mal à la moindre modification.

Le Pascal Objet ou le visual basic sont des lang ages très lisibles. Ils fournissent également un environnement permettant de procéder facilement à des modifications. Les typages de chaînes minimisent les risques d'erreurs. Tous ces facteurs font que cet environnement est parfaitement adapté à la capacité de modification. Lorsque qu'il y a une modification il faut essayer toujours de penser à la répercution dans la documentation destinée à l'utilisateur. Certains développeurs poussent le zèle jusqu'à ajouter la nouvelle spécification correspondante au cahier des charges. Cette manière de faire les choses permet de suivre cette spécification dans le document de conception, avant d'effectuer la modification dans le code lui-même. Aussi fastidieuse soit-elle, Cette façon de faire, augmentera la stabilité de l'application modifiée.

### **X-2-3/ Efficacité**

Ce principe est simple : l'application doit utiliser de façon optimale les ressources disponibles.

A l'époque des ordinateurs disposant de 64 ko, la mémoire disponible était très limitée mais comme les systèmes d'exploitation n'étaient pas multitâches, ce peu de mémoire appartenait entièrement au développeur.

Aujourd'hui, la plupart des applications doivent s'exécuter simultanément. C'est pourquoi il est important que l'application fasse attention aux ressources et interagisse correctement avec d'autres applications. Les termes *ressources* s'applique à la fois à des ressources temporelles et spatiales. Une application peut avoir à exécuter certaines choses en un temps requis, si elle collecte des données évoluant rapidement. De plus, on est aussi limité par le temps puisque l'application doit savoir partager ce temps avec d'autres.

Deuxième ressource précieuse : l'espace. Les logiciels deviennent de plus en plus gros. La plupart d'entre eux sont maintenant fournis sur CD-ROM car il serait trop coûteux d'expédier des lots de dizaines de disquettes.

### **X-2-4/ Fiabilité**

C'est probablement l'objectif le plus important, tout particulièrement si une application se charge de tâches importantes au sein d'une entreprise. Les applications qui s'exécutent pendant de longues périodes de temps sans intervention humaine doivent être stables et même pouvoir récupérer automatiquement en cas de problème.

Le coût des erreurs est tel qu'il nécessite un logiciel aussi fiable que possible. La fiabilité de l'ensemble doit être assurée dès le début de la conception. Il existe de nombreux moyens pour s'assurer du non déclenchement des messages de type dépassement numérique ou enregistrement invalide. Par ailleurs, en activant la vérification d'intervalle, on peut éviter d'autres problèmes. En effet la vérification d'intervalle permet de s'assurer que les valeurs qui sont envoyées aux variables sont vraiment expédiées. Ceci permet lors de la phase de test de dénicher les bogues.

### **X-2-5/ Compréhensibilité**

Cet objectif vient du monde de la programmation orientée objet. Pour qu'une application soit compréhensible, et donc modifiable, elle doit être simplifiée. Or, il n'est pas toujours évident de simplifier tous les mécanismes d'un système complexe.

Une façon de remplir cet objectif consiste à reproduire autant que possible la réalité dans les modèles de conception et d'implémentation de l'application. Si les objets d'une application renvoient à des objets de la vie réelle, il est plus aisé de comprendre les relations entre les objets virtuels. C'est la raison pour laquelle la programmation orientée objet est préférable aux anciennes techniques. La lisibilité est une autre façon de rendre le code compréhensible.

L'usage de bonnes méthodes de programmation et de commentaires ajoute à la compréhensibilité. Les objets du code doivent être facilement repérables.

## **X-2-6. Principes du génie logiciel**

Les objectifs dont nous venons de parler étant énoncés, vient ensuite la question du comment remplir ces objectifs. Nous faisons appel aux sept principes du génie logiciel :

1. Modularité,
2. Localisation,
3. Abstraction,
4. Dissimulation de l'information,
5. Confirmabilité,
6. Uniformité,
7. Complétude.

Delphi ou Visual Basic prennent en charge certains principes dans la structuration de leurs classes, tandis que d'autres doivent être suivis consciemment par le développeur.

### **• Modularité et localisation**

La modularité et la localisation découlent directement de la structure de classe. Les classes sont par essence modulaires, et la localisation suppose que les modules soient organisés logiquement, chaque module devant regrouper des fonctions proches. Si nous construisons notre code en écrivant des petits modules autonomes, ceux-ci pourront facilement être utilisés dans d'autres projets. C'est le principe du Référentiel d'objets. Le Référentiel d'objets contient des objets qui peuvent être utilisés et réutilisés à l'envi.

En faisant Fichier/Nouveau, nous avons accès au travail effectué pour nous, par de nombreux autres programmeurs. La clé du succès ici réside dans la modularité et l'indépendance du code.

### **• Abstraction et dissimulation de l'information**

L'abstraction et la dissimulation de l'information sont très bien prises en charge par les classes Delphi et Visual Basic. Les mots clé « private » et « protected » permettent deux niveaux de dissimulation des informations concernant des objets en dehors d'une classe donnée. L'abstraction est mise en place par le biais de la dissimulation de l'information et par la nature interface/implémentation des fichiers de classe. Ne reste publique que la nature abstraite de la classe. Les détails de l'implémentation restent cachés.

Un exemple de ce principe est illustré par la façon dont travaillent les fichiers de texte. Lorsqu'un fichier est ouvert, il faut spécifier le fichier à ouvrir et le mode (le mode indique si le fichier est ouvert pour le lire ou pour y écrire). L'adresse du fichier n'est pas nécessaire pour savoir dans quel secteur du disque dur réside ce dernier. Les détails d'implémentation du système de fichier sont cachés. Ceci permet de lire indifféremment des données provenant d'un disque dur, d'une disquette ou d'un CD-ROM, même si la structure physique de chacun de ces supports est différente des autres.

### **• Confirmabilité**

La Confirmabilité est obtenue en combinant des vérifications de type poussées et la construction de modules testables. La vérification des types permet au compilateur de confirmer qu'une variable est utilisée correctement. Les modules qui peuvent être testés permettent au programmeur de tester logiquement chaque module individuel. Il est bien plus facile de construire des petits programmes sans erreur comme il a été dit plus haut.

Tous les modules de codes doivent être présentés au Référentiel de code, accompagnés de programmes pilotes testant le module. La Confirmabilité implique une subdivision de l'application en plusieurs modules testables.

- **Uniformité et complétude**

L'uniformité et la complétude sont du ressort du programmeur. Un code est facile à lire et à entretenir s'il est écrit et commenté d'une manière uniforme. Les modules qui sont complets dès leur première rédaction n'ont pas besoin d'être réécrits ou complétés lorsqu'un nouveau besoin se fait sentir. La complétude, tout comme un code sans erreur, est très dure à obtenir. Mais si nous tendons vers cet objectif, nous pouvons rendre plus adaptable notre code et minimiser la nécessité d'y apporter des modifications par la suite. Les modifications sont le meilleur moyen d'ajouter des bogues dans une application. Tous ces principes du Génie logiciel ont pour but de combattre la complexité. Lors de la construction de ces classes, gardez ces principes à l'esprit, rendra le produit final plus apte à accepter des modifications sans bogue.

Les bibliothèques des classes dans la plupart des langages orientés objet sont un bon exemple de génie logiciel.

- **Accouplement et cohésion**

Un des avantages de la méthode de programmation modulaire est de pouvoir extraire un module de code d'une application pour le placer dans une autre. Il suffit de lui donner un nom de fichier et le module lit ce fichier, le chiffre à l'aide d'une clé, et réécrit le fichier sur le disque. En écrivant cette unité de code sous forme d'entité indépendante, nous pourrions l'utiliser dans de nombreuses applications en nous contentant d'appeler les fonctions de l'unité et de traiter les résultats.

Le terme de cohésion signifie que les fonctions internes des modules de code doivent être très intégrées.

La deuxième notion est celle d'accouplement. Les modules doivent être très peu accouplés à leurs voisins (en d'autres termes, ils doivent être très peu dépendants les uns des autres, voire pas du tout). Si votre unité dépend trop d'autres unités, elle ne pourra pas être portée vers une autre application sans devoir emporter de nombreux bagages avec elle. Le code doit donc être très cohérent et très peu dépendant. Ce n'est pas impossible, mais cela demande de la clairvoyance durant le processus de travail.

## **Conclusion**

Les systèmes de C.A.O. ont considérablement évolué en l'espace de quelques années. Des images en couleurs de grande qualité peuvent être produites à l'aide d'un tel système. Des progrès importants (diminution de coûts, puissance, vitesse) apparaissent naturellement à travers l'évolution générale des matériels informatiques.

Des améliorations interviennent au niveau de l'interactivité, les interfaces homme-machine approchant de plus en plus les méthodes de communication naturelle de l'homme (commande vocale par exemple). Les systèmes sont également de moins en moins figés et s'adaptent aux problèmes particuliers liés à chaque entreprise.

Les systèmes de C.A.O. devraient bénéficier de techniques de l'intelligence artificielle, pour ne plus se contenter de réaliser des tâches répétitives, mais aider le concepteur dans les phases décisionnelles par une acquisition du savoir-faire.

Enfin, l'évolution la plus importante est l'intégration des systèmes de C.A.O. dans le processus de conception-fabrication. Les modèles prendront en compte l'ensemble des contraintes liées aux objets (géométriques, technologiques, mais également connaissance des

moyens de fabrication pour minimiser les coûts...).

L'environnement industriel commence ainsi à s'appuyer sur les systèmes de C.F.A.O., et l'information correcte est celle qui est contenue dans ces systèmes (et non plus des plans). Véritable cœur du savoir-faire de l'entreprise, le système de C.A.O. devient un atout indispensable pour la compétitivité de l'entreprise et trouve un prolongement naturel vers les robots, les gammes automatiques, la commande numérique et la fabrication dans son ensemble.

# CHAPITRE XI

## La Conception orientée objet

Dans ce chapitre nous exposons les grands principes de la programmation orientée objet. A partir des années 1994 /95, la plupart des développeurs se sont adaptés à la nouvelle méthode dite « conception orientée objet ». Actuellement, toutes les nouvelles applications mise sur le marché sont faites sur ce nouveau standard.

### XI-1 Les grands principes de la conception orientée objet (C.O.O.)

Si nous regardons le monde réel, nous verrons que notre langage est formé de deux composants principaux : les noms (objets) et les verbes (opérations). Pour que nos applications collent au plus près à la réalité, notre langage informatique doit adopter cette configuration. La plupart des langages comportent de nombreuses opérations, mais disposent de très peu de « noms » pour décrire les objets. Et même si certains langages sont capables de traiter des objets, ces objets sont plats, c'est-à-dire incapables d'hériter des attributs de leurs ancêtres. Cela ne constitue pas une bonne modélisation du monde réel. Dans le monde réel les choses sont en relief, et nous avons donc besoin d'un langage qui reflète cet aspect des choses.

Selon Grady Booch (le maître de l'Orienté objet), un objet est : « une entité qui a un état, c'est-à-dire une valeur... le comportement d'un objet est défini par les actions qui l'affectent et vice versa... chaque objet est en fait une instance d'une classe d'objets » [Booch 91]. L'objectif de la conception objet est que chaque module du système représente un objet ou une classe d'objets du monde réel. Grady Booch ajoute : "Un programme qui modélise la réalité peut donc être considéré comme un ensemble d'objets qui interagissent les uns avec les autres" [Booch 91].

Nous pouvons concevoir un système qui reprend cette approche orientée objet en suivant les étapes suivantes:

1. Identification des objets et leurs attributs.
2. Identification des opérations qui affectent chaque objet, et les opérations que chaque objet doit initier,
3. Etablissement de la visibilité de chaque objet par rapport aux autres,
4. Etablissement de l'interface de chaque objet,
5. Implémentation de chaque objet.

#### XI-1-1/ Objets

Lorsque nous identifions les objets, nous devons penser en termes de noms. Dans un système de contrôle de chauffage, nous avons une source de chaleur, un détecteur de température, un thermostat et d'autres éléments. Ces noms deviennent les éléments principaux du système.

Les objets peuvent être très grands mais constitués d'objets plus petits. Ainsi, une maison est un grand objet qui comprend des objets plus petits, comme les chambres, le couloir, la cuisine, le salon et les toilettes.

#### XI-1-2/ Opérations

Nous devons identifier les opérations qu'effectue ou que subit chacun des objets définis lors de la phase précédente. Ainsi, une chambre peut être ensoleillée, un couloir peut être mal éclairé et les toilettes peuvent effectuer une évacuation des eaux vannes. Nous devons

également définir quelles seront les opérations qui affecteront un objet en premier. Des toilettes bien conçues permettront l'écoulement des eaux vannées de la maison vers l'extérieur.

### **XI-1-3/ Visibilité**

Ici, nous définissons la topologie. Nous avons besoin de tracer une carte indiquant quels objets sont vus par quels autres. Dans notre exemple de maison, les toilettes doivent pouvoir être vues par le couloir, mais les toilettes n'ont pas besoin de voir le couloir.

### **XI-1-4/ Interfaces :**

Ici, nous définissons la façon dont les objets s'interfaceront avec les autres. Cette étape est très importante pour concevoir un système réellement modulaire. Il faut définir avec précision la manière dont les autres objets communiqueront avec notre objet. Nous pouvons utiliser des déclarations d'appel de fonction ou de sous-routines pour définir l'interface de notre objet. Ceci n'est possible que si le langage utilisé est facilement lisible.

### **XI-1-5/ Implémentation des objets :**

Dans cette étape, nous implémentons chaque objet dans notre solution. Il faut donc écrire le code des interfaces de chaque objet. Si l'objet est complexe (s'il est composé d'objets plus petits), nous devons décomposer l'objet en ces divers constituants. Pour chacun de ces objets constituants, nous devons reprendre les étapes précédentes pour déterminer leurs opérations, leur visibilité et leurs interfaces. Une fois que nous avons créé des squelettes fonctionnels pourvus d'interfaces bien définies, le codage du corps lui-même est une formalité.

En suivant ces étapes, il est facile de pouvoir concevoir un système bien pensé et ayant une cohésion assurée.

## **XI-2 Programmation orientée objet (POO)**

La programmation orientée objet existe depuis des années et s'est manifestée dans des langages tels que Ada, SmallTalk, C++, Borland Pascal et dans Delphi. Le terme « d'objet » a même acquis une connotation magique. La réalité est plus terre à terre. On peut trouver des codes orientés objet plus exécrables que le pire des codes écrits en True basic ou Pascal standard. Il existe aussi des codes orientés objet de toute beauté.

La programmation orientée objet n'est qu'un outil. Plusieurs composants du Basic objet et du Pascal Objet les rendent orienté objet. Examinons ensemble la définition de base des classes et quelques autres petits plus qui donnent au Basic objet ou au Pascal Objet son nom.

### **XI-2-1/ Classes**

VisualBasic et Delphi comportent un mot réservé, *class*, qui permet de définir un objet. Lorsqu'on crée un nouveau projet, nous pouvons trouver dans les déclarations de `unit1` dans Delphi et `sub` dans VisualBasic, une déclaration de classe pour la fiche elle-même :

- `type`
- `TForm1 = class(TForm)`
- `public`
- { Déclarations publiques }
- `protected`
- { Déclarations protégées }

- private
- { Déclarations privées }
- end;

C'est ainsi que qu'on définit un objet. Dans la section d'interface, on utilise un nom de type (TForm1) puis la classe de base dont il dérive . Tous les objets doivent dériver de TObject ou de l'un de ses objets enfant.

La partie publique est réservée aux déclarations accessibles au monde extérieure. Dans la partie privée, on peut déclarer des variables, des procédures et des fonctions qui ne seront utilisées que dans notre classe. La partie protégée donne tous les avantages des deux parties précédentes. Les composants qui sont déclarés protégés ne sont accessibles qu'aux descendants du type déclarant.

Comme dans le cas des composants privés, on peut cacher les détails d'implémentation à l'utilisateur. Cependant, à la différence de s composants privés, les composants protégés restent disponibles aux programmeurs qui souhaitent dériver de nouveaux objets à partir des objets existants sans être pour autant obligés de déclarer les objets dérivés dans cette même unité.

Pour créer notre propre objet de données, il suffit de stocker le code de notre carte bancaire dans l'objet. La déclaration sera :

- Secret = class(TObject)
- private
- FCode : Integer;
- end;

Nous pouvons remarquer que nous n'avons pas seulement déclaré une classe appelée Secret, mais une variable de données privées contenant la valeur du code lui-même. Cette variable est appelé FCode.

## XI-2-2/ Propriétés

Le mot réservé property permet de déclarer des propriétés. Une définition de propriété dans une classe déclare un attribut, pourvu d'un nom, pour les objets de la classe et les actions associées à la lecture et à l'écriture de l'attribut (Fcode). Dans le cas où on veut dissimuler le codage pour ne pas permettre à un programmeur de modifier directement cette valeur, il faut pour cela effectuer une entrée et valider cette entrée pour s'assurer que la modification est correcte. On retrouve là le principe de dissimulation de l'information.

Utilisez une propriété appelée Code qui servira d'intermédiaire lors des accès à notre valeur. Lorsque nous appelons la propriété Code, on obtient la valeur de FCode. La différence ici est que la variable FCode est protégée de toute modification extérieure. Il n'est possible de modifier sa valeur que par l'intermédiaire de la procédure SetCode.

- Secret = class(TObject)
- private
- FCode : Integer;
- protected
- procedure SetCode (Nouveau\_code : Integer);
- property Code : Integer read FCode write SetCode;
- end;

Les sélecteurs sont un élément nécessaire du modèle d'objet. Nous pouvons maintenant demander la valeur du code sans le modifier Si nous ne pouvons pas voir les données d'un objet, il est sans utilité.

### **XI-2-3/ Héritage**

L'héritage est une des fonctions les plus puissantes d'un langage orienté objet. Il permet à des classes de descendants de bénéficier des propriétés de leurs ancêtres. Ils héritent des champs, des propriétés, des méthodes et des événements de leur classe ancêtre. En plus de disposer des attributs de ses ancêtres, la classe enfant peut leur ajouter ses propres éléments.

Ceci permet de prendre une classe comportant la plupart des éléments fondamentaux dont on a besoin, et d'ajouter de nouveaux objets qui adaptent cette classe à nos besoins.

Si nous compilons un projet, même nouveau, on peut ensuite aller dans Voir/Scrateur pour visualiser la totalité de la base d'objets. Le volet Inspecteur permet de choisir une classe particulière du projet. On peut voir grâce aux arborescences les classes ancêtres des objets sélectionnés. On peut voir tous les ancêtres et descendants d'une classe sélectionnée dans le volet Inspecteur.

### **XI-3/ L'interface graphique utilisateur**

Après tout, est-ce qu'une *interface graphique utilisateur* (GUI en anglais) est vraiment indispensable ? La réponse est non. Les utilisateurs ont utilisé des lignes de commandes pendant des décennies et ont survécu, et rien ne nous empêcherait d'en utiliser pendant des décennies encore. Sauf peut-être qu'on se rendrait terriblement malheureux. Quand des utilisateurs DOS passent à Windows 3.1 puis à Windows 95 leurs yeux s'illuminent à mesure qu'ils comprennent ce que ces interfaces graphiques peuvent signifier en termes de gain de productivité.

Une interface utilisateur graphique (IGU ou GUI) est un type de format d'affichage qui permet à un utilisateur de choisir des commandes, de lancer des programmes et d'afficher des listes de fichiers et d'options en pointant sur des représentations pictographiques (des icônes) et sur des listes d'éléments de menu présents à l'écran. On effectue généralement des choix au moyen d'un clavier ou d'une souris. Windows 95 est un exemple de GUI.

Les GUI existent parce que nous en avons besoin. Quand on doit chaque jour accéder à pas moins de 12 applications, on passerait son temps à lancer et à refermer des applications si on ne disposait que d'une ligne de commande et il resterait peu de temps pour vraiment travailler. Tout est question de productivité. La productivité s'améliore si l'on peut accéder simultanément à plusieurs applications. Basculer entre c++, Mail, Delphi, Visual Basic, WinCim, l'Explorateur, etc. est un jeu d'enfant dans l'environnement Windows. Inutile de refermer une application pour accéder à une autre, ce qui fait gagner beaucoup de temps.

#### **XI-3-1/Prototypage et développement rapide**

Ce terme décrit la méthode consistant à créer des modèles fonctionnels de l'interface de votre application dans les premiers temps du processus de conception.

On peut alors présenter cette interface aux clients et recueillir leurs impressions sur le comportement, le placement des objets, la façon dont les fonctions sont incluses, etc., tout en leur donnant le sentiment qu'on se préoccupe de leurs désirs. Plusieurs produits existent qui se chargent de faciliter le prototypage rapide. Ces logiciels construisent des applications en "trompe l'œil" qui ne traitent aucune donnée mais donnent une bonne idée de l'interface. Les choses ont évolué cependant, et ces logiciels sont devenus obsolètes.

Avec l'arrivée d'une nouvelle génération d'outils RAD comme Delphi et Visual Basic, ces

outils de prototypage rapide ne sont plus nécessaires. On peut maintenant utiliser les outils RAD eux-mêmes pour créer ces squelettes d'application destinés à la démonstration.

Le terme de RAD (développement rapide d'applications) est assez parlant. A l'aide d'un ensemble d'outils sophistiqués (Visual Basic ou Delphi, par exemple), le programmeur développe rapidement des applications finalisées. En effet, les outils permettent au programmeur de mettre en œuvre les fonctionnalités les plus complexes sans fournir un travail démesuré. Ainsi, on peut utiliser les boîtes de dialogue Ouvrir et Enregistrer, qui sont des boîtes de dialogues communes de Windows 95, au lieu de devoir les concevoir en partant de zéro. On peut aussi utiliser le contrôle contenu OLE pour incorporer une feuille de calcul Excel dans l'application, sans devoir écrire un tableau. Visual Basic et Delphi sont l'exemple même d'un environnement de développement RAD, puisqu'ils mettent à notre disposition des outils permettant de créer de très bonnes applications en peu de temps et moyennant peu de codage.

Le problème de la répétition des efforts est donc résolu. Quand nous créons une interface de démonstration et que le client s'en estimait satisfait, nous deviez recoder l'interface en utilisant les outils permettant de générer une véritable application. Il fallait faire deux fois la même chose.

On peut commencer par développer l'interface, la montrer au client, puis terminer l'application, et tout cela dans le même environnement.

Pour que la conception de notre GUI se déroule bien, on doit prendre un autre facteur en considération: l'équipe de développement de GUI. A mesure que les produits qu'on développe gagnent en taille et en complexité, on aura peut-être besoin d'aide. Lorsque nous mettons sur pied une équipe de développement GUI, il ne faut pas faire appel uniquement à des programmeurs car ils estiment évidentes nombre de choses qui dépassent l'utilisateur moyen. L'équipe de développement GUI doit être constituée de personnes venant d'horizons divers, parmi lesquelles des rédacteurs, ergonomistes, mais aussi des utilisateurs de divers niveaux de compétence. La constitution d'une bonne équipe est primordiale au développement d'une interface utilisateur réellement efficace.

Une fois que le produit a été codé, les tests d'utilisabilité montreront ce que vaut notre conception. Le meilleur testeur de notre logiciel est monsieur quelconque qui ne connaît rien à l'informatique.

### **XI-3-2/Priorité à l'utilisateur**

Lorsqu'on construit une application, il est important que nous gardions à l'esprit les principes qui ont guidé l'écriture de Windows 95. Pour satisfaire les besoins de l'utilisateur, Microsoft s'appuie sur sept principes :

- L'utilisateur a le contrôle
- Etre direct
- La cohérence
- Etre magnanime
- Du répondant
- De l'esthétique
- De la simplicité

### **XI-3-3/ L'utilisateur a le contrôle**

L'utilisateur doit toujours sentir qu'il a le contrôle de ce qui se déroule à l'écran car il n'aime pas se sentir manipulé par une machine. Il doit avoir l'impression que c'est lui qui prend l'initiative d'une action au lieu de réagir aux désirs de l'ordinateur. Si notre application est

grandement automatisée, nous devons nous assurer que l'utilisateur garde le contrôle sur tous les événements automatisés.

Chaque utilisateur est un individu à part. Il a des goûts et des besoins qui lui sont propres. Il est important de prévoir un moyen de personnaliser une application. Voyez par exemple comme il est aisé de personnaliser l'interface de Windows 95. La possibilité de modifier les polices, les couleurs, les icônes et tant d'autres éléments permet de donner un aspect personnel au système.

La plupart de ces attributs Windows sont accessibles. Donnons la possibilité à notre programme de suivre les choix de couleurs et de polices déjà en place dans le système sinon, notre application semblera rigide et austère.

Regardons la façon dont une bonne application interagit avec l'utilisateur ? Une bonne application indique ce qui se passe dans tel "état" ou tel "mode" dans lequel on se trouve. Si on est en mode écrasement dans Microsoft Word, les lettres RFP apparaissent dans la barre d'état. L'application doit être aussi interactive que possible. Elle doit savoir répondre aux sollicitations de l'utilisateur et ne pas laisser se demander ce qui se passe.

### **XI-3-4/ Etre direct**

Il faut permettre aux utilisateurs de manipuler directement les objets dans leur environnement. La phrase "une image vaut mille mots" prend chaque jour plus de sens. Il est bien plus facile de se souvenir à quoi ressemble quelque chose que de mémoriser la syntaxe d'une commande. Essayer de concevoir un logiciel pour qu'il soit visuellement intuitif est une bonne chose pour la mémorisation et ce la permet aux utilisateurs de voir comment ce qu'ils font affecte les objets à l'écran.

Un des modes d'interaction les plus directs entre l'homme et l'ordinateur se fait par l'intermédiaire de métaphores. L'usage de métaphores a une bonne part dans le succès du Macintosh. La notion de dossier est bien plus parlante que celle de répertoire ou de fichier. Une "armoire" est remplie de "dossiers", qui contiennent à leur tour des "documents". Tout ceci est immédiatement compréhensible et la maîtrise de l'ordinateur en est simplifiée. Avec les métaphores, l'utilisateur reconnaît au lieu de devoir apprendre. Les utilisateurs se souviennent généralement plus facilement d'un objet que d'une commande.

### **XI-3-5/ La cohérence**

C'est un des aspects les plus importants de la conception d'un programme Windows. C'est principalement par un souci de cohérence que le logo Windows 95 a été développé. Si toutes les applications sont cohérentes dans leur manière de présenter des données et dans leur façon d'interagir avec l'utilisateur, ce dernier passe son temps à accomplir les tâches, et pas à apprendre à communiquer avec votre application. Cette cohérence doit s'exprimer sur plusieurs points :

- S'assurer que l'application fonctionne comme le système d'exploitation Windows. Si c'est le cas, l'utilisateur peut facilement mettre à profit ses connaissances de Windows dans son application.
- Vérifier la cohérence interne de l'application. Si Ctrl + C sert de raccourci pour l'impression sur un écran, et ne pas utiliser pas Ctrl + D sur un autre écran.
- S'assurer de la cohérence des métaphores. Si une icône Trou noir est la même que la Corbeille, les utilisateurs penseront qu'ils peuvent aussi récupérer les documents dans cette icône (alors que votre Trou noir fait disparaître définitivement vos fichiers).

### **XI-3-6/ Etre magnanime**

On passe souvent un bon moment à explorer une nouvelle application, à appuyer sur les boutons pour voir ce qui se passe. Dans une application bien écrite, cela ne pose jamais de problème.

Si l'on est sur le point d'effectuer une action qui formatera le disque dur, une boîte de dialogue apparaît et prévient de ce qui risque d'arriver. Il suffit alors d'appuyer sur le bouton Annuler qui est obligeamment proposé, et rien n'est perdu. C'est là le concept de magnanimité. Nous devons laisser les utilisateurs explorer votre application.

Toutes les actions de l'utilisateur doivent être réversibles ou corrigibles. Les utilisateurs doivent être prévenus à l'avance de l'aspect potentiellement dangereux d'une action qu'ils s'appêtent à effectuer. Il arrive aussi que l'utilisateur clique au mauvais endroit et ce cas il faut en tenir compte et exiger la confirmation de toute action potentiellement destructive, au cas où il s'agirait d'une erreur.

On peut éventuellement donner à l'utilisateur la possibilité de désactiver certains messages de confirmation une fois qu'il est habitué au fonctionnement de l'application. Une boîte de dialogue d'options à onglets permettant à l'utilisateur de désactiver la confirmation des suppressions de clients, de fichiers, etc. sera tout bien utile dans le cadre d'une utilisation professionnelle d'une application.

### **XI-3-7/ Du répondant**

Il n'y a rien de plus irritant qu'un ordinateur qui fait son mystérieux. On ne sait pas ce qu'il est en train de faire, et il n'indique rien : il faut faire toujours savoir à l'utilisateur ce qui se passe en le tenant informé régulièrement. Cela est possible en combinant des indices visuels et sonores pour montrer à l'utilisateur qu'il n'a pas été oublié.

Il est important que la réaction s'exprime près de l'endroit où l'utilisateur travaille. Par exemple, Si des données sont entrées au sommet de l'écran, le message d'erreur doit être affiché juste à côté. Nous pouvons changer la forme du curseur pour indiquer une condition particulière par exemple activer célèbre le sablier qui indique que le système est occupé. Un utilisateur ne supporte pas que son ordinateur fasse le mort plus de quelques secondes.

### **XI-3-8/ De l'esthétique**

Une application doit aussi être visuellement agréable à la vue de l'utilisateur. Cela se fait généralement à l'aide d'un choix adéquat des couleurs, d'une certaine symétrie entre les objets et une proportion dans les grandeurs des formes. En plus d'utiliser les couleurs systèmes pour votre, le design de l'écran lui-même est de toute importance. La disposition des objets détermine la facilité d'usage de l'écran, de même que le nombre d'objets sur l'écran.

Dans la mesure du possible, il faut essayer de respecter la "règle de sept". Ne donnez que sept choix à l'utilisateur (à deux près). Ce nombre de cinq à neuf choix découle de recherches sur le nombre de choses que le cerveau peut embrasser simultanément. Avec plus de neuf objets, l'utilisateur s'embrouille.

### **XI-3-9/ De la simplicité**

Le dernier principe de conception est la simplicité. Une application doit être facile à l'apprentissage et l'usage. Trouver un équilibre entre deux concepts opposés : c'est permettre l'accès à toutes les fonctions et informations de l'application tout en gardant l'interface et la manipulation de l'application aussi simple que possible. Une bonne application sait ménager ces deux principes.

Il faut éviter d'être trop verbeux quand on crée des écrans. Dans les libellés de champs d'entrée de données, écrire par exemple "Nom" et pas "le nom de famille du client", tout en essayant de s'exprimer en un minimum de mots. Microsoft recommande également le concept de révélation progressive. En d'autres termes, présenter les données seulement lorsque c'est nécessaire. Ainsi, dans un programme de répertoire, on peut montrer le nom et le numéro de téléphone d'une personne sur l'écran initial, et laisser l'utilisateur, sur la base de cette trace, appuyer sur un bouton s'il désire la totalité des informations concernant la personne.

#### **XI-4/ Conception centrée sur les données**

Une conception centrée sur les données signifie que l'utilisateur peut manipuler des données spécifiques sans devoir faire appel à des éditeurs ou des applications extérieures. Lorsque l'utilisateur commence à agir sur les données (pour les visualiser ou les éditer), les outils adéquats deviennent automatiquement disponibles.

Ce concept est appliqué dans des applications telles que Microsoft Word. Ainsi, lorsqu'on clique sur un dessin, la barre d'outils Dessin apparaît automatiquement au bas de l'écran, proposant tous les outils nécessaires à la manipulation du dessin. Le concept de document permet de bien mettre en place les concepts dans l'esprit de l'utilisateur. La vision des choses centrée sur le document est facile à mémoriser et les documents ne se limitent pas aux applications de traitement de texte.

De nombreuses applications autres que des traitements de texte utilisent des documents. Dans certains logiciels de communication, les transferts de fichiers sont même appelés "transferts de documents".

#### **XI-5/ Choix d'un modèle pour une application**

Nous devons maintenant parler de la gestion des fenêtres. Il existe deux modèles d'application différents, l'interface de document unique (SDI en anglais) et l'interface de documents multiples (MDI en anglais). En choisissant Fichier/Nouveau/Projets, puis application SDI ou application MDI, nous pouvons créer un squelette d'application. Savoir quels sont les avantages du MDI sur le SDI, et quels sont les critères permettant de choisir une méthode plutôt qu'une autre n'est pas explicite, car cela relève de la personnalisation de l'application et des habitudes du programmeur.

Dans la quasi-totalité des cas, une application peut être interfacée avec l'utilisateur par le biais d'une fenêtre primaire unique. Si des informations supplémentaires doivent être affichées ou collectées, une fenêtre secondaire peut être utilisée. Un bon exemple d'application SDI est l'Explorateur. L'Explorateur comporte une unique fenêtre primaire qui contient pratiquement toutes les informations nécessaires à son utilisation. Lorsque nous consultons des propriétés, une fenêtre secondaire apparaît. Avec une application SDI il est plus facile de gérer la relation exclusive entre l'écran et les données qu'il contient.

Une application MDI comporte aussi ses avantages. Microsoft Word est un bon exemple d'application MDI. Une application MDI a une fenêtre parent (la fenêtre primaire) et plusieurs fenêtres enfant (aussi appelées documents). Il arrive qu'il soit plus efficace d'afficher des informations dans plusieurs fenêtres qui partagent des éléments d'interface (comme une barre d'outils ou une barre de menus). Les fenêtres de document sont contrôlées ou découpées par le parent. Si on réduit la taille de la fenêtre parent, les fenêtres enfant peuvent être masquées.

Dans quel cas doit-on utiliser une application MDI ? Ces cas sont rares. Tout d'abord, MDI ne doit être utilisé que lorsque toutes les fenêtres enfant seront utilisées pour contenir des objets identiques (tels que des documents ou des feuilles de calcul). Si on compte avoir

## Chapitre XII

### **Démarche de résolution et Présentation du logiciel « urban design »**

Ce chapitre a pour but de résoudre le système d'équations modélisant la densification, les études d'implantation des bâtiments, les études de coûts des talus et des murs de soutènement et l'aide à la décision pour ces deux derniers.

Dans la première partie de ce chapitre nous exposons la démarche de résolution de la densification urbaine, de l'implantation des bâtiments en fonction des talus, des coûts de soutènement et du choix entre talus et mur de soutènement.

La seconde partie de ce chapitre présente le logiciel. Nous donnons la définition, la description, l'arborescence des programmes et l'écriture de ces programmes qui composent le logiciel.

#### **XII-1 Démarche de résolution**

L'étude de la densification qui est un cas particulier de la composition urbaine, se caractérise par une étude de la densité urbaine et des études de viabilisation et d'aménagements urbains telles que les voiries et les réseaux divers (VRD), les parkings, les espaces verts et de jeux, les ouvrages de soutènement, ...etc.

Notre exposé de résolution se limite aux résultats des relations obtenues dans la deuxième partie de la thèse. La démarche de résolution concernant les thèmes suivants seront présentés : la densification, les études d'implantations des bâtiments, les études de coûts des talus et murs et enfin une étude relative à une aide au choix entre talus et mur.

Nous pouvons rencontrer deux types de densification : la première pour une aide à la décision et la seconde pour une aide à la conception.

- **L'aide à la décision :**

L'approche de la densification va se faire selon trois possibilités de standing spatiale : Haut standing, moyen standing et bas standing.

- densification sans contraintes d'élimination des solutions non admissibles et sans contraintes d'optimisation des coûts : elle s'applique à une aide à la décision pour orienter un client ou un décideur.
- densification sans contraintes d'élimination des solutions non admissibles mais avec contraintes d'optimisation des coûts : elle s'applique à une aide à la décision pour orienter un client ou un décideur.
- densification avec contraintes d'élimination des solutions non admissibles et d'optimisation des coûts des solutions admissibles restantes : elle s'applique à une aide à la décision pour orienter à la fois un client, un décideur ou un concepteur.

La définition du concept standing dans notre travail se limite au ratio d'espace extérieur octroyé aux futurs résidents. Ainsi, nous avons défini deux espaces : le stationnement et

l'espace vert combiné aux aires de jeux. Le degré du standing est proportionnel à l'espace réservé selon les valeurs suivantes :

- Haut standing : espace-vert=5 m<sup>2</sup>/habitant et stationnement=1 véhicule/logement
- Moyen standing : espace-vert=4 m<sup>2</sup>/habitant et stationnement=0,75 véhicule/logement
- Haut standing : espace-vert=3 m<sup>2</sup>/habitant et stationnement=0,5 véhicule/logement

Nous allons donner la démarche de résolution pour chaque type de densification sans se soucier des cas de standing. Les standing seront traités et abordés dans le logiciel de conception qui sera présenté dans le chapitre qui va suivre.

- **L'aide à la conception :**

Elle s'applique à une aide à la conception pour orienter un concepteur. Dans ce cas il ne s'agit plus d'aide à la décision, mais plutôt une aide à la conception. Après avoir exposé des solutions prêtes à l'emploi, le client ou le décideur prend option pour un choix et alors il faut passer au niveau supérieur à savoir une conception selon les données et les spécifications retenues. En effet, il ne faut pas perdre de vue que l'urbaniste ou n'importe quel concepteur n'est qu'un prestataire de service et que le dernier mot revient au client.

### **XII-1-1/ Densification sans contraintes d'élimination et sans optimisation des coûts.**

Ce cas d'espèce n'est intéressant que dans le cas d'une simulation ou une prise de décision. Il est rare qu'un client ou un décideur vient avec une idée précise et des données techniques et c'est pour cela qu'il est nécessaire de lui présenter quelques variantes de cas.

#### Démarche :

- 1) Modéliser au préalable la surlargeur ( $L_0$ ) des plates formes, et la largeur des voiries avec trottoirs (A) en fonction du nombre de niveaux,
- 2) Exprimer chaque espace en fonction du nombre de niveaux,
- 3) Exprimer l'assiette d'un bâtiment (ass) et celle de la trame (ASS) en fonction des espaces qui les composent,
- 4) Exprimer le C.E.S de la trame,
- 5) 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),
- 6) Résoudre le système composé des deux équations : CES et d. La résolution se fera sur la base d'une suite d'itérations successives :
  - introduire une valeur arbitraire, 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 :

$$\begin{aligned}d_0 &= 100 && \rightarrow d_1 = 40 ; && d_1 = 40 && \rightarrow d_2 = 35 \\d_2 &= 35 && \rightarrow d_3 = 33 ; && d_3 = 33 && \rightarrow d_4 = 33,80 \\d_4 &= 33,80 && \rightarrow d_5 = 33,90 && \rightarrow |d_5 - d_4| \leq 0,01\end{aligned}$$

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

$$L_0 = 3,5 - 2,7 / n \quad (12-1)$$

$$A = 5 + 3\sqrt{n} \quad (12-2)$$

Tableau XII-1: comparaison des valeurs d'usage de la voirie (avec trottoirs) et des surlargeurs des plates formes avec les valeurs de la modélisation.

n	L <sub>0</sub> (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

## 2) Modélisation des espaces :

### Données :

- e : emprise d'un logement
- E : emprise d'un bâtiment
- m : nombre de bâtiments
- L × 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.l<sub>0</sub>) (l + 2.l<sub>0</sub>) : surface d'une plate-forme
- N<sub>T</sub> : nombre de logements dans une trame
- ASS : assiette de la trame
- E<sub>T</sub> : emprise de la trame
- L<sub>V<sub>T</sub></sub> : longueur voirie totale de la trame

### Surface totale stationnement dans une trame :

$$S_{st} = s_{st} \cdot K_v \cdot N_T = s_{st} \cdot K_v \cdot x \cdot m \cdot n \quad (12-3)$$

K<sub>v</sub> : nombre de véhicules par logement

$s_{st}$  : surface de stationnement d'un véhicule  
 $n$  : nombre de niveaux

Surface totale espace vert dans une trame :

$$S_{ev} : s_{ev} \cdot N_T \cdot y = s_{ev} \cdot x \cdot y \cdot m \cdot n \quad (12-4)$$

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

Surface totale emprise de blocs dans une trame :

$$E_T = m \cdot E = m \cdot x \cdot e \quad (12-5)$$

Surface totale des plates formes dans une trame :

$$\begin{aligned} S_{pft} &= m(L + 2l_0)(1 + 2l_0) \\ &= m[L + 2(3,5 - 2,7/n)][1 + 2(3,5 - 2,7/n)] \end{aligned} \quad (12-6)$$

Surface totale de la voirie + trottoirs dans une trame :

$$S_{VT} = L_{VT} \cdot A = 100 \sqrt{\frac{N_T}{d}} K_f \cdot T \cdot A \quad (12-7)$$

avec :

$$K_f = \sqrt{k} + \frac{1}{\sqrt{k}} = 100 \sqrt{\frac{N_T}{d}} K_f \cdot T(5 + \sqrt{3n})$$

$$k = L_T / l_T$$

$L_T$  et  $l_T$  : dimension de la trame.

$N_T$  : nombre de logements dans une trame.

$d$  : densité de la trame.

$A : (5 + \sqrt{3n})$  largeur de la voirie plus trottoir

$T = 1$  à  $1,5$  taille de l'agglomération.

2) L'assiette totale de la trame (ASS) :

$$ASS = S_{pft} + S_{evT} + S_{st} + S_{VT} \quad (12-8)$$

4) Le coefficient d'emprise au sol :

$$C.E.S = \frac{E_T}{ASS} = \frac{m \cdot x \cdot e}{ASS} \quad (12-9)$$

5) La densité :

$$\begin{aligned}
 d &= \frac{N_T}{ASS} 10\,000 = \frac{N}{ass} 10\,000 \\
 &= \frac{N}{E/CES} 10\,000 = \frac{N.CES}{E} \\
 &= \frac{x \cdot m \cdot CES}{x \cdot e} 10\,000 = \frac{n \cdot CES}{e} \quad (12-10)
 \end{aligned}$$

6) Le système d'équations :

$$\left\{ \begin{array}{l}
 CES = E_T/ASS = (m \cdot x \cdot e)/ASS \\
 d = \frac{n \cdot CES}{e} 10\,000
 \end{array} \right.$$

### XII-1-2/ Densification sans contraintes d'élimination des solutions non admissibles, mais avec contraintes d'optimisation des coûts

Dans ce cas de figure, la résolution consiste à restreindre le cas précédent du **sous chapitre XII-1** par la contrainte d'optimisation des coûts.

L'optimisation :

Il s'agit de comparer le coût moyen d'un logement par tranche de niveaux :

$$C_T(n) = C_f(n) + C_c(n) + C_v(n) \quad (12-11)$$

$C_T(n)$  : Coût d'un logement en élévation

$C_f(n)$  : Coût de foncier relatif à un logement en élévation.

$C_c(n)$  : Coût construction relatif à un logement en élévation.

$C_v(n)$  : Coût viabilisation relatif à un logement en élévation.

$$C_f(n) = C_f \frac{ass}{x} \times \frac{1}{n} \quad (12-12)$$

$$C_c(n) = C_c(1)(1 - \Delta C + n.\Delta C)e \quad (12-13)$$

$$C_v(n) = \alpha \cdot \beta \cdot e \cdot C_v(n) \cdot C_c(1)$$

$$= \alpha \cdot \beta \cdot C_c(1) \cdot e \cdot \frac{1}{3(n+1)} \quad (12-14)$$

- $C_f$  : coût du m<sup>2</sup> foncier
- $C_c(1)$  : coût du m<sup>2</sup> construction pour le rez-de-chaussée (n = 1)
- $\Delta C$  : surcoût du m<sup>2</sup> construction en élévation
- n : nombre de niveaux
- e : emprise d'un logement
- ass : assiette d'un bâtiment
- x : nombre de logements par niveau
- $C_v$  : ratio du coût du m<sup>2</sup> viabilisation en fonction du coût construction du rez-de-chaussée et du nombre de niveaux.

$$C_m(n) = [C_T(1) + C_T(2) + \dots + C_T(n)] / n = \left( \sum_{i=1}^n C_T(i) \right) \frac{1}{n} \quad (12-15)$$

i = 1 à n : nombre de niveaux.

$C_m(n)$  : coût moyen d'un logement pour une tranche de n niveaux.

$$C_m(\text{opt}) = \min[C(1); C(2); C(3); \dots; C(n)] \quad (13-16)$$

$$C_m(n) = \left( \sum_{i=1}^n C_T(i) \right) \frac{1}{n} \quad (13-17)$$

i = 1 à n : nombre de niveaux.

$C_m(n)$  : coût moyen d'un logement pour une tranche de n niveaux.

Nous aurons une suite de comparaisons de coûts moyens d'un logement par tranche de niveaux. La comparaison doit s'arrêter pour le coût le plus petit  $C_m(n_{\text{opt}})$ . A ce coût moyen optimisé lui correspond n optimisé. Nous pouvons construire un tableau pour déterminer  $n_{\text{opt}}$  en fonction du coût moyen d'un logement d'une tranche de plusieurs niveaux.

Le Tableau XII-2 suivant illustre le processus de l'optimisation.

**Tableau XII-2** : Comparaison des coûts moyens d'un logement par tranche de plusieurs niveaux successifs : processus de l'optimisation.

n	$C_f(n)$	$C_c(n)$	$C_v(n)$	$C_T = C_f + C_c + C_v$	$C_m(n) = [C_T(1) + \dots + C_T(n)] / n$
1				$C_T(1) C$	$C_T(1)/1$
2				$C_T(2) [$	$C_T(1) + C_T(2)]/2$
3				$C_T(3) [$	$C_T(1) + C_T(2) + C_T(3)]/3$
4					

### XII-1-3/ Densification avec contrainte d'élimination des solutions non admissibles et contraintes d'optimisation

Ce cas de figure correspond au cas général où il faut éliminer les solutions non admissibles et ensuite optimiser les solutions admissibles restantes.

Il est évident que pour éliminer les solutions non admissibles, il faut faire appel aux contraintes d'élimination élaborées dans la deuxième partie et en particulier dans le **chapitre IV**. Pour éliminer les solutions non admissibles, nous retenons les hypothèses : relation entre la portance du sol et la densité ; relation entre le cahier des charges et la densification ; relation entre la réglementation et la densification.

$$n \leq \frac{\bar{\sigma}_s}{p} \Rightarrow n \leq \bar{\sigma}_s \quad [T/m^2] \text{ portance du sol} \quad (13-18)$$

$n \leq n_{\max}$  du cahier des charges

$n \leq n_{\max}$  Réglementation

### XII-1-4/ Densification dans le cas général

Cette alternative correspond au cas où nous disposons de toutes les données relatives aux critères de la composition de la densification, des caractéristiques du site et des coûts relatifs aux contraintes des coûts. Dans ce cas précis, il faut introduire une à une toutes les données (inputs) dans une procédure séquentielle.

Ce cas de figure s'applique à une étude concrète dans un bureau d'études et ne s'apparente pas à une aide à la décision comme dans les trois scénarios précédents.

Dans ce cas, nous reprenons ce qui a été avancé précédemment dans le sous chapitre Densification avec contrainte d'élimination des solutions non admissibles et contraintes d'optimisation.

**Remarque :** Il n'y a pas de notion de standing.

### XII-1-5/ Implantation d'un bâtiment en fonction de la stabilité des talus

Dans ce sous chapitre, il s'agit de poser les équations permettant de déterminer la distance d'implantation d'un bâtiment en fonction des caractéristiques angle de repos naturel, hauteur du talus et charge exercé par une fondation type radier. La charge est considérée comme étant proportionnelle au nombre de niveaux (étages).

$$L_e \text{ min} = \frac{\mathbf{k.n_{max}.p}}{\gamma \cdot \text{tg } \phi_o} = \frac{p}{\gamma \cdot \text{tg } \phi_o} \mathbf{k.n_{max}} \quad (13-19)$$

et

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{1}{\frac{1}{\operatorname{tg} \phi_0} + \frac{\bar{\sigma}_s \cdot k}{H_0 \cdot \gamma \cdot \operatorname{tg} \phi_0}} \quad (13-20)$$

Nous rappelons qu'il existe deux possibilités d'implantation d'un bâtiment en fonction de la distance  $L_{e \min}$  qui le sépare du talus :

- Cas où  $L_{e \min} = 0$  , alors il faut déterminer la nouvelle pente  $\operatorname{tg}(\phi)$
- Cas où  $L_{e \min} > 0$  , alors il faut déterminer la distance correspondante à une charge totale transmise par la fondation type radier sur le sol.

Evidemment, il est possible de déterminer la distance  $L_{e \min}$  en fonction de la charge totale du bâtiment. Cette charge, soit elle est connue et alors elle est déduite comme étant  $\bar{\sigma}_s \cdot k = \sigma_s = k \cdot n_{\max} \cdot p$  , soit elle n'est pas connue et dans ce cas il est recommandé de considérer que le sol est chargé au maximum ce qui correspond à  $n_{\max}$  .

Dans la pratique, on ne touche pas à l'angle de repos naturel, c'est la distance qu'il faut déterminer. Le fait de laisser une largeur de servitude égale à 2 m ou 3 m est largement suffisant pour des hauteurs inférieures à 5 niveaux.

## XII-1-6/ Etudes des coûts de soutènement et choix entre talus et mur

Les relations qui expriment ces coûts ont été déterminées dans la première partie et elles concernent le mur de soutènement et le talus représentés par la figure IX-1 et la figure IX-2.

1. Coût du ml talus (Coût terrassement + Coût espace vert + Coût foncier)

$$(C_t + C_{ev}) + C_f = [C_{ot} (H^2 / 2 \operatorname{tg} \phi) + C_{ov} (H / \operatorname{tg} \phi)] + C_{of} (H / \operatorname{tg} \phi)$$

2. Coût du ml mur de soutènement : ( $C_{ms} =$  Coût béton armé + Coût remblais)

$$C_{ms} : C_{ba} (0,085H^2 + 0,145H - 0,01475) + C_{or} (0,3H^2)$$

3. Le choix entre le talus et le mur de soutènement repose sur la comparaison de leurs coûts respectifs.

Si  $(C_t + C_{ev}) + C_f \geq C_{ms}$  , Alors la solution mur de soutènement s'impose

$$[C_{ot} (H^2 / 2 \operatorname{tg} \phi) + C_{ov} (H / \operatorname{tg} \phi)] + C_{of} (H / \operatorname{tg} \phi) \geq C_{ba} (0,085H^2 + 0,145H - 0,01475) + C_{or} (0,3H^2)$$

## **XII-2/ Présentation du logiciel urban design**

Nous allons définir et décrire notre logiciel pour que l'utilisateur ou le lecteur puisse mieux cerner les propriétés et les capacités de l'outil.

### **XII-2-1/ Définition et description**

#### **1. Définition**

Ce logiciel est un outil de conception et d'aide à la décision pour des tâches qui relèvent du domaine de l'urbanisme et des aménagements urbains. Il a été réalisé avec Visual Basic5 dans l'environnement Windows 98.

#### **2. Description**

Le logiciel se compose de deux parties : la première partie traite de la densification urbaine et la seconde des aménagements urbains.

- **La densification urbaine :**

Cette partie s'articule autour de deux idées : l'aide à la décision et le prédimensionnement.

- L'aide à la décision en présentant plusieurs cas prêt à l'emploi moyennant quelques inputs (données).
- Prédimensionnement de la densification dans le cas général (moyennant toutes les données).

Vu la masse d'informations obtenues, les résultats sont imprimés dans un fichier.

- **Les aménagements urbains :**

Cette partie s'articule autour de deux importants ouvrages qui sont exécutés dans les phases terrassement et viabilisation durant la réalisation des opérations d'urbanisation dans des zones présentant une topographie relativement accidentée : les talus et les murs rideaux de soutènement en béton armé.

- Les talus : Comme pour le cas de la densification urbaine, les talus se subdivisent en deux cas : l'aide à la décision concernant l'implantation de l'emprise par rapport au talus en déterminant la distance en fonction du nombre de niveaux (étages) et la détermination des coûts du talus.
- Les murs de soutènement : La même démarche a été adoptée pour l'étude des murs de soutènement, à savoir une détermination des coûts et une aide à la décision concernant le choix entre un talus et un mur de soutènement.

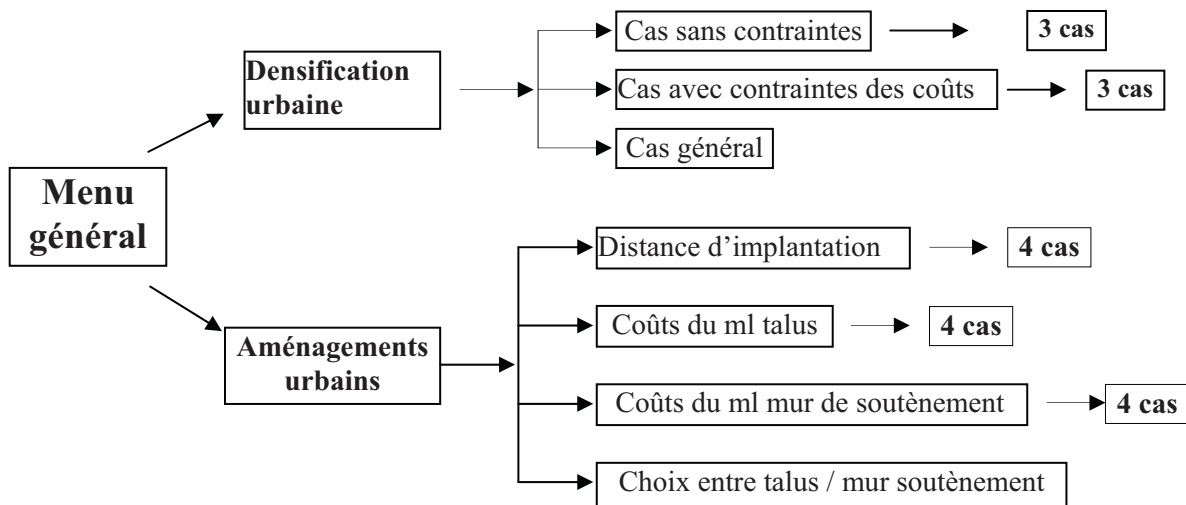
Les réponses sont affichées directement dans des boîtes d'édition à l'écran.

### **XII-2-2/ Arborescence des programmes**

Le logiciel comporte un menu principal, deux sous-menus qui se divisent chacun en plusieurs cas, le tout, donnant seize programmes indépendants.

### **XII-2-3/ Présentation des programmes**

Nous présentons les programmes associés aux objets composant les feuilles.



**Figure XII-3** : Schéma de l'arborescence des programmes

- **Programme0**

```

Private Sub command1_Click()
    Message = "Merçi d'avoir utilisé notre Logiciel 'Urban Design' "
    Response = MsgBox(Message)
  
```

```

End
End Sub
  
```

```

Private Sub Command2_Click()
    Form17.Show
  
```

```

End Sub
  
```

```

Private Sub Option1_Click()
    Form1.Show
    Option1 = False
  
```

```

End Sub
  
```

```

Private Sub Option2_Click()
    Form12.Show
  
```

```

Option2 = False
  
```

```

End Sub
  
```

- **Programme1**

```
Private Sub command1_Click()  
    Message = "Merçi d'avoir utilisé notre Logiciel 'Urban Design' "  
    Response = MsgBox(Message)  
End
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command2_Click()  
Form0.Show  
Form1.Hide
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Option1_Click()  
Form2.Show  
Form1.Hide  
Option1 = False
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Option2_Click()  
Form7.Show  
Form1.Hide  
Option2 = False
```

```
End Sub
```

- **Programme2**

```
Private Sub command1_Click()  
Form1.Show  
Form2.Hide
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command2_Click()  
    Message = "Merçi d'avoir utilisé notre Logiciel 'Urban Design' "  
    Response = MsgBox(Message)  
End
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command3_Click()  
Form0.Show  
Form1.Hide  
Form2.Hide
```

*End Sub*

*Private Sub Option1\_Click()*

*Form3.Show*

*Form1.Hide*

*Form2.Hide*

*Option1 = False*

*End Sub*

*Private Sub Option2\_Click()*

*Form4.Show*

*Form2.Hide*

*Option2 = False*

*End Sub*

*Private Sub Option3\_Click()*

*Form5.Show*

*Form2.Hide*

*Option3 = False*

*End Sub*

*Private Sub Option4\_Click()*

*Form6.Show*

*Form2.Hide*

*Option4 = False*

*End Sub*

- **Programme3**

*Private Sub command1\_Click()*

*Const X = 2*

*Const m = 6*

*Const Y = 6*

*Const sev = 5.5*

*Const kv = 1*

*Const sst = 20*

*Const longb = 25*

*Const largb = 10*

*Open "Densif" For Output Shared As #1*

*Dim Message1, Title, Default, Response, Msg As Variant*

*Dim i, n, j, nb, nt, MyValue1 As Integer*

*Dim ces, longt, largt, k, kf, T, e, eb, et, a, assb, asst, d0, d1, d, sevb, sevt, dmin, lo, spfb, spft, svt, sstb, sstt, lvt, MyValue2 As Variant*

```
Print #1, "-----"
Print #1, " Determination des caracteristiques urbanistiques et geometriques de la trame"
Print #1, "          Cas Haut standing sans contraintes des couts "
Print #1, "          sev=5.5 m2/hab, kv=1 vehicule/log, sst=20 m2/vehicule "
Print #1, '
Print #1, '

```

```
Print #1, "legende:"
Print #1, "  n: nombre de niveaux, "
Print #1, "  nt: nombre total de logements dans la trame, "
Print #1, "  d: densite logements, "
Print #1, "  ces: coefficient emprise au sol, "
Print #1, "  asst: assiette de la trame, "
Print #1, "  kf: coefficient de la forme, "
Print #1, "  lvt: longueur voirie de la trame, "
Print #1, "  svt: surface voirie de la trame, "
Print #1, "  db: distance entre batiments, "
Print #1, '
Print #1, '

```

```
Print #1, " n          nt          d          ces          asst          kf
lvt          svt          lvt/nt";
Print #1, '

```

```
MyValue1 = InputBox("Introduire le nombre de niveaux n: 1<n<20 ")
MyValue2 = InputBox("Introduire la taille 1<T<=2 ; 1 trame : T=2,0 ; 2 trames :
T=1,95 ; 3 trames : T=1,90 ; 4 trames : T=1,85 ;
5 trames : T=1,80 ; 6 trames : T=1,75 ; 7 trames :
T=1,70 ; 8 trames : T=1,65 ; 9 trames : T=1,50 ; 10
trames : T=1,45 ;")

```

```
For i = 1 To MyValue1 Step 1

```

```
    d0 = 100

```

```
    T = MyValue2
    n = i

```

```
    eb = longb * largb
    e = eb / X
    nb = X * i
    sstb = sst * nb * kv
    sevb = sev * nb * Y
    nt = m * nb

```

```

sstt = m * sstb
sevt = m * sevb
et = m * eb
a = 5 + 3 * Sqr(i)
lo = 3.5 - (2.7 / i)
spfb = (longb + 2 * lo) * (largb + 2 * lo)
spft = m * spfb
dmin = 2 * lo + sevt / (3 * (longb + 2 * lo))
largt = 2 * (largb + lo) + dmin + a
longt = (m / 2) * (longb + 2 * lo) + a + sstt / largt
k = longt / largt
kf = Sqr(k) + 1 / Sqr(k)
lvt = 100 * Sqr(nt / d0) * kf * T
svt = lvt * a
asst = spft + sevt + sstt + svt
ces = 1500 / asst
d1 = i * ces * (10000) / e

```

*Line1:*

```

d0 = d1
lvt = 100 * Sqr(nt / d0) * kf * T
svt = lvt * a
asst = spft + sevt + sstt + svt
ces = 1500 / asst
d1 = i * ces * (10000) / e

```

*If Abs(d0 - d1) > 0.001 Then GoTo Line1*

```

lvt = 100 * Sqr(nt / d1) * kf * T
svt = lvt * a
asst = spft + sevt + sstt + svt
ces = 1500 / asst

```

*d = d1*

*Print #1, i, nt, d, ces, asst, kf, lvt, svt, lvt / nt*

*Next i ' Quitte la boucle externe*

```

Message1 = "Calculs réussis et merci d'avoir utilisé notre Logiciel Urban_Design"
Response = MsgBox(Message1)
Print #1, '

```

*Close #1  
End Sub*

*Private Sub Command2\_Click()*

*Form2.Show*  
*Form3.Hide*

*End Sub*

*Private Sub Command3\_Click()*  
*Form0.Show*  
*Form1.Hide*  
*Form2.Hide*  
*Form3.Hide*

*End Sub*

*Private Sub Command4\_Click()*  
*Message = "Merçi d'avoir utilisé notre Logiciel 'Urban Design' "*  
*Response = MsgBox(Message)*  
*End*  
*End Sub*

#### • **Programme4**

*Private Sub command1\_Click()*

*Const X = 2*  
*Const m = 6*  
*Const Y = 6*  
*Const sev = 3.5*  
*Const kv = 0.75*  
*Const sst = 20*  
*Const longb = 25*  
*Const largb = 10*

*Open "Densif" For Output Shared As #1*

*Dim Message1, Title, Default, Response, Msg As Variant*  
*Dim i, n, j, nb, nt, MyValue1 As Integer*

*Dim ces, longt, largt, k, kf, T, e, eb, et, a, assb, asst, d0, d1, d, sevb, sevt, dmin, lo, spfb, spft,*  
*svt, sstb, sstt, lvt, MyValue2 As Variant*

*Print #1, "-----"*  
*Print #1, " Determination des caracteristiques urbanistiques et geometriques de la trame"*  
*Print #1, " Cas moyen standing sans contraintes des couts "*  
*Print #1, " sev=4.5 m2/hab, kv=0.75 vehicule/log, sst=20 m2/vehicule "*  
*Print #1, '*  
*Print #1, '*

*Print #1, "legende:"*  
*Print #1, " n: nombre de niveaux, "*

```

Print #1, " nt: nombre total de logements dans la trame, "
Print #1, " d: densit, logements, "
Print #1, " ces: coefficient emprise au sol, "
Print #1, " asst: assiette de la trame, "
Print #1, " kf: coefficient de la forme, "
Print #1, " lvt: longueur voirie de la trame, "
Print #1, " svt: surface voirie de la trame, "
Print #1, " db: distance entre batiments, "
Print #1, '
Print #1, '

```

```

Print #1, " n          nt          d          ces          asst          kf
lvt          svt          lvt/nt";
Print #1, '

```

```

MyValue1 = InputBox("Introduire le nombre de niveaux n: 1<n<20 ")
MyValue2 = InputBox("Introduire la taille 1<T<=2 ; 1 trame : T=2,0 ; 2 trames :
T=1,95 ; 3 trames : T=1,90 ; 4 trames : T=1,85 ;
5 trames : T=1,80 ; 6 trames : T=1,75 ; 7 trames :
T=1,70 ; 8 trames : T=1,65 ; 9 trames : T=1,50 ; 10
trames : T=1,45 ;")

```

```

For i = 1 To MyValue1 Step 1

```

```

    d0 = 100

```

```

    T = MyValue2
    n = i

```

```

    eb = longb * largb
    e = eb / X
    nb = X * i
    sstb = sst * nb * kv
    sevb = sev * nb * Y
    nt = m * nb
    sstt = m * sstb
    sevt = m * sevb
    et = m * eb
    a = 5 + 3 * Sqr(i)
    lo = 3.5 - (2.7 / i)
    spfb = (longb + 2 * lo) * (largb + 2 * lo)
    spft = m * spfb
    dmin = 2 * lo + sevt / (3 * (longb + 2 * lo))
    largt = 2 * (largb + lo) + dmin + a
    longt = (m / 2) * (longb + 2 * lo) + a + sstt / largt
    k = longt / largt
    kf = Sqr(k) + 1 / Sqr(k)
    lvt = 100 * Sqr(nt / d0) * kf * T
    svt = lvt * a
    asst = spft + sevt + sstt + svt

```

```
ces = 1500 / asst
d1 = i * ces * (10000) / e
```

*Line1:*

```
d0 = d1
lvt = 100 * Sqr(nt / d0) * kf * T
svt = lvt * a
asst = spft + sevt + sstt + svt
ces = 1500 / asst
d1 = i * ces * (10000) / e
```

*If Abs(d0 - d1) > 0.001 Then GoTo Line1*

```
lvt = 100 * Sqr(nt / d1) * kf * T
svt = lvt * a
asst = spft + sevt + sstt + svt
ces = 1500 / asst
```

```
d = d1
```

*Print #1, i, nt, d, ces, asst, kf, lvt, svt, lvt / nt*

*Next i ' Quitte la boucle externe*

```
Message1 = "Calculs réussis et merci d'avoir utilisé notre Logiciel Urban_Design"
Response = MsgBox(Message1)
Print #1, '
```

```
Close #1
End Sub
```

```
Private Sub Command2_Click()
Form3.Show
Form2.Hide
Form4.Hide
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command3_Click()
Form0.Show
Form1.Hide
Form2.Hide
Form3.Hide
Form4.Hide
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command4_Click()
```

```

    Message = "Merçi d'avoir utilisé notre Logiciel 'Urban Design' "
    Response = MsgBox(Message)
End
End Sub

```

- **Programme5**

```

Private Sub command1_Click()

```

```

    Const X = 2
    Const m = 6
    Const Y = 6
    Const sev = 3.5
    Const kv = 0.5
    Const sst = 20
    Const longb = 25
    Const largb = 10

```

```

Open "Densif" For Output Shared As #1

```

```

    Dim Message1, Title, Default, Response, Msg As Variant
    Dim i, n, j, nb, nt, MyValue1 As Integer

```

```

    Dim ces, longt, largt, k, kf, T, e, eb, et, a, assb, asst, d0, d1, d, sevb, sevt, dmin, lo, spfb, spft,
    svt, sstb, sstt, lvt, MyValue2 As Variant

```

```

    Print #1, "-----"
    Print #1, " Determination des caracteristiques urbanistiques et geometriques de la trame"
    Print #1, "          Cas bas standing sans contraintes des couts "
    Print #1, "          sev=3.5 m2/hab, kv=0.5 vehicule/log, sst=20 m2/vehicule "
    Print #1, '
    Print #1, '

```

```

    Print #1, "legende:"
    Print #1, "    n: nombre de niveaux, "
    Print #1, "    nt: nombre total de logements dans la trame, "
    Print #1, "    d: densit, logements, "
    Print #1, "    ces: coefficient emprise au sol, "
    Print #1, "    asst: assiette de la trame, "
    Print #1, "    kf: coefficient de la forme, "
    Print #1, "    lvt: longueur voirie de la trame, "
    Print #1, "    svt: surface voirie de la trame, "
    Print #1, "    db: distance entre batiments, "
    Print #1, '
    Print #1, '

```

```

    Print #1, " n          nt          d          ces          asst          kf
lvt          svt          lvt/nt";
    Print #1, '

```

```

MyValue1 = InputBox("Introduire le nombre de niveaux n: 1<n<20")
MyValue2 = InputBox("Introduire la taille 1<T<=2 ; 1 trame : T=2,0 ; 2 trames :
T=1,95 ; 3 trames : T=1,90 ; 4 trames : T=1,85 ;
5 trames : T=1,80 ; 6 trames : T=1,75 ; 7 trames :
T=1,70 ; 8 trames : T=1,65 ; 9 trames : T=1,50 ; 10
trames : T=1,45 ;")

```

```

For i = 1 To MyValue1 Step 1

```

```

    d0 = 100

```

```

    T = MyValue2

```

```

    n = i

```

```

    eb = longb * largb

```

```

    e = eb / X

```

```

    nb = X * i

```

```

    sstb = sst * nb * kv

```

```

    sevb = sev * nb * Y

```

```

    nt = m * nb

```

```

    sstt = m * sstb

```

```

    sevt = m * sevb

```

```

    et = m * eb

```

```

    a = 5 + 3 * Sqr(i)

```

```

    lo = 3.5 - (2.7 / i)

```

```

    spfb = (longb + 2 * lo) * (largb + 2 * lo)

```

```

    spft = m * spfb

```

```

    dmin = 2 * lo + sevt / (3 * (longb + 2 * lo))

```

```

    largt = 2 * (largb + lo) + dmin + a

```

```

    longt = (m / 2) * (longb + 2 * lo) + a + sstt / largt

```

```

    k = longt / largt

```

```

    kf = Sqr(k) + 1 / Sqr(k)

```

```

    lvt = 100 * Sqr(nt / d0) * kf * T

```

```

    svt = lvt * a

```

```

    asst = spft + sevt + sstt + svt

```

```

    ces = 1500 / asst

```

```

    d1 = i * ces * (10000) / e

```

```

Line1:

```

```

    d0 = d1

```

```

    lvt = 100 * Sqr(nt / d0) * kf * T

```

```

    svt = lvt * a

```

```

    asst = spft + sevt + sstt + svt

```

```

    ces = 1500 / asst

```

```

    d1 = i * ces * (10000) / e

```

```

If Abs(d0 - d1) > 0.001 Then GoTo Line1

```

```

lvt = 100 * Sqr(nt / d1) * kf * T
svt = lvt * a
asst = spft + sevt + sstt + svt
ces = 1500 / asst

```

```

d = d1

```

```

Print #1, i, nt, d, ces, asst, kf, lvt, svt, lvt / nt

```

```

Next i ' Quitte la boucle externe

```

```

Message1 = "Calculs réussis et merci d'avoir utilisé notre Logiciel Urban_Design"
Response = MsgBox(Message1)
Print #1, '

```

```

Close #1
End Sub

```

```

Private Sub Command2_Click()
Form4.Show
Form5.Hide

```

```

End Sub

```

```

Private Sub Command3_Click()
Form0.Show
Form1.Hide
Form2.Hide
Form3.Hide
Form4.Hide
Form5.Hide

```

```

End Sub

```

```

Private Sub Command4_Click()
Message = "Merçi d'avoir utilisé notre Logiciel 'Urban Design' "
Response = MsgBox(Message)
End
End Sub

```

- **Programme6**

```

Private Sub command1_Click()

```

```

Const sst = 20

```

```

Open "Densif" For Output Shared As #1

```

*Dim Message, Title, Default, Response, Msg As Variant*  
*Dim i, n, j, nb, nt, m, X, Y, MyValue As Integer*

*Dim ces, longt, largt, k, sev, kf, T, e, eb, et, a, assb, asst, d0, d1, d, sevb, sevt, dmin, lo, spfb,*  
*svt, sstb, sstt, lvt As Variant*

*Dim MyValue2, MyValue3, MyValue4, MyValue8 As Variant*

*Print #1, "-----"*

*Print #1, " Determination des caracteristiques urbanistiques et geometriques de la trame"*

*Print #1, " Cas general sans contraintes de couts "*

*Print #1, '*

*Print #1, '*

*Print #1, "legende:"*

*Print #1, " n: nombre de niveaux, "*

*Print #1, " nt: nombre total de logements dans la trame, "*

*Print #1, " d: densit, logements, "*

*Print #1, " ces: coefficient emprise au sol, "*

*Print #1, " asst: assiette de la trame, "*

*Print #1, " kf: coefficient de la forme, "*

*Print #1, " lvt: longueur voirie de la trame, "*

*Print #1, " svt: surface voirie de la trame, "*

*Print #1, " db: distance entre batiments, "*

*Print #1, '*

*Print #1, '*

*Print #1, " n            nt            d            ces            asst            kf*  
*lvt            svt            lvt/nt";*  
*Print #1, '*

*MyValue1 = InputBox("Introduire le nombre de niveaux n: 1<n<20")*

*MyValue2 = InputBox("Introduire la taille 1<T<=2 ; 1 trame : T=2,0 ; 2 trames :  
T=1,95 ; 3 trames : T=1,90 ; 4 trames : T=1,85 ;  
5 trames : T=1,80 ; 6 trames : T=1,75 ; 7 trames :  
T=1,70 ; 8 trames : T=1,65 ; 9 trames : T=1,50 ; 10  
trames : T=1,45 ;")*

*MyValue3 = InputBox("Introduire la longueur du bâtiment longb ")*

*MyValue4 = InputBox("Introduire la largeur du bâtiment largb ")*

*MyValue5 = InputBox("Introduire le nombre d'habitant/logement: y ")*

*MyValue6 = InputBox("Introduire le nombre d'appartements/Niveau: 1<=x<4 ")*

*MyValue7 = InputBox("Introduire la surface espace vert/habitant: 3,5<=Sev<5,5 ")*

*MyValue8 = InputBox("Introduire le nombre de bâtiments : 4<=m<10 ")*

*MyValue9 = InputBox("Introduire le nombre de véhicules/logement: 0,5<=kv<1 ")*

*For i = 1 To MyValue1 Step 1*

*d0 = 100*

*n = i*

$T = MyValue2$   
 $longb = MyValue3$   
 $largb = MyValue4$   
 $Y = MyValue5$   
 $X = MyValue6$   
 $sev = MyValue7$   
 $m = MyValue8$   
 $kv = MyValue9$

$eb = longb * largb$   
 $e = eb / X$   
 $nb = X * i$   
 $sstb = sst * nb * kv$   
 $sevb = sev * nb * Y$   
 $nt = m * nb$   
 $ssst = m * sstb$   
 $sevt = m * sevb$   
 $et = m * eb$   
 $a = 5 + 3 * Sqr(i)$   
 $lo = 3.5 - (2.7 / i)$   
 $spfb = (longb + 2 * lo) * (largb + 2 * lo)$   
 $spft = m * spfb$   
 $dmin = 2 * lo + sevt / (3 * (longb + 2 * lo))$   
 $largt = 2 * (largb + lo) + dmin + a$   
 $longt = (m / 2) * (longb + 2 * lo) + a + ssst / largt$   
 $k = longt / largt$   
 $kf = Sqr(k) + 1 / Sqr(k)$   
 $lvt = 100 * Sqr(nt / d0) * kf * T$   
 $svt = lvt * a$   
 $asst = spft + sevt + ssst + svt$   
 $ces = 1500 / asst$   
 $d1 = i * ces * (10000) / e$

*Line1:*

$d0 = d1$   
 $lvt = 100 * Sqr(nt / d0) * kf * T$   
 $svt = lvt * a$   
 $asst = spft + sevt + ssst + svt$   
 $ces = 1500 / asst$   
 $d1 = i * ces * (10000) / e$

*If Abs(d0 - d1) > 0.001 Then GoTo Line1*

$lvt = 100 * Sqr(nt / d1) * kf * T$   
 $svt = lvt * a$   
 $asst = spft + sevt + ssst + svt$   
 $ces = 1500 / asst$

*d = d1*

*Print #1, i, nt, d, ces, asst, kf, lvt, svt, lvt / nt*

*Next i ' Quitte la boucle externe*

*Message1 = "Calculs réussis et merci d'avoir utilisé notre Logiciel Urban\_Design"*

*Response = MsgBox(Message1)*

*Print #1, '*

*Close #1*

*End Sub*

*Private Sub Command2\_Click()*

*Form5.Show*

*Form6.Hide*

*End Sub*

*Private Sub Command3\_Click()*

*Form0.Show*

*Form1.Hide*

*Form2.Hide*

*Form3.Hide*

*Form4.Hide*

*Form5.Hide*

*Form6.Hide*

*End Sub*

*Private Sub Command4\_Click()*

*Message = "Merçi d'avoir utilisé notre Logiciel 'Urban Design' "*

*Response = MsgBox(Message)*

*End*

*End Sub*

### • Programme7

*Private Sub command1\_Click()*

*Form0.Show*

*Form1.Hide*

*Form2.Hide*

*Form3.Hide*

*Form4.Hide*

*Form5.Hide*

*Form6.Hide*

*Form7.Hide*

*End Sub*

*Private Sub Command2\_Click()*

*Message = "Merçi d'avoir utilisé notre Logiciel 'Urban Design' "*

*Response = MsgBox(Message)*

*End*

*End Sub*

*Private Sub Option1\_Click()*

*Form8.Show*

*Option1 = False*

*End Sub*

*Private Sub Option2\_Click()*

*Form9.Show*

*Option2 = False*

*End Sub*

*Private Sub Option3\_Click()*

*Form10.Show*

*Option3 = False*

*End Sub*

*Private Sub Option4\_Click()*

*Form11.Show*

*Option4 = False*

*End Sub*

- **Programme8**

*Private Sub command1\_Click()*

*Const X = 2*

*Const m = 6*

*Const Y = 6*

*Const sev = 5.5*

*Const kv = 1*

*Const sst = 20*

*Const longb = 25*

*Const largb = 10*

*Const dcc = 0.06*

*tableau = Array(1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20)*

*Open "Densif" For Output Shared As #1*

*Dim Message1, Title, Default, Response, Msg As Variant*

*Dim i, n, j, nb, nt, MyValue As Integer*

*Dim ces, longt, largt, k, kf, T, e, eb, et, a, assb, asst, d0, d1, d, sevb, sevt, dmin, lo, spfb, spft, svt, sstb, sstt, lvt, MyValue2 As Variant*

*Dim cfn, ccn, cvn, ctn, cmn, cm1, cm2 As Variant*

*Dim copt As Variant*

*Print #1, "-----"*

*Print #1, " Determination des caracteristiques urbanistiques et geometriques de la trame"*

*Print #1, " Cas Haut standing avec contraintes des couts "*

*Print #1, " sev=5.5 m2/hab, kv=1 vehicule/log, sst=20 m2/vehicule "*

*Print #1, '*

*Print #1, '*

*Print #1, "legende:"*

*Print #1, " n: nombre de niveaux, "*

*Print #1, " nt: nombre total de logements dans la trame, "*

*Print #1, " d: densit, logements, "*

*Print #1, " ces: coefficient emprise au sol, "*

*Print #1, " asst: assiette de la trame, "*

*Print #1, " kf: coefficient de la forme, "*

*Print #1, " lvt: longueur voirie de la trame, "*

*Print #1, " svt: surface voirie de la trame, "*

*Print #1, " db: distance entre batiments, "*

*Print #1, " cc: cout construction du M2 rez de chaussee "*

*Print #1, " cf: cout d'acquisition du M2 foncier "*

*Print #1, " Alpha: coefficient exprimant la caracteristique topographique du site "*

*Print #1, " beta: coefficient exprimant la caracteristique durete du sol "*

*Print #1, '*

*Print #1, '*

*Print #1, " n            nt            d            ces            asst            kf*  
*lvt            svt            lvt/nt";*

*Print #1, '*

*MyValue1 = InputBox("Introduire le nombre de niveaux n: 1<n<20 ")*

*MyValue2 = InputBox("Introduire la taille 1<T<=2 ; 1 trame : T=2,0 ; 2 trames :  
T=1,95 ; 3 trames : T=1,90 ; 4 trames : T=1,85 ;  
5 trames : T=1,80 ; 6 trames : T=1,75 ; 7 trames :  
T=1,70 ; 8 trames : T=1,65 ; 9 trames : T=1,50 ; 10  
trames : T=1,45 ;")*

*MyValue3 = InputBox("Introduire le cout construction du M2 rez de chaussee cc ")*

*MyValue4 = InputBox("Introduire le cout d'acquisition du M2 foncier cf ")*

*MyValue5 = InputBox("Introduire le coefficient Alpha ")*

```

MyValue6 = InputBox("Introduire le coefficient Beta ")
cc = MyValue3
Cf = MyValue4
alpha = MyValue5
beta = MyValue6
T = MyValue2
n = i

```

```

For i = 1 To MyValue1 Step 1

```

```

    d0 = 100

```

```

    eb = longb * largb
    e = eb / X
    nb = X * i
    sstb = sst * nb * kv
    sevb = sev * nb * Y
    nt = m * nb
    sstt = m * sstb
    sevt = m * sevb
    et = m * eb
    a = 5 + 3 * Sqr(i)
    lo = 3.5 - (2.7 / i)
    spfb = (longb + 2 * lo) * (largb + 2 * lo)
    spft = m * spfb
    dmin = 2 * lo + sevt / (3 * (longb + 2 * lo))
    largt = 2 * (largb + lo) + dmin + a
    longt = (m / 2) * (longb + 2 * lo) + a + sstt / largt
    k = longt / largt
    kf = Sqr(k) + 1 / Sqr(k)
    lvt = 100 * Sqr(nt / d0) * kf * T
    svt = lvt * a
    asst = spft + sevt + sstt + svt
    ces = 1500 / asst
    d1 = i * ces * (10000) / e

```

```

Line1:

```

```

    d0 = d1
    lvt = 100 * Sqr(nt / d0) * kf * T
    svt = lvt * a
    asst = spft + sevt + sstt + svt
    ces = 1500 / asst
    d1 = i * ces * (10000) / e

```

```

If Abs(d0 - d1) > 0.001 Then GoTo Line1

```

```

    lvt = 100 * Sqr(nt / d1) * kf * T
    svt = lvt * a
    asst = spft + sevt + sstt + svt
    ces = 1500 / asst

```

```

    d = d1

Print #1, i, nt, d, ces, asst, kf, lvt, svt, lvt / nt

Next i ' Quitte la boucle externe

Print #1, "          "

Print #1, " i          cfn          ccn          cvn          ctn          cmn
copt "

For i = 1 To MyValue1 Step 1

    d0 = 100

    eb = longb * largb
    e = eb / X
    nb = X * i
    sstb = sst * nb * kv
    sevb = sev * nb * Y
    nt = m * nb
    sstt = m * sstb
    sevt = m * sevb
    et = m * eb
    a = 5 + 3 * Sqr(i)
    lo = 3.5 - (2.7 / i)
    spfb = (longb + 2 * lo) * (largb + 2 * lo)
    spft = m * spfb
    dmin = 2 * lo + sevt / (3 * (longb + 2 * lo))
    largt = 2 * (largb + lo) + dmin + a
    longt = (m / 2) * (longb + 2 * lo) + a + sstt / largt
    k = longt / largt
    kf = Sqr(k) + 1 / Sqr(k)
    lvt = 100 * Sqr(nt / d0) * kf * T
    svt = lvt * a
    asst = spft + sevt + sstt + svt
    ces = 1500 / asst
    d1 = i * ces * (10000) / e
Line2:
    d0 = d1
    lvt = 100 * Sqr(nt / d0) * kf * T
    svt = lvt * a
    asst = spft + sevt + sstt + svt
    ces = 1500 / asst
    d1 = i * ces * (10000) / e

If Abs(d0 - d1) > 0.001 Then GoTo Line2

    lvt = 100 * Sqr(nt / d1) * kf * T
    svt = lvt * a

```

```
asst = spft + sevt + sstt + svt  
ces = 1500 / asst
```

```
d = d1
```

```
cfn = Cf * asst / nt  
ccn = cc * (1 - dcc + i * dcc) * e  
cvn = (alpha * beta * cc * e) / (3 * (i + 1))  
ctn = cfn + ccn + cvn
```

```
If i > 1 Then cm1 = cm2
```

```
tableau(i) = ctn  
cm2 = tableau(i)
```

```
For j = 1 To (i - 1)  
cm2 = cm2 + tableau(j)  
Next j
```

```
cm2 = cm2 / i  
cmn = cm2
```

```
If ((cm1 > cm2) Or (i <= 1)) Then copt = cm2 Else: copt = " Stop"
```

```
Print #1, i, cfn, ccn, cvn, ctn, cmn, copt
```

```
Next i ' Quitte la boucle externe
```

```
Message1 = "Calculs réussis et merci d'avoir utilisé notre Logiciel Urban_Design"  
Response = MsgBox(Message1)
```

```
Print #1, '
```

```
Close #1  
End Sub
```

```
Private Sub Command2_Click()  
Form7.Show  
Form8.Hide
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command3_Click()  
Form0.Show  
Form1.Hide  
Form2.Hide  
Form3.Hide  
Form4.Hide  
Form5.Hide  
Form6.Hide
```

*Form7.Hide*  
*Form8.Hide*

*End Sub*

*Private Sub Command4\_Click()*  
    *Message = "Merçi d'avoir utilisé notre Logiciel 'Urban Design' "*  
    *Response = MsgBox(Message)*  
*End*  
*End Sub*

### • Programme9

*Private Sub command1\_Click()*

*Const X = 2*  
*Const m = 6*  
*Const Y = 6*  
*Const sev = 4.5*  
*Const kv = 0.75*  
*Const sst = 20*  
*Const longb = 25*  
*Const largb = 10*  
*Const dcc = 0.06*

*tableau = Array(1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20)*

*Open "Densif" For Output Shared As #1*

*Dim Message1, Title, Default, Response, Msg As Variant*  
*Dim i, n, j, nb, nt, MyValue As Integer*

*Dim ces, longt, largt, k, kf, T, e, eb, et, a, assb, asst, d0, d1, d, sevb, sevt, dmin, lo, spfb, spft,*  
*syt, sstb, sstt, lvt, MyValue2 As Variant*

*Dim cfn, ccn, cvn, ctn, cmn, cm1, cm2 As Variant*  
*Dim copt As Variant*

*Print #1, "-----"*

*Print #1, " Determination des caracteristiques urbanistiques et geometriques de la trame"*

*Print #1, " Cas Haut standing avec contraintes des couts "*

*Print #1, " sev=5.5 m2/hab, kv=1 vehicule/log, sst=20 m2/vehicule "*

*Print #1, '*

*Print #1, '*

*Print #1, "legende:"*

*Print #1, " n: nombre de niveaux, "*

*Print #1, " nt: nombre total de logements dans la trame, "*

*Print #1, " d: densit, logements, "*

```

Print #1, " ces: coefficient emprise au sol, "
Print #1, " asst: assiette de la trame, "
Print #1, " kf: coefficient de la forme, "
Print #1, " lvt: longueur voirie de la trame, "
Print #1, " svt: surface voirie de la trame, "
Print #1, " db: distance entre batiments, "
Print #1, " cc: cout construction du M2 rez de chaussee "
Print #1, " cf: cout d'acquisition du M2 foncier "
Print #1, " Alpha: coefficient exprimant la caracteristique topographique du site "
Print #1, " beta: coefficient exprimant la caracteristique durete du sol "

```

```

Print #1, '
Print #1, '

```

```

Print #1, " n          nt          d          ces          asst          kf
lvt          svt          lvt/nt";
Print #1, '

```

```

MyValue1 = InputBox("Introduire le nombre de niveaux n: 1<n<20 ")
MyValue2 = InputBox("Introduire la taille 1<T<=2 ; 1 trame : T=2,0 ; 2 trames :
T=1,95 ; 3 trames : T=1,90 ; 4 trames : T=1,85 ;
5 trames : T=1,80 ; 6 trames : T=1,75 ; 7 trames :
T=1,70 ; 8 trames : T=1,65 ; 9 trames : T=1,50 ; 10
trames : T=1,45 ;")

```

```

MyValue3 = InputBox("Introduire le cout construction du M2 rez de chaussee cc ")
MyValue4 = InputBox("Introduire le cout d'acquisition du M2 foncier cf ")
MyValue5 = InputBox("Introduire le coefficient Alpha ")
MyValue6 = InputBox("Introduire le coefficient Beta ")
cc = MyValue3
Cf = MyValue4
alpha = MyValue5
beta = MyValue6
T = MyValue2
n = i

```

```

For i = 1 To MyValue1 Step 1

```

```

    d0 = 100

```

```

    eb = longb * largb
    e = eb / X
    nb = X * i
    sstb = sst * nb * kv
    sevb = sev * nb * Y
    nt = m * nb
    sstt = m * sstb
    sevt = m * sevb
    et = m * eb
    a = 5 + 3 * Sqr(i)
    lo = 3.5 - (2.7 / i)

```

```

spfb = (longb + 2 * lo) * (largb + 2 * lo)
spft = m * spfb
dmin = 2 * lo + sevt / (3 * (longb + 2 * lo))
largt = 2 * (largb + lo) + dmin + a
longt = (m / 2) * (longb + 2 * lo) + a + sstt / largt
k = longt / largt
kf = Sqr(k) + 1 / Sqr(k)
lvt = 100 * Sqr(nt / d0) * kf * T
svt = lvt * a
asst = spft + sevt + sstt + svt
ces = 1500 / asst
d1 = i * ces * (10000) / e

```

*Line1:*

```

d0 = d1
lvt = 100 * Sqr(nt / d0) * kf * T
svt = lvt * a
asst = spft + sevt + sstt + svt
ces = 1500 / asst
d1 = i * ces * (10000) / e

```

*If Abs(d0 - d1) > 0.001 Then GoTo Line1*

```

lvt = 100 * Sqr(nt / d1) * kf * T
svt = lvt * a
asst = spft + sevt + sstt + svt
ces = 1500 / asst

```

```

d = d1

```

*Print #1, i, nt, d, ces, asst, kf, lvt, svt, lvt / nt*

*Next i ' Quitte la boucle externe*

```

Print #1, "          "
Print #1, " i          cfn          ccn          cvn          ctn          cmn
copt "

```

*For i = 1 To MyValue1 Step 1*

```

d0 = 100

T = MyValue2
n = i

eb = longb * largb
e = eb / X
nb = X * i
sstb = sst * nb * kv

```

```

sevb = sev * nb * Y
nt = m * nb
sstt = m * sstb
sevt = m * sevb
et = m * eb
a = 5 + 3 * Sqr(i)
lo = 3.5 - (2.7 / i)
spfb = (longb + 2 * lo) * (largb + 2 * lo)
spft = m * spfb
dmin = 2 * lo + sevt / (3 * (longb + 2 * lo))
largt = 2 * (largb + lo) + dmin + a
longt = (m / 2) * (longb + 2 * lo) + a + sstt / largt
k = longt / largt
kf = Sqr(k) + 1 / Sqr(k)
lvt = 100 * Sqr(nt / d0) * kf * T
svt = lvt * a
asst = spft + sevt + sstt + svt
ces = 1500 / asst
d1 = i * ces * (10000) / e
Line2:
d0 = d1
lvt = 100 * Sqr(nt / d0) * kf * T
svt = lvt * a
asst = spft + sevt + sstt + svt
ces = 1500 / asst
d1 = i * ces * (10000) / e

If Abs(d0 - d1) > 0.001 Then GoTo Line2

lvt = 100 * Sqr(nt / d1) * kf * T
svt = lvt * a
asst = spft + sevt + sstt + svt
ces = 1500 / asst

d = d1

cfn = Cf * asst / nt
ccn = cc * (1 - dcc + i * dcc) * e
cvn = (alpha * beta * cc * e) / (3 * (i + 1))
ctn = cfn + ccn + cvn

If i > 1 Then cm1 = cm2

tableau(i) = ctn
cm2 = tableau(i)

For j = 1 To (i - 1)
cm2 = cm2 + tableau(j)
Next j

```

```

cm2 = cm2 / i
  cmn = cm2

If ((cm1 > cm2) Or (i <= 1)) Then copt = cm2 Else: copt = " Stop"

Print #1, i, cfn, ccn, cvn, ctn, cmn, copt

Next i ' Quitte la boucle externe

  Message1 = "Calculs réussis et merci d'avoir utilisé notre Logiciel Urban_Design"
  Response = MsgBox(Message1)

  Print #1, '

Close #1
End Sub

Private Sub Command2_Click()
Form8.Show
Form9.Hide

End Sub

Private Sub Command3_Click()
Form0.Show
Form1.Hide
Form2.Hide
Form3.Hide
Form4.Hide
Form5.Hide
Form6.Hide
Form7.Hide
Form8.Hide
Form9.Hide

End Sub

Private Sub Command4_Click()
  Message = "Merçi d'avoir utilisé notre Logiciel 'Urban Design' "
  Response = MsgBox(Message)
End
End Sub

```

- **Programme10**

```
Private Sub command1_Click()
```

*Const X = 2*  
*Const m = 6*  
*Const Y = 6*  
*Const sev = 3.5*  
*Const kv = 0.5*  
*Const sst = 20*  
*Const longb = 25*  
*Const largb = 10*  
*Const dcc = 0.06*

*tableau = Array(1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20)*

*Open "Densif" For Output Shared As #1*

*Dim Message1, Title, Default, Response, Msg As Variant*  
*Dim i, n, j, nb, nt, MyValue As Integer*

*Dim ces, longt, largt, k, kf, T, e, eb, et, a, assb, asst, d0, d1, d, sevb, sevt, dmin, lo, spfb, spft,*  
*svt, sstb, sstt, lvt, MyValue2 As Variant*  
*Dim cfh, ccn, cvn, ctn, cmn, cm1, cm2 As Variant*  
*Dim copt As Variant*

*Print #1, "-----"*  
*Print #1, " Determination des caracteristiques urbanistiques et geometriques de la trame"*  
*Print #1, " Cas Haut standing avec contraintes des couts"*  
*Print #1, " sev=5.5 m2/hab, kv=1 vehicule/log, sst=20 m2/vehicule "*  
*Print #1, '*  
*Print #1, '*

*Print #1, "legende:"*  
*Print #1, " n: nombre de niveaux, "*  
*Print #1, " nt: nombre total de logements dans la trame, "*  
*Print #1, " d: densit, logements, "*  
*Print #1, " ces: coefficient emprise au sol, "*  
*Print #1, " asst: assiette de la trame, "*  
*Print #1, " kf: coefficient de la forme, "*  
*Print #1, " lvt: longueur voirie de la trame, "*  
*Print #1, " svt: surface voirie de la trame, "*  
*Print #1, " db: distance entre batiments, "*  
*Print #1, " cc: cout construction du M2 rez de chaussee "*  
*Print #1, " cf: cout d'acquisition du M2 foncier "*  
*Print #1, " Alpha: coefficient exprimant la caracteristique topographique du site "*  
*Print #1, " beta: coefficient exprimant la caracteristique durete du sol "*

*Print #1, '*  
*Print #1, '*

*Print #1, " n            nt            d            ces            asst            kf*  
*lvt            svt            lvt/nt";*

Print #1, '

```
MyValue1 = InputBox("Introduire le nombre de niveaux n: 1<n<20 ")
MyValue2 = InputBox("Introduire la taille 1<T<=2 ; 1 trame : T=2,0 ; 2 trames :
T=1,95 ; 3 trames : T=1,90 ; 4 trames : T=1,85 ;
5 trames : T=1,80 ; 6 trames : T=1,75 ; 7 trames :
T=1,70 ; 8 trames : T=1,65 ; 9 trames : T=1,50 ; 10
trames : T=1,45 ;")
MyValue3 = InputBox("Introduire le cout construction du M2 rez de chaussee cc ")
MyValue4 = InputBox("Introduire le cout d'acquisition du M2 foncier cf ")
MyValue5 = InputBox("Introduire le coefficient Alpha ")
MyValue6 = InputBox("Introduire le coefficient Beta ")
```

```
cc = MyValue3
Cf = MyValue4
alpha = MyValue5
beta = MyValue6
T = MyValue2
n = i
```

For i = 1 To MyValue1 Step 1

```
d0 = 100

eb = longb * largb
e = eb / X
nb = X * i
sstb = sst * nb * kv
sevb = sev * nb * Y
nt = m * nb
sstt = m * sstb
sevt = m * sevb
et = m * eb
a = 5 + 3 * Sqr(i)
lo = 3.5 - (2.7 / i)
spfb = (longb + 2 * lo) * (largb + 2 * lo)
spft = m * spfb
dmin = 2 * lo + sevt / (3 * (longb + 2 * lo))
largt = 2 * (largb + lo) + dmin + a
longt = (m / 2) * (longb + 2 * lo) + a + sstt / largt
k = longt / largt
kf = Sqr(k) + 1 / Sqr(k)
lvt = 100 * Sqr(nt / d0) * kf * T
svt = lvt * a
asst = spft + sevt + sstt + svt
ces = 1500 / asst
dl = i * ces * (10000) / e
```

Line1:

```

d0 = d1
lvt = 100 * Sqr(nt / d0) * kf * T
svt = lvt * a
asst = spft + sevt + sstt + svt
ces = 1500 / asst
d1 = i * ces * (10000) / e

```

*If Abs(d0 - d1) > 0.001 Then GoTo Line1*

```

lvt = 100 * Sqr(nt / d1) * kf * T
svt = lvt * a
asst = spft + sevt + sstt + svt
ces = 1500 / asst
d = d1

```

*Print #1, i, nt, d, ces, asst, kf, lvt, svt, lvt / nt*

*Next i ' Quitte la boucle externe*

```

Print #1, "          "
Print #1, " i          cfn          ccn          cvn          ctn          cmn
copt "

```

*For i = 1 To MyValue1 Step 1*

```

d0 = 100

eb = longb * largb
e = eb / X
nb = X * i
sstb = sst * nb * kv
sevb = sev * nb * Y
nt = m * nb
sstt = m * sstb
sevt = m * sevb
et = m * eb
a = 5 + 3 * Sqr(i)
lo = 3.5 - (2.7 / i)
spfb = (longb + 2 * lo) * (largb + 2 * lo)
spft = m * spfb
dmin = 2 * lo + sevt / (3 * (longb + 2 * lo))
largt = 2 * (largb + lo) + dmin + a
longt = (m / 2) * (longb + 2 * lo) + a + sstt / largt
k = longt / largt
kf = Sqr(k) + 1 / Sqr(k)
lvt = 100 * Sqr(nt / d0) * kf * T
svt = lvt * a
asst = spft + sevt + sstt + svt
ces = 1500 / asst
d1 = i * ces * (10000) / e

```

Line2:

$d0 = d1$   
 $lvt = 100 * \text{Sqr}(nt / d0) * kf * T$   
 $svt = lvt * a$   
 $asst = spft + sevt + sstt + svt$   
 $ces = 1500 / asst$   
 $d1 = i * ces * (10000) / e$

If Abs(d0 - d1) > 0.001 Then GoTo Line2

$lvt = 100 * \text{Sqr}(nt / d1) * kf * T$   
 $svt = lvt * a$   
 $asst = spft + sevt + sstt + svt$   
 $ces = 1500 / asst$

$d = d1$

$cfn = Cf * asst / nt$   
 $ccn = cc * (1 - dcc + i * dcc) * e$   
 $cvn = (\alpha * \beta * cc * e) / (3 * (i + 1))$   
 $ctn = cfn + ccn + cvn$

If i > 1 Then cm1 = cm2

$tableau(i) = ctn$   
 $cm2 = tableau(i)$

For j = 1 To (i - 1)  
 $cm2 = cm2 + tableau(j)$   
Next j

$cm2 = cm2 / i$   
 $cmn = cm2$

If ((cm1 > cm2) Or (i <= 1)) Then copt = cm2 Else: copt = " Stop"

Print #1, i, cfn, ccn, cvn, ctn, cmn, copt

Next i ' Quitte la boucle externe

Message1 = "Calculs réussis et merci d'avoir utilisé notre Logiciel Urban\_Design"  
Response = MsgBox(Message1)

Print #1, '

Close #1  
End Sub

```
Private Sub Command2_Click()  
Form9.Show  
Form10.Hide
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command3_Click()  
Form0.Show  
Form1.Hide  
Form2.Hide  
Form3.Hide  
Form4.Hide  
Form5.Hide  
Form6.Hide  
Form7.Hide  
Form8.Hide  
Form9.Hide  
Form10.Hide
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command4_Click()  
    Message = "Merçi d'avoir utilisé notre Logiciel 'Urban Design' "  
    Response = MsgBox(Message)  
End  
End Sub
```

### • Programm11

```
Private Sub command1_Click()
```

```
    Const sst = 20  
    Const dcc = 0.06  
    tableau = Array(1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20)
```

```
Open "Densif" For Output Shared As #1
```

```
    Dim Message1, Title, Default, Response, Msg As Variant  
    Dim i, n, j, nb, nt, MyValue1 As Integer
```

```
    Dim ces, longt, largt, k, kf, T, e, eb, et, a, assb, asst, d0, d1, d, sevb, sevt, dmin, lo, spfb, spft,  
svt, sstb, sstt, lvt, MyValue As Variant
```

```
    Dim cfn, ccn, cvn, ctn, cmn, cm1, cm2 As Variant  
    Dim copt As Variant
```

```
    Print #1, "-----"
```

```
    Print #1, " Determination des caracteristiques urbanistiques et geometriques de la trame"
```

```
    Print #1, "                    Cas general avec contraintes des couts "
```

```
Print #1, " sev=5.5 m2/hab, kv=1 vehicule/log, sst=20 m2/vehicule "
Print #1, '
Print #1, '
```

```
Print #1, "legende:"
Print #1, " n: nombre de niveaux, "
Print #1, " nt: nombre total de logements dans la trame, "
Print #1, " d: densit, logements, "
Print #1, " ces: coefficient emprise au sol, "
Print #1, " asst: assiette de la trame, "
Print #1, " kf: coefficient de la forme, "
Print #1, " lvt: longueur voirie de la trame, "
Print #1, " svt: surface voirie de la trame, "
Print #1, " db: distance entre batiments, "
Print #1, " cc: cout construction du M2 rez de chaussee "
Print #1, " cf: cout d'acquisition du M2 foncier "
Print #1, " Alpha: coefficient exprimant la caracteristique topographique du site "
Print #1, " beta: coefficient exprimant la caracteristique durete du sol "
```

```
Print #1, '
Print #1, '
```

```
Print #1, " n          nt          d          ces          asst          kf
lvt          svt          lvt/nt";
Print #1, '
```

```
MyValue1 = InputBox("Introduire le nombre de niveaux n: 1<n<20 ")
MyValue2 = InputBox("Introduire la taille 1<T<=2 ; 1 trame : T=2,0 ; 2 trames :
T=1,95 ; 3 trames : T=1,90 ; 4 trames : T=1,85 ;
5 trames : T=1,80 ; 6 trames : T=1,75 ; 7 trames :
T=1,70 ; 8 trames : T=1,65 ; 9 trames : T=1,50 ; 10
trames : T=1,45 ;")
```

```
MyValue3 = InputBox("Introduire la longueur du bâtiment longb ")
MyValue4 = InputBox("Introduire la largeur du bâtiment largb ")
MyValue5 = InputBox("Introduire le nombre d'habitant/logement: y ")
MyValue6 = InputBox("Introduire le nombre d'appartements/Niveau: 1<=x<4 ")
MyValue7 = InputBox("Introduire la surface espace vert/habitant: 3,5<=Sev<5,5 ")
MyValue8 = InputBox("Introduire le nombre de bâtiments : 4<=m<10 ")
MyValue9 = InputBox("Introduire le nombre de véhicules/logement: 0,5<=kv<1 ")
MyValue10 = InputBox("Introduire le cout construction du M2 rez de chaussee cc ")
MyValue11 = InputBox("Introduire le cout d'acquisition du M2 foncier cf ")
MyValue12 = InputBox("Introduire le coefficient Alpha ")
MyValue13 = InputBox("Introduire le coefficient Beta ")
```

```
n = i
T = MyValue2
longb = MyValue3
largb = MyValue4
Y = MyValue5
X = MyValue6
```

```

sev = MyValue7
m = MyValue8
kv = MyValue9
cc = MyValue10
Cf = MyValue11
alpha = MyValue12
beta = MyValue13

```

For i = 1 To MyValue1 Step 1

```

d0 = 100

eb = longb * largb
e = eb / X
nb = X * i
sstb = sst * nb * kv
sevb = sev * nb * Y
nt = m * nb
sstt = m * sstb
sevt = m * sevb
et = m * eb
a = 5 + 3 * Sqr(i)
lo = 3.5 - (2.7 / i)
spfb = (longb + 2 * lo) * (largb + 2 * lo)
spft = m * spfb
dmin = 2 * lo + sevt / (3 * (longb + 2 * lo))
largt = 2 * (largb + lo) + dmin + a
longt = (m / 2) * (longb + 2 * lo) + a + sstt / largt
k = longt / largt
kf = Sqr(k) + 1 / Sqr(k)
lvt = 100 * Sqr(nt / d0) * kf * T
svt = lvt * a
asst = spft + sevt + sstt + svt
ces = 1500 / asst
d1 = i * ces * (10000) / e

```

Line1:

```

d0 = d1
lvt = 100 * Sqr(nt / d0) * kf * T
svt = lvt * a
asst = spft + sevt + sstt + svt
ces = 1500 / asst
d1 = i * ces * (10000) / e

```

If Abs(d0 - d1) > 0.001 Then GoTo Line1

```

lvt = 100 * Sqr(nt / d1) * kf * T
svt = lvt * a
asst = spft + sevt + sstt + svt

```

*ces = 1500 / asst*

*d = d1*

*Print #1, i, nt, d, ces, asst, kf, lvt, svt, lvt / nt*

*Next i ' Quitte la boucle externe*

*Print #1, " "*

*Print #1, " i cfn ccn cvn ctn cmn*  
*copt "*

*For i = 1 To MyValue1 Step 1*

*d0 = 100*

*eb = longb \* largb*

*e = eb / X*

*nb = X \* i*

*sstb = sst \* nb \* kv*

*sevb = sev \* nb \* Y*

*nt = m \* nb*

*sstt = m \* sstb*

*sevt = m \* sevb*

*et = m \* eb*

*a = 5 + 3 \* Sqr(i)*

*lo = 3.5 - (2.7 / i)*

*spfb = (longb + 2 \* lo) \* (largb + 2 \* lo)*

*spft = m \* spfb*

*dmin = 2 \* lo + sevt / (3 \* (longb + 2 \* lo))*

*largt = 2 \* (largb + lo) + dmin + a*

*longt = (m / 2) \* (longb + 2 \* lo) + a + sstt / largt*

*k = longt / largt*

*kf = Sqr(k) + 1 / Sqr(k)*

*lvt = 100 \* Sqr(nt / d0) \* kf \* T*

*svt = lvt \* a*

*asst = spft + sevt + sstt + svt*

*ces = 1500 / asst*

*d1 = i \* ces \* (10000) / e*

*Line2:*

*d0 = d1*

*lvt = 100 \* Sqr(nt / d0) \* kf \* T*

*svt = lvt \* a*

*asst = spft + sevt + sstt + svt*

*ces = 1500 / asst*

*d1 = i \* ces \* (10000) / e*

*If Abs(d0 - d1) > 0.001 Then GoTo Line2*

```

lvt = 100 * Sqr(nt / d1) * kf * T
svt = lvt * a
asst = spft + sevt + sstt + svt
ces = 1500 / asst

d = d1

cfn = Cf * asst / nt
ccn = cc * (1 - dcc + i * dcc) * e
cvn = (alpha * beta * cc * e) / (3 * (i + 1))
ctn = cfn + ccn + cvn

If i > 1 Then cm1 = cm2

tableau(i) = ctn
cm2 = tableau(i)

For j = 1 To (i - 1)
    cm2 = cm2 + tableau(j)
Next j

cm2 = cm2 / i
cmn = cm2

If ((cm1 > cm2) Or (i <= 1)) Then copt = cm2 Else: copt = " Stop"

Print #1, i, cfn, ccn, cvn, ctn, cmn, copt

Next i ' Quitte la boucle externe

Message1 = "Calculs réussis et merci d'avoir utilisé notre Logiciel Urban_Densif"
Response = MsgBox(Message1)

Print #1, '

Close #1
End Sub

Private Sub Command2_Click()
Form10.Show
Form11.Hide

End Sub

Private Sub Command3_Click()
Form0.Show
Form1.Hide
Form2.Hide
Form3.Hide
Form4.Hide

```

```
Form5.Hide
Form6.Hide
Form7.Hide
Form8.Hide
Form9.Hide
Form10.Hide
Form11.Hide
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command4_Click()
    Message = "Merçi d'avoir utilisé notre Logiciel 'Urban Design' "
    Response = MsgBox(Message)
End
End Sub
```

- **Programme12**

```
Private Sub command1_Click()
    Message = "Merçi d'avoir utilisé notre Logiciel 'Urban Design' "
    Response = MsgBox(Message)
End
End Sub
```

```
Private Sub Command2_Click()
Form12.Hide
Form0.Show

End Sub
```

```
Private Sub Option1_Click()
Form15.Show
Form12.Hide

Option1 = False

End Sub
```

```
Private Sub Option2_Click()
Form14.Show
Form12.Hide
Option2 = False

End Sub
```

```
Private Sub Option3_Click()
Form16.Show
Form12.Hide
```

*Option3 = False*

*End Sub*

*Private Sub Option4\_Click()*

*Form13.Show*

*Form12.Hide*

*Option4 = False*

*End Sub*

### • **Programme13**

*Private Sub command1\_Click()*

*Message = "Merçi d'avoir utilisé notre Logiciel 'Urban Design' "*

*Response = MsgBox(Message)*

*End*

*End Sub*

*Private Sub Command2\_Click()*

*Form12.Show*

*Form13.Hide*

*End Sub*

*Private Sub Command3\_Click()*

*Form0.Show*

*Form13.Hide*

*End Sub*

*Private Sub Option1\_Click()*

*Dim n As Integer*

*Dim Y As Variant*

*MyValue1 = InputBox("introduire le nombre de niveaux n: 1<n<20")*

*p = 1*

*Gama = 2*

*fi = (3.14 / 180) \* 60*

*distance = (p \* MyValue1) / (Gama \* fi)*

*Text1.Text = distance*

*Option1 = False*

*End Sub*

*Private Sub Option2\_Click()*

*MyValue1 = InputBox("introduire le nombre de niveaux n: 1<n<20")*

```

p = 0.8
Gama = 1.55
fi = (3.14 / 180) * 35
distance = (p * MyValue1) / (Gama * fi)
Text2.Text = distance
Option2 = False

```

End Sub

```

Private Sub Option3_Click()
MyValue1 = InputBox("introduire le nombre de niveaux n: 1<n<20")
p = 0.8
Gama = 1.8
fi = (3.14 / 180) * 45
distance = (p * MyValue1) / (Gama * fi)
Text3.Text = distance
Option1 = False

```

End Sub

```

Private Sub Option4_Click()
Dim n As Integer
Dim Y As Variant

```

```

MyValue1 = InputBox("introduire le nombre de niveaux n: 1<n<20")
MyValue2 = InputBox("introduire la valeur gama masse volumique du sol (T/m3): ")
MyValue3 = InputBox("introduire la valeur fi de l'angle de repos naturel du talus en degrès: ")
p = 0.8

```

```

distance = (p * MyValue1) / (MyValue2 * (Tan(3.14 / 180) * MyValue3))
Text4.Text = distance
Option1 = False

```

End Sub

#### • Programme14

```

Private Sub command1_Click()
Form13.Show
Form14.Hide

```

End Sub

```

Private Sub Command2_Click()
Form0.Show
Form14.Hide

```

End Sub

*Private Sub Command3\_Click()*

*'Coût du m2 foncier:Cof*  
*'Coût du m3 deblais:Cod*  
*'Coût du m2 espace vert:Coev*

*Dim Cof, Cod, Coev, Cf, Cd, Cev, Ct, H As Variant*

*MyValue1 = InputBox("introduire le coût du M3 déblai Cod ")*  
*MyValue2 = InputBox("introduire le coût du M2 foncier Cof ")*  
*MyValue3 = InputBox("introduire le cout du M2 espace vert Coev ")*  
*MyValue4 = InputBox("introduire la hauteur du talus: H ")*  
*MyValue5 = InputBox("Introduire la valeur de l'angle de repos du talus fi ")*

*Cor = MyValue1*  
*Cof = MyValue2*  
*Coev = MyValue3*  
*H = MyValue4*  
*fi = MyValue5*

*'Coût du mL foncier:Cf*  
*Cf = Cof \* (H / Tan((3.14 / 180) \* fi))*

*'Coût du mL deblais:Cd*

*Cd = Cor \* (H \* H / 2) \* Tan((3.14 / 180) \* fi)*

*'Coût du mL espace vert:Cev*  
*Cev = Coev \* (H / Tan((3.14 / 180) \* fi))*

*'Coût du mL talus:Ct*  
*Ct = Cf + Cd + Cev*

*Text1.Text = Cd*  
*Text2.Text = Cf*  
*Text3.Text = Cev*  
*Text4.Text = Ct*

*End Sub*

*Private Sub Command4\_Click()*

*Message = "Merci d'avoir utilisé notre Logiciel 'Urban Design' "*  
*Response = MsgBox(Message)*

*End*  
*End Sub*

• **Programm15**

```
Private Sub command1_Click()  
Form14.Show  
Form15.Hide
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command2_Click()  
Form0.Show  
Form15.Hide
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command3_Click()
```

```
'Cod : Coût du mètre cube déblai,  
'Cor: Coût du mètre cube remblai drainé,  
'Coba : Coût du mètre cube béton armé,  
'Cd : Coût du ml cube déblai,  
'Cr: Coût du ml cube remblai drainé,  
'Vba : Coût du ml béton armé,
```

```
Dim Cod, Cor, Coba, Cd, Cr, Cba, H As Variant
```

```
MyValue1 = InputBox("introduire le coût du M3 déblai Cod ")  
MyValue2 = InputBox("introduire le coût du M3 remblai drainé Cof ")  
MyValue3 = InputBox("introduire le cout du M3 béton armé Cba ")  
MyValue4 = InputBox("introduire la hauteur du talus: H ")  
MyValue5 = InputBox("Introduire la valeur de l'angle de repos du talus fi ")
```

```
Cod = MyValue1  
Cor = MyValue2  
Coba = MyValue3  
H = MyValue4  
fi = MyValue5
```

```
'Cd: Coût du mL déblais  
Cd = Cod * (H * H / 2) * Tan((3.14 / 180) * fi)
```

```
'Cba : Coût du ml béton armé  
Cba = Coba * (0.085 * H * H + 0.145 * H - 0.01475)
```

```
'Cba : Coût du ml remblai drainé  
Cr = Cor * 0.3 * (H * H) * H
```

```
'Cms: Cout du ml mur de soutènement  
Cms = Cd + Cr + Cba
```

```
Text1.Text = Cd  
Text2.Text = Cba
```

```
Text3.Text = Cr  
Text4.Text = Cms
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command4_Click()  
    Message = "Merçi d'avoir utilisé notre Logiciel 'Urban Design' "  
    Response = MsgBox(Message)  
End  
End Sub
```

### • Programme16

```
Private Sub command1_Click()  
Form15.Show  
Form16.Hide
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command2_Click()  
Form0.Show  
Form16.Hide
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command3_Click()
```

```
'Cod : Coût du mètre cube déblai,  
'Cor: Coût du mètre cube remblai drainé,  
'Cof: Coût du mètre carré foncier,  
'Coev: Coût du ml espace vert,  
'Coba : Coût du mètre cube béton armé,  
'Cd : Coût du ml déblai,  
'Cr: Coût du ml cube remblai drainé,  
'Vba : Coût du ml béton armé,  
'Cf: Cout du foncier relatif au ml talus
```

```
Dim Cod, Cor, Cof, Coev, Coba, Cd, Cr, Cba, H, fi As Variant
```

```
MyValue1 = InputBox("introduire le coût du M3 déblai Cod ")  
MyValue2 = InputBox("introduire le coût du M3 remblai drainé Cor ")  
MyValue3 = InputBox("Introduire le coût du m2 foncier Cof ")  
MyValue4 = InputBox("Introduire le coût du m2 espace vert Coev ")  
MyValue5 = InputBox("introduire le cout du M3 béton armé Cba ")  
MyValue6 = InputBox("introduire la hauteur du talus: H ")  
MyValue7 = InputBox("Introduire la valeur de l'angle de repos du talus fi ")
```

```
Cod = MyValue1
```

```
Cor = MyValue2
Cof = MyValue3
Coev = MyValue4
Coba = MyValue5
H = MyValue6
fi = MyValue7
```

```
'Cf: Coût du mL foncier
Cf = Cof * (H / Tan((3.14 / 180) * fi))
```

```
'Cd: Coût du mL déblais
Cd = Cor * (H * H / 2) * Tan((3.14 / 180) * fi)
```

```
'Cev: Coût du mL espace vert
Cev = Coev * (H / Tan((3.14 / 180) * fi))
```

```
'Ct: Coût du mL talus
Ct = Cf + Cd + Cev
```

```
'Cd: Coût du mL déblais
Cd = Cod * (H * H / 2) * Tan((3.14 / 180) * fi)
```

```
'Cba : Coût du ml béton armé
Cba = Coba * (0.085 * H * H + 0.145 * H - 0.01475)
```

```
'Cba : Coût du ml remblai drainé
Cr = Cor * 0.3 * (H * H) * H
```

```
'Cms: Coût du ml mur de soutènement
Cms = Cd + Cr + Cba
```

```
Text1.Text = Ct
Text2.Text = Cms
```

```
Text3.Text = Choix
If Ct >= Cms Then Choix = "Choisir mur de soutènement" Else: Choix = "Choisir talus"
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command4_Click()
Message = "Merçi d'avoir utilisé notre Logiciel 'Urban Design' "
Response = MsgBox(Message)
End
```

```
End Sub
```

- **Programme17**

```
Private Sub Text1_Change()
```

*End Sub*

*Private Sub Frame1\_DragDrop(Source As Control, X As Single, Y As Single)*

*End Sub*

*Private Sub Image1\_Click()*

*End Sub*

*Private Sub command1\_Click()*

*End*

*End Sub*

*Private Sub Command2\_Click()*

*Form0.Show*

*Form17.Hide*

*End Sub*

## CHAPITRE XIII

### Exemple d'études de la densification d'une trame plane orthogonale

Dans ce chapitre, nous proposons d'illustrer notre modèle avancé par un exemple de densification. L'exemple retenu est une trame plane orthogonale composée de six blocs disposés en deux rangées chacune formée par trois blocs. Les blocs sont identiques et dans chaque niveau nous trouvons deux appartements d'une surface brute plancher de  $112,5 \text{ m}^2$  (sans cage d'escalier), tandis que l'emprise d'un appartement est de  $125 \text{ m}^2$ . Dans chaque appartement, il est prévu six personnes pour y vivre.

#### XIII-1/ Présentation du schéma de l'exemple

La **Figure XIII-1** suivante illustre l'exemple d'une trame plane orthogonale que nous allons étudier.

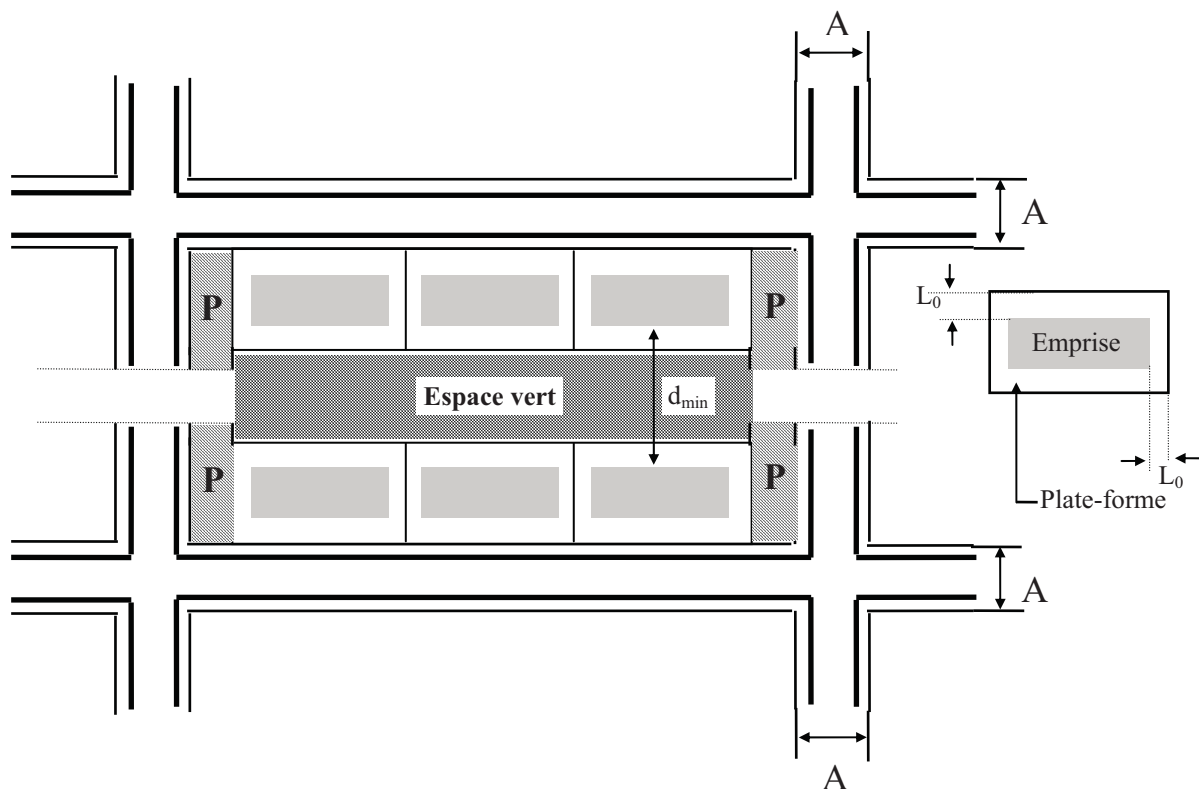


Figure XIII-1 : Schéma de l'exemple de la trame plane orthogonale à étudier.

#### Données :

- $e = 125 \text{ m}^2$  : emprise pour un logement  
 $A = 5 + 3\sqrt{n}$  : Largeur voirie avec trottoir:  
 $1 \times L = 10 \times 25 = 250 \text{ m}^2$  : dimensions bâtiment

$L_0 = 3,5 - 2,7/n$  : surlargeur plateforme batiment  
 $E = 250 \text{ m}^2$  : emprise pour 1 batiment  
 $k_v = 0,75$  : vehicule/logement  
 $s_{ev} = 5 \text{ m}^2/\text{habitant}$  : espace vert  
 $s_{st} = 20 \text{ m}^2/\text{vehicule}$  : stationnement avec zone de manoeuvre  
 $x = 2$  : nombre de logement par niveau  
 $y = 6$  : nombre d'habitants par logement  
 $m = 6$  : nombre de batiments par trame  
 $N = 2n$  : nombre de logements par batiment  
 $N_T = x.m.n = 12n$  : nombre de logements par trame  
 $s_{pf} = (L + 2 L_0) (1 + 2 L_0)$  : surface d'une plate forme

$E_T = 6 \times 250 = 1500 \text{ m}^2$  : Surface emprise totale  
 $S_{st} = 20 \times 0,75 \cdot 12n = 180n$  : Surface totale stationnement  
 $S_{ev} = 5 \times 12n \cdot y = 360n$  : Surface totale espace vert  
 $S_{pfT} = 6(L + 2 L_0)(1 + 2L_0)$  : Surface totale plate formes

Longueure totale voirie pour une trame :  $SLV_T = 100 \sqrt{\frac{N_T}{d}} K_f * T$

Coefficient de la forme :  $K_f = \sqrt{k} + \frac{k}{\sqrt{k}}$

Rapport longueu/larger de la trame:  $k = L/l$

• Surface totale voirie pour une trame :  $SV_T = 100 \sqrt{\frac{N_T}{d}} K_f * T * A$

\* Assiette totale trame.  $ASS = S_{pfT} + S_{st} + S_{ev} + SV_T$

$L_T = 3(25 + 2L_0) + A + S_{st} / I_T$

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

$d_{min} = 2 L_0 + S_{evT}/3 (25 + 2L_0)$

### XIII-2/ Exemple sans contraintes :

Prédimensionnement pour  $T = 1$ , puis  $T = 1,25$  et enfin  $T = 1,5$

$$\left\{ \begin{array}{l} CES = \frac{E_T}{ASS} = \frac{1500}{ASS} \\ d = \frac{n \cdot CES}{e} = \frac{n \cdot CES}{125} = 10000 \end{array} \right.$$

Nous fixons  $n$ , nous introduisons une valeur arbitraire  $d_0$  donnant C.E.S<sub>1</sub> et  $d_1$ , puis nous introduisons  $d_1$  qui nous donne C.E.S<sub>2</sub> et  $d_2$ , le calcul continu jusqu'à  $|d_i - d_{(i-1)}| \leq 0,01$ . Dans ce cas  $d_i = d_{(i-1)}$ . Et nous déterminons les autres caractéristiques avec le C.E.S et la densité trouvés.

### XIII-3/ Exemple avec contraintes des coûts et optimisation :

Dans ce cas, nous reprenons l'exemple précédent du sous chapitre XIII-1 et nous introduisons les valeurs des coûts et la valeur  $n_{opt}$ . La valeur  $n_{opt}$  est déterminée par le coût moyen le plus petit des différentes tranches de niveaux.

$$C_m(n) = [C_T(1) + C_T(2) + \dots + C_T(n)] / n = \left( \sum_{i=1}^n C_T(i) \right) \frac{1}{n} \quad (12-15)$$

$$C_m(opt) = \min[C(1); C(2); C(3); \dots; C(n)] \quad (13-16)$$

$$C_m(n) = \left( \sum_{i=1}^n C_T(i) \right) \frac{1}{n} \quad (13-17)$$

$$C_T(n) = C_f(n) + C_c(n) + C_v(n)$$

$$C_f(n) = C_f \frac{\text{ass}}{x} \frac{1}{n}$$

$$C_c(n) = c_c(1)(1 - \Delta C + n \Delta C) \cdot e$$

$$C_v(n) = \alpha \cdot \beta \cdot e \cdot c_v(n) \cdot C_c(1) = \alpha \cdot \beta \cdot e \cdot C_c(1) \frac{1}{3(n+1)}$$

$$c_f = 1000 \text{ DA/m}^2$$

$$\alpha = 1,2$$

$$\beta = 1,10$$

$$c_c(1) = 15000 \text{ DA/m}^2$$

$$\Delta C = 6\%$$

### XIII-4 / Graphes de l'exemple sans contraintes

n	T=1	T=1,25	T=1,5
1	0,4362	0,3989	0,3651
2	0,2991	0,2754	0,2539
3	0,2468	0,2276	0,2100
4	0,2147	0,1980	0,1828
5	0,1915	0,1767	0,1632
6	0,1736	0,1603	0,1480
7	0,1592	0,1469	0,1357
8	0,1471	0,1359	0,1255
9	0,1369	0,1265	0,1169
10	0,1281	0,1184	0,1094
11	0,1204	0,1113	0,1029
12	0,1136	0,1050	0,0972
13	0,1076	0,0995	0,0921
14	0,1022	0,0945	0,0875
15	0,0973	0,0900	0,0833
16	0,0929	0,0859	0,0796
17	0,0888	0,0822	0,0762
18	0,0851	0,0788	0,0730
19	0,0817	0,0757	0,0701
20	0,0786	0,0728	0,0675

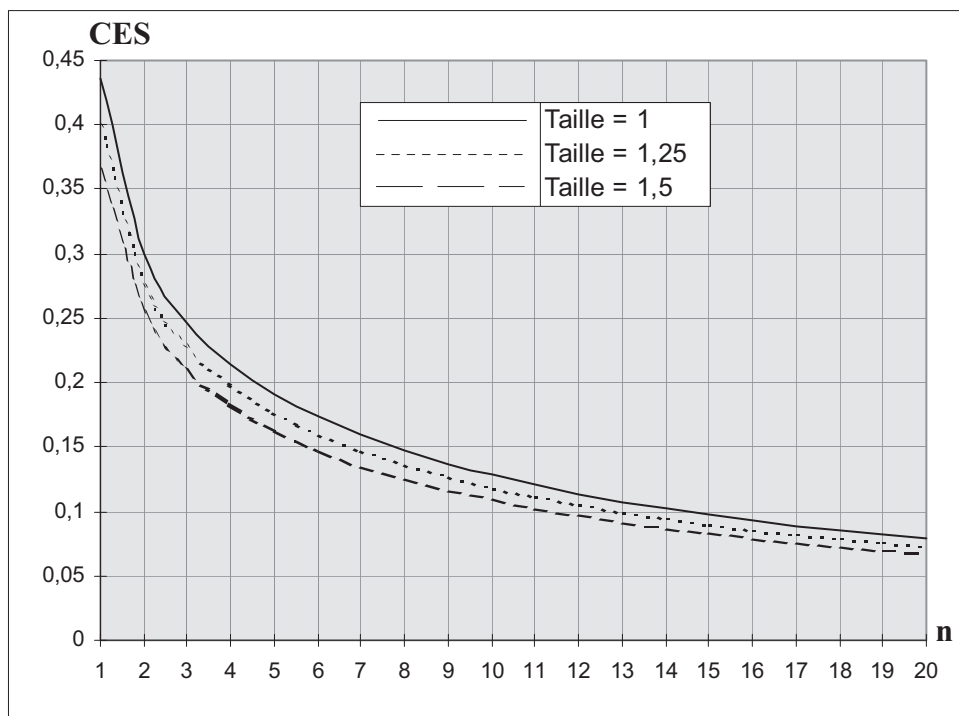


Figure XIII-2 : Coefficient d'emprise (CES) en fonction du nombre de niveaux n . Cas sans contraintes.

n	T=1	T=1,25	T=1,5
1	34,8971	31,9123	29,2093
2	47,8483	44,0697	40,6181
3	59,2442	54,6252	50,4012
4	68,7004	63,3703	58,4931
5	76,6206	70,6971	65,2748
6	83,3451	76,9242	71,0441
7	89,1269	82,2867	76,0171
8	94,1530	86,9531	80,3520
9	98,5644	91,0538	84,1665
10	102,4661	94,6869	87,5503
11	105,9451	97,9299	90,5748
12	109,0645	100,8387	93,2911
13	111,8776	103,4664	95,7453
14	114,4270	105,8495	97,9733
15	116,7477	108,0204	100,0036
16	118,8686	110,0056	101,8629
17	120,8139	111,8274	103,5692
18	122,6039	113,5044	105,1406
19	124,2560	115,0526	106,5917
20	125,7849	116,4874	107,9351

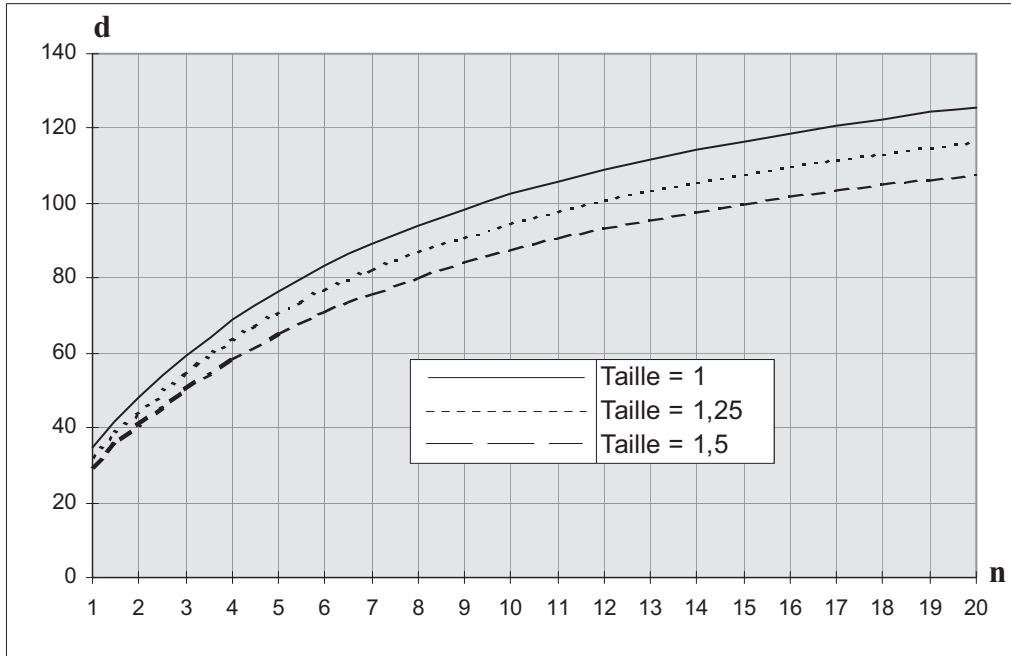


Figure XIII-3 : Densité (d) en fonction du nombre de niveaux n. Cas sans contraintes.

n	T=1	T=1,25	T=1,5
1	130,9189	171,1307	214,6486
2	153,8451	200,3811	250,4659
3	166,9688	217,3561	271,5370
4	177,1759	230,5959	288,0203
5	185,9721	242,0081	302,2313
6	193,9173	252,3105	315,0534
7	201,2821	261,8513	326,9227
8	208,2202	270,8368	338,0906
9	214,8282	279,3910	348,7170
10	221,1743	287,6005	358,9114
11	227,3017	295,5258	368,7489
12	233,2487	303,2197	378,2964
13	239,0416	310,7101	387,5945
14	244,7018	318,0293	396,6786
15	250,2464	325,1990	405,5790
16	255,6895	332,2379	414,3141
17	261,0428	339,1611	422,9080
18	266,3159	345,9815	431,3753
19	271,5171	352,7099	439,7294
20	276,6536	359,3529	447,9819

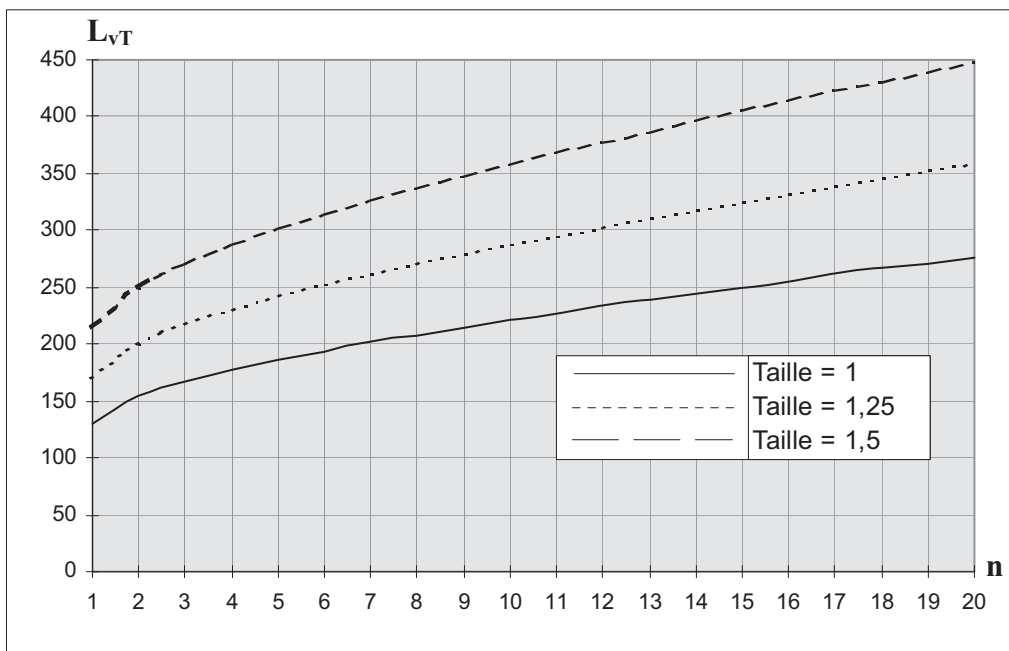


Figure XIII-4 : Longueur voirie totale ( $L_{vT}$ ) en fonction du nombre de niveaux  $n$ .  
Cas sans contraintes.

n	T=1	T=1,25	T=1,5
1	10,91	14,26	17,89
2	06,41	08,35	10,44
3	04,64	06,04	07,54
4	03,69	04,80	06,00
5	03,10	04,03	05,04
6	02,69	03,50	04,38
7	02,40	03,12	03,89
8	02,17	02,82	03,52
9	01,99	02,59	03,23
10	01,84	02,40	02,99
11	01,72	02,24	02,79
12	01,62	02,11	02,63
13	01,53	01,99	02,48
14	01,46	01,89	02,36
15	01,39	01,81	02,25
16	01,33	01,73	02,16
17	01,28	01,66	02,07
18	01,23	01,60	02,00
19	01,19	01,55	01,93
20	01,15	01,50	01,87

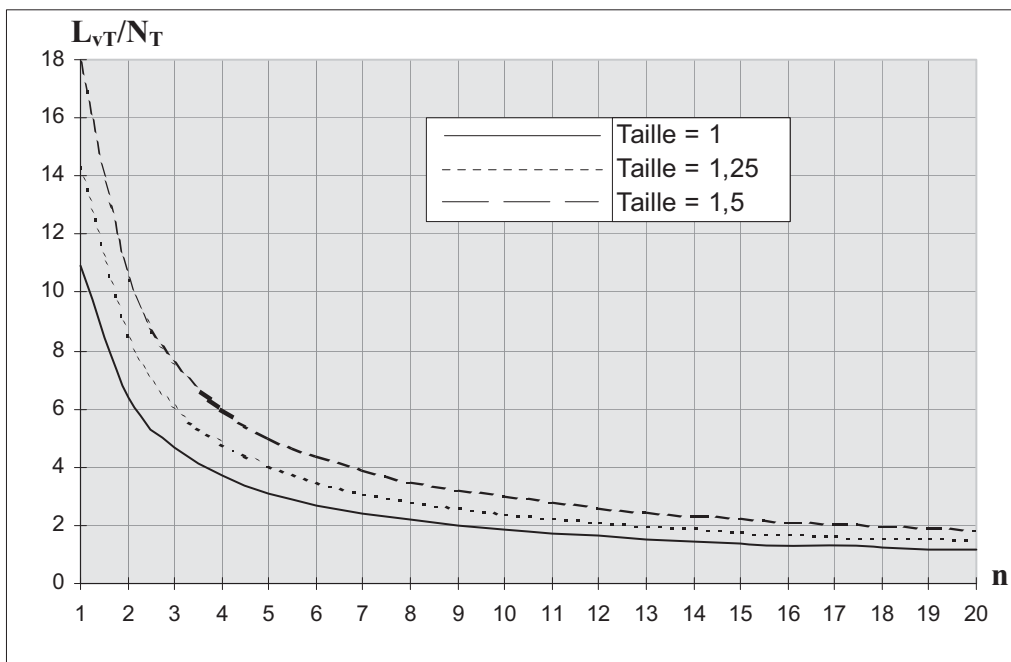


Figure XIII - 5 : Ratio longueur voirie totale ( $L_{vT}$ ) / Nombre total de logements ( $N_T$ ) en fonction du nombre de niveaux  $n$ . Cas sans contraintes.

n	T=1	T=1,25	T=1,5
1	03438,71	03760,41	04108,55
2	05015,87	05445,99	05908,91
3	06076,68	06590,44	07142,87
4	06986,97	07574,59	08206,26
5	07830,88	08486,96	09192,06
6	08638,84	09359,91	10134,69
7	09424,81	10208,41	11050,25
8	10196,19	11040,59	11947,53
9	10957,36	11861,23	12831,80
10	11711,10	12673,41	13706,48
11	12459,25	13479,19	14573,87
12	13203,15	14280,17	15435,77
13	13943,75	15077,31	16293,36
14	14681,77	15871,51	17147,59
15	15417,77	16663,40	17999,24
16	16152,18	17453,50	18848,80
17	16885,35	18242,21	19696,84
18	17617,57	19029,87	20543,73
19	18349,06	19816,76	21389,78
20	19080,02	20603,05	22235,27

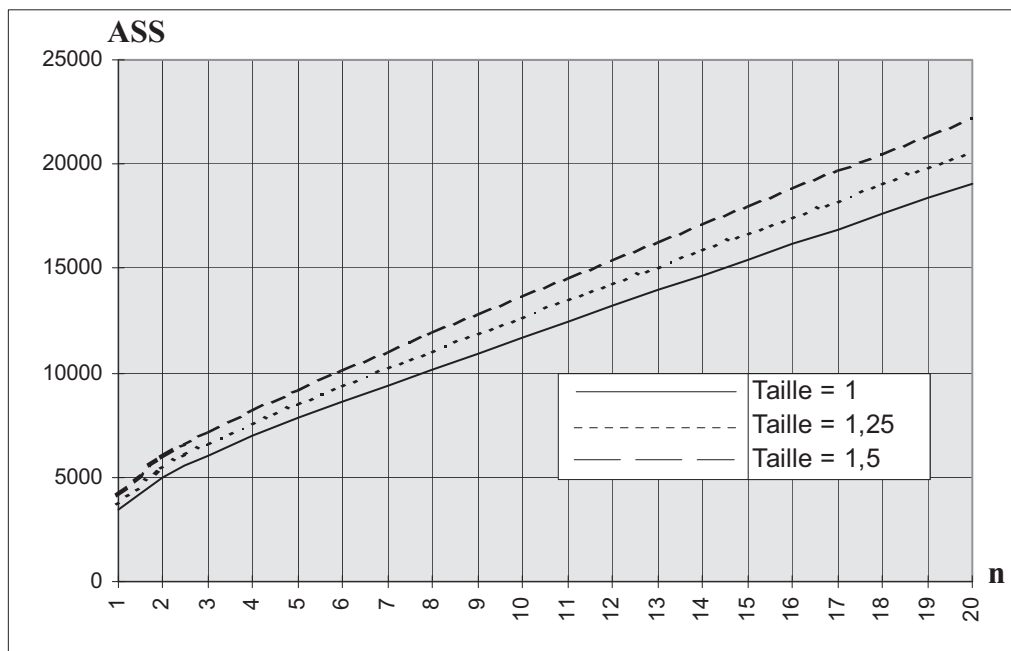
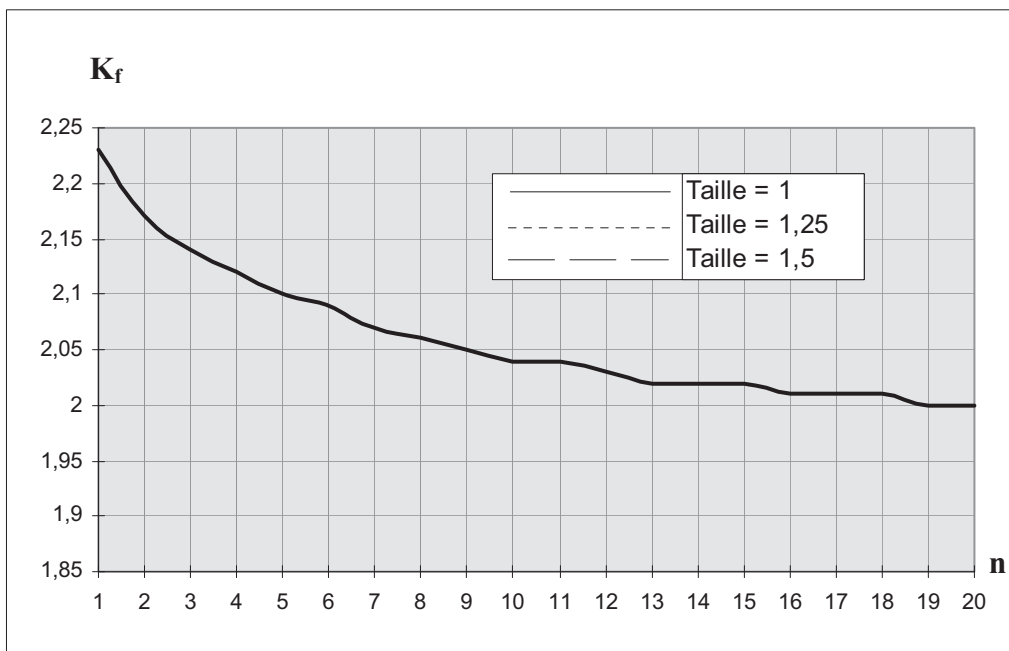


Figure XIII-6 : Assiette de la trame (ASS) en fonction du nombre de niveaux n. Cas sans contraintes.

n	T=1	T=1,25	T=1,5
1	2,23	2,23	2,23
2	2,17	2,17	2,17
3	2,14	2,14	2,14
4	2,12	2,12	2,12
5	2,10	2,10	2,10
6	2,09	2,09	2,09
7	2,07	2,07	2,07
8	2,06	2,06	2,06
9	2,05	2,05	2,05
10	2,04	2,04	2,04
11	2,04	2,04	2,04
12	2,03	2,03	2,03
13	2,02	2,02	2,02
14	2,02	2,02	2,02
15	2,02	2,02	2,02
16	2,01	2,01	2,01
17	2,01	2,01	2,01
18	2,01	2,01	2,01
19	2,00	2,00	2,00
20	2,00	2,00	2,00



**Figure XIII-7** : Coefficient de la forme de la trame ( $K_f$ ) en fonction du nombre de niveaux  $n$ . Cas sans contraintes.

n	T=1	T=1,25	T=1,5
1	30,46	36,41	41,80
2	28,35	34,01	39,18
3	28,02	33,63	38,76
4	27,89	33,49	38,61
5	27,81	33,39	38,50
6	27,72	33,29	38,39
7	27,63	33,18	38,27
8	27,54	33,08	38,16
9	27,45	32,98	38,05
10	27,36	32,88	37,93
11	27,27	32,78	37,83
12	27,19	32,68	37,72
13	27,11	32,59	37,63
14	27,04	32,51	37,53
15	26,97	32,43	37,45
16	26,91	32,36	37,37
17	26,85	32,29	37,29
18	26,80	32,23	37,22
19	26,75	32,17	37,16
20	26,70	32,12	37,10

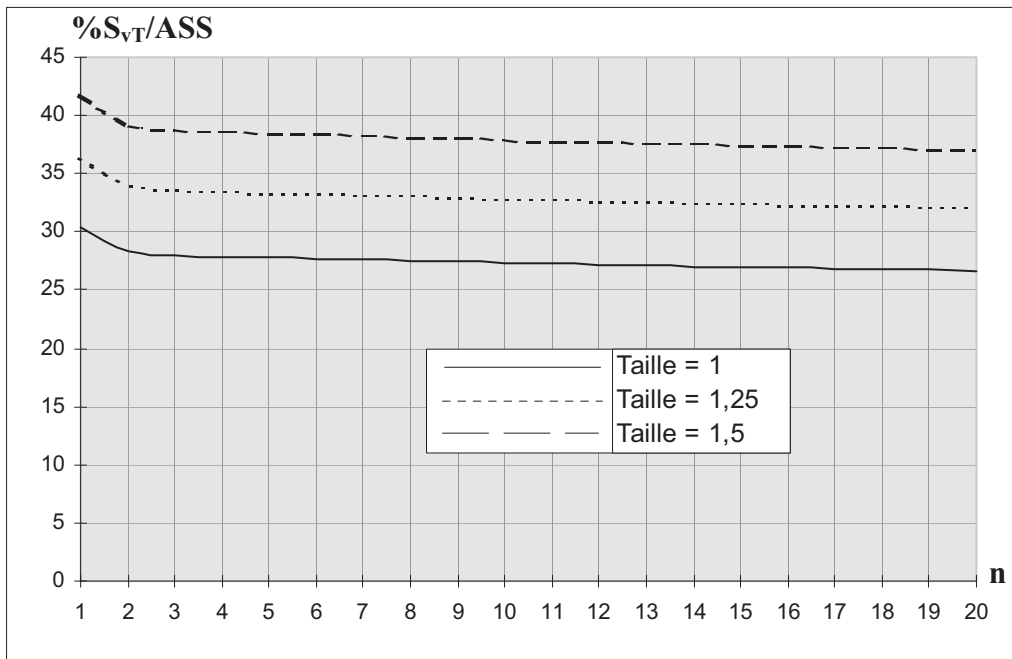
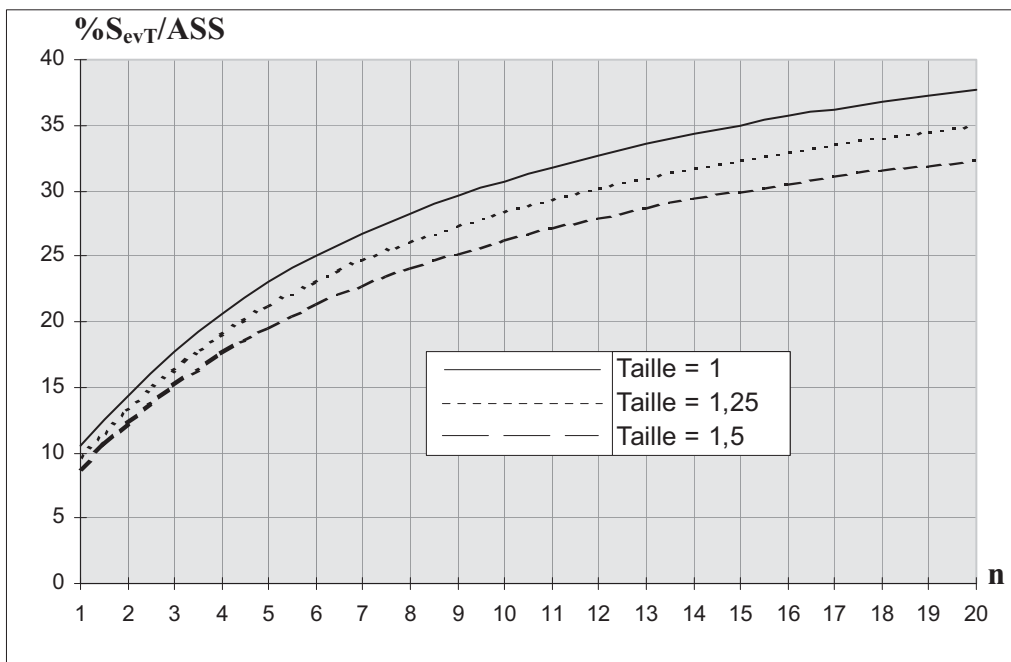


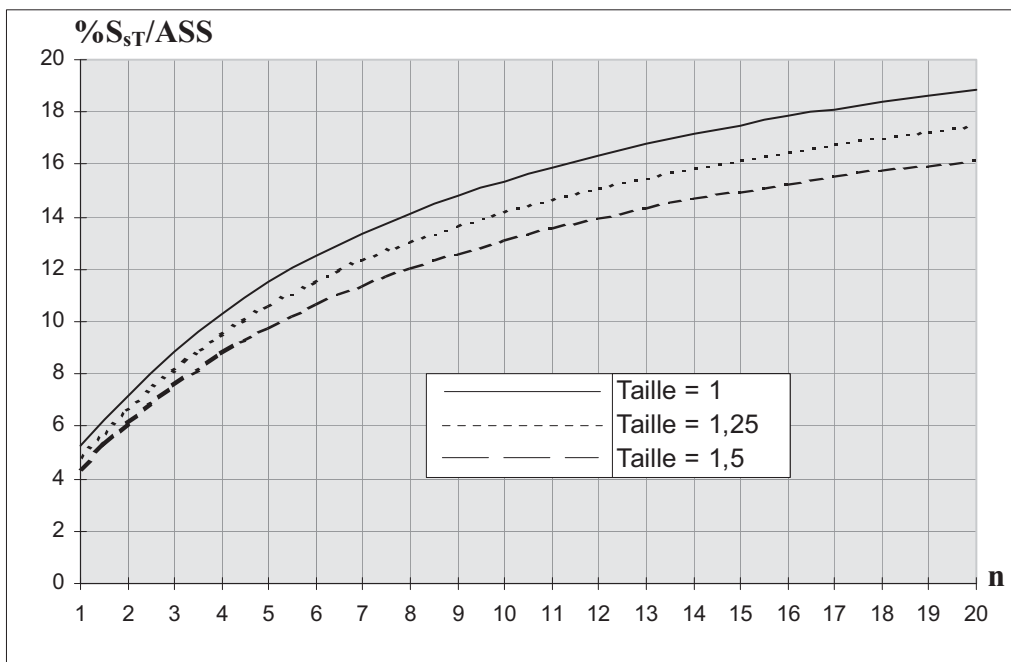
Figure XIII-8 : Pourcentage surface totale voirie/Assiette en fonction du nombre de niveaux n. Cas sans contraintes.

n	T=1	T=1,25	T=1,5
1	10,47	09,57	08,76
2	14,35	13,22	12,18
3	17,77	16,39	15,12
4	20,61	19,01	17,55
5	22,99	21,21	19,58
6	25,00	23,08	21,31
7	26,74	24,69	22,80
8	28,25	26,09	24,11
9	29,57	27,32	25,25
10	30,74	28,41	26,26
11	31,78	29,38	27,17
12	32,72	30,25	27,99
13	33,56	31,04	28,72
14	34,33	31,76	29,39
15	35,02	32,41	30,00
16	35,66	33,00	30,56
17	36,24	33,55	31,07
18	36,78	34,05	31,54
19	37,28	34,52	31,98
20	37,74	34,95	32,38



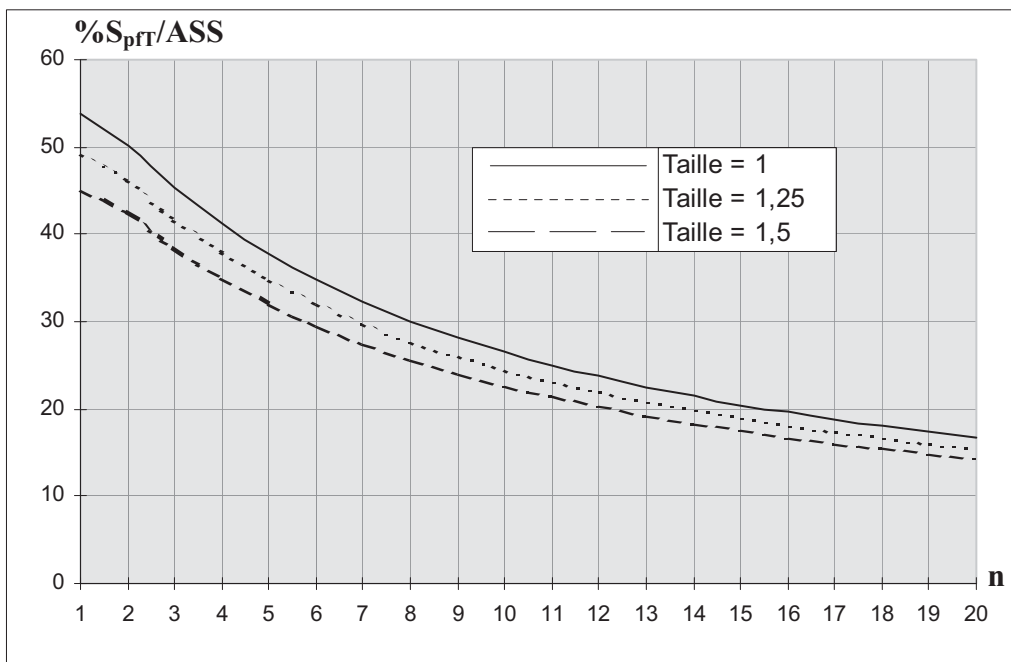
**Figure X III-9** : Pourcentage surface totale espaces verts/ Assiette en fonction du nombre de niveaux n. Cas sans contraintes.

n	T=1	T=1,25	T=1,5
1	05,23	04,79	04,38
2	07,18	06,61	06,09
3	08,89	08,19	07,56
4	10,30	09,51	08,77
5	11,49	10,60	09,79
6	12,50	11,54	10,66
7	13,37	12,34	11,40
8	14,12	13,04	12,05
9	14,78	13,66	12,62
10	15,37	14,20	13,13
11	15,89	14,69	13,59
12	16,36	15,13	13,99
13	16,78	15,52	14,36
14	17,16	15,88	14,70
15	17,51	16,20	15,00
16	17,83	16,50	15,28
17	18,12	16,77	15,54
18	18,39	17,03	15,77
19	18,64	17,26	15,99
20	18,87	17,47	16,19



**Figure X III-10.** Pourcentage surface totale stationnement/ Assiette en fonction du nombre de niveaux n. Cas sans contraintes.

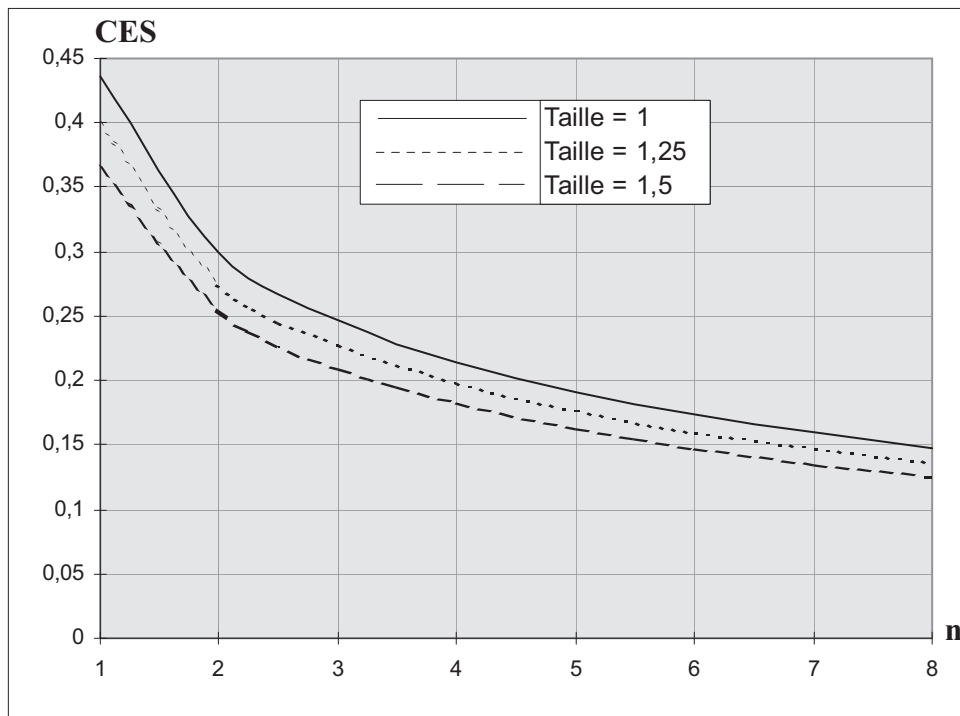
n	T=1	T=1,25	T=1,5
1	53,84	49,23	45,06
2	50,12	46,16	42,54
3	45,32	41,79	38,56
4	41,19	38,00	35,07
5	37,72	34,80	32,13
6	34,78	32,10	29,64
7	32,26	29,79	27,52
8	30,09	27,79	25,68
9	28,20	26,05	24,08
10	26,53	24,52	22,67
11	25,05	23,16	21,42
12	23,73	21,94	20,30
13	22,54	20,85	19,29
14	21,47	19,86	18,38
15	20,49	18,96	17,55
16	19,60	18,14	16,79
17	18,78	17,38	16,10
18	18,03	16,69	15,46
19	17,34	16,05	14,87
20	16,69	15,46	14,32



**Figure XIII-11.** Pourcentage surface totale des plates-formes/ Assiette en fonction du nombre de niveaux n . Cas sans contraintes.

### XIII-5 / Graphes de l'exemple avec contraintes des coûts et optimisation

n	T=1	T=1,25	T=1,5
1	0,4362	0,3989	0,3651
2	0,2991	0,2754	0,2539
3	0,2468	0,2276	0,2100
4	0,2147	0,1980	0,1828
5	0,1915	0,1767	0,1632
6	0,1736	0,1603	0,1480
7	0,1592	0,1469	0,1357
8	0,1471	0,1359	0,1255



**Figure XIII-12.** Coefficient d'emprise au sol (CES) en fonction du nombre de niveaux n. Cas avec contraintes.

n	T=1	T=1,25	T=1,5
1	34,8971	31,9123	29,2093
2	47,8483	44,0697	40,6181
3	59,2442	54,6252	50,4012
4	68,7004	63,3703	58,4931
5	76,6206	70,6971	65,2748
6	83,3451	76,9242	71,0441
7	89,1269	82,2867	76,0171
8	94,1530	86,9531	80,3520

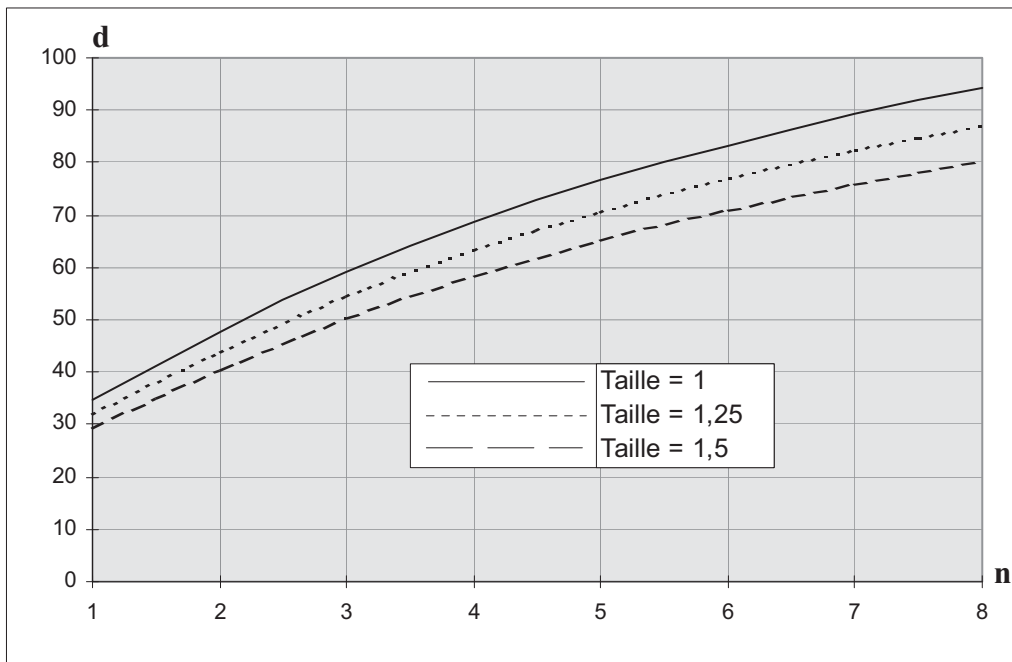
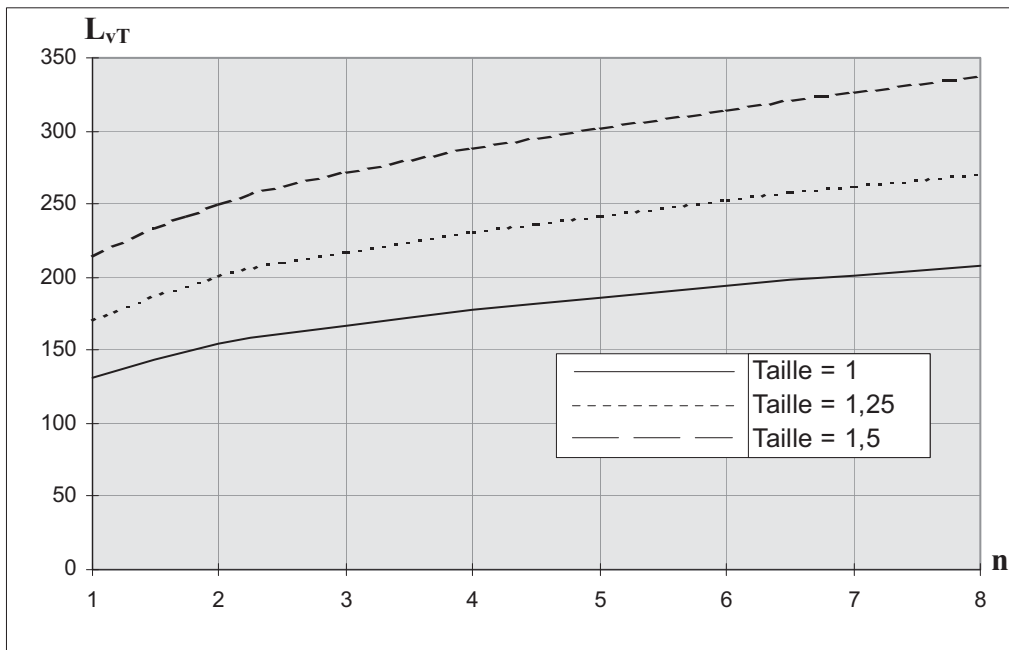


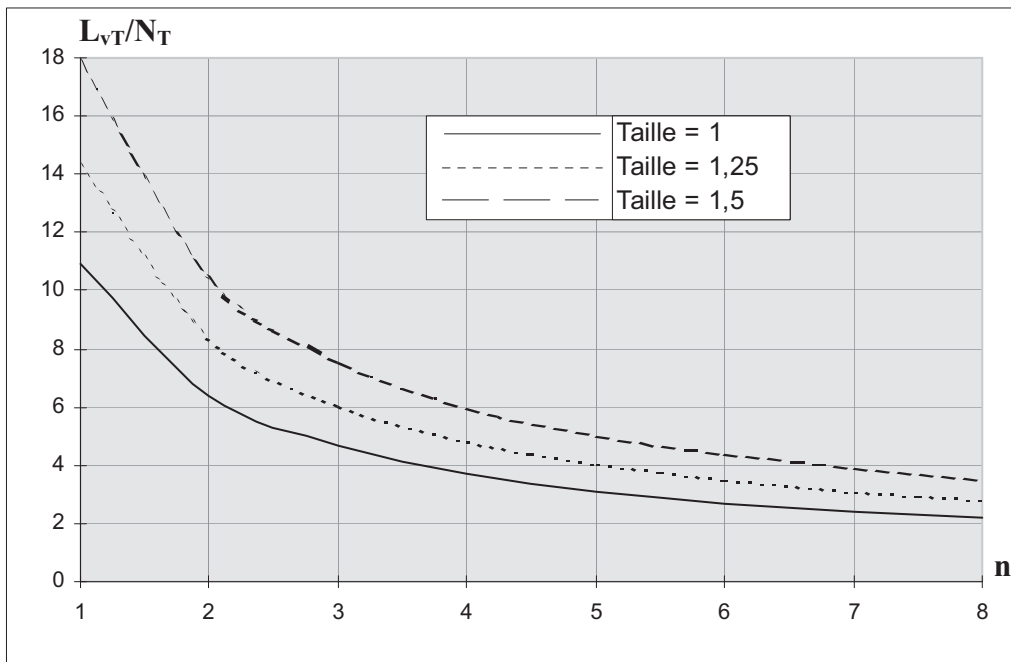
Figure XIII-13. Graphe de la densité  $D$  en fonction du nombre de niveaux  $n$ . Cas avec contraintes.

n	T=1	T=1,25	T=1,5
1	130,9189	171,1307	214,6486
2	153,8451	200,3811	250,4659
3	166,9688	217,3561	271,5370
4	177,1759	230,5959	288,0203
5	185,9721	242,0081	302,2313
6	193,9173	252,3105	315,0534
7	201,2821	261,8513	326,9227
8	208,2202	270,8368	338,0906



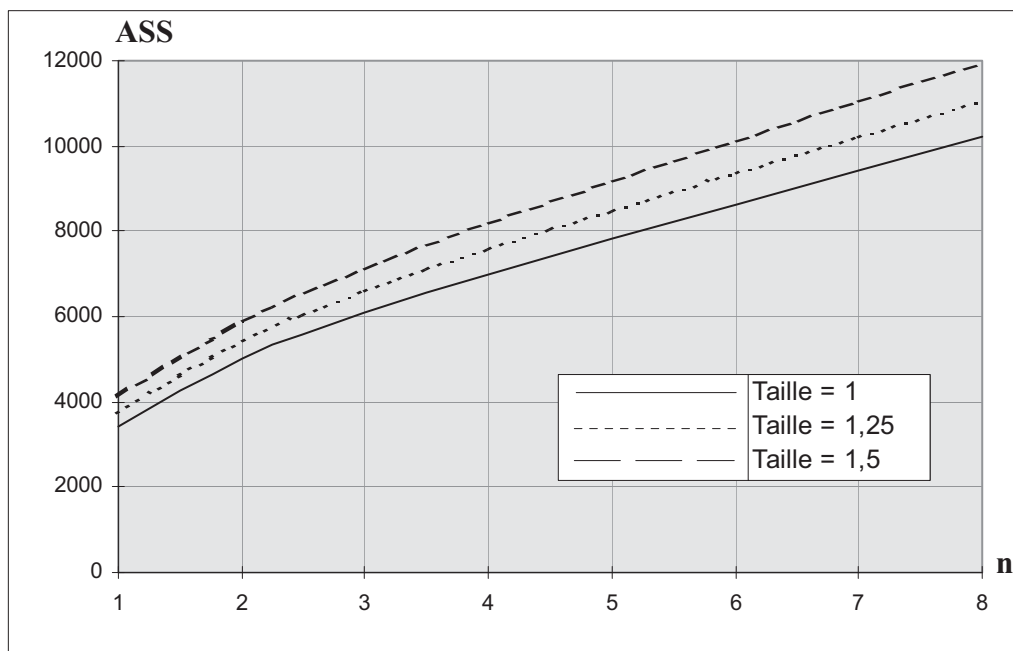
**Figure XIII-14.** Longueur voirie totale ( $L_{vT}$ ) en fonction du nombre de niveaux  $n$ . Cas avec contraintes.

N	T=1	T=1,25	T=1,5
1	10,91	14,26	17,89
2	06,41	08,35	10,44
3	04,64	06,04	07,54
4	03,69	04,80	06,00
5	03,10	04,03	05,04
6	02,69	03,50	04,38
7	02,40	03,12	03,89
8	02,17	02,82	03,52



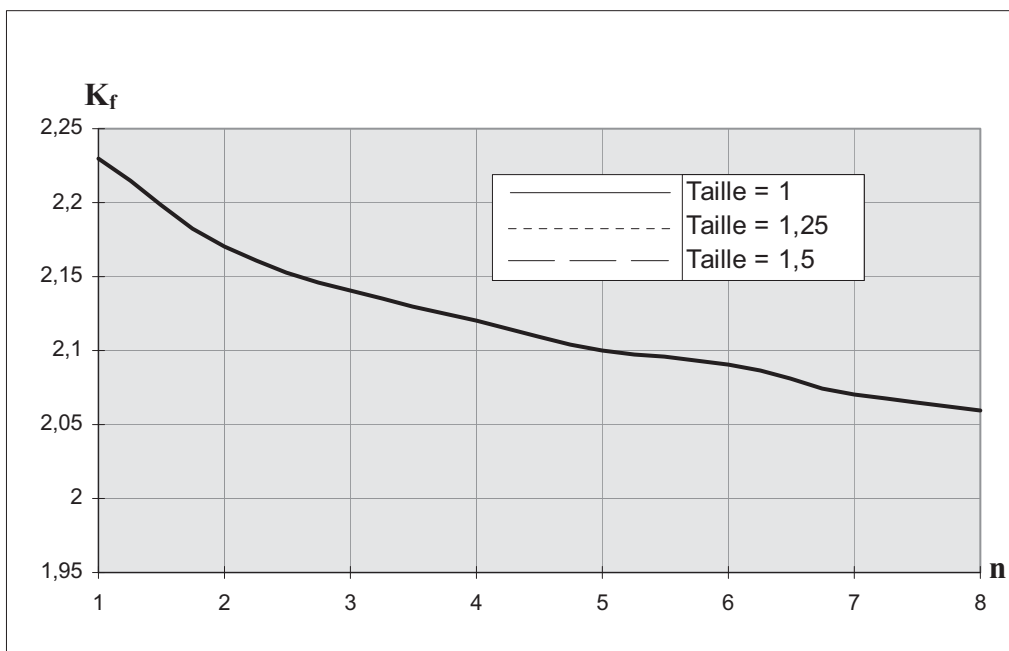
**Figure XIII-15:** Ratio longueur totale voirie/ Nombre total de logements ( $L_{vT}/N_T$ ) en fonction du nombre de niveaux  $n$ . Cas avec contraintes.

n	T=1	T=1,25	T=1,5
1	03438,71	03760,41	04108,55
2	05015,87	05445,99	05908,91
3	06076,68	06590,44	07142,87
4	06986,97	07574,59	08206,26
5	07830,88	08486,96	09192,06
6	08638,84	09359,91	10134,69
7	09424,81	10208,41	11050,25
8	10196,19	11040,59	11947,53



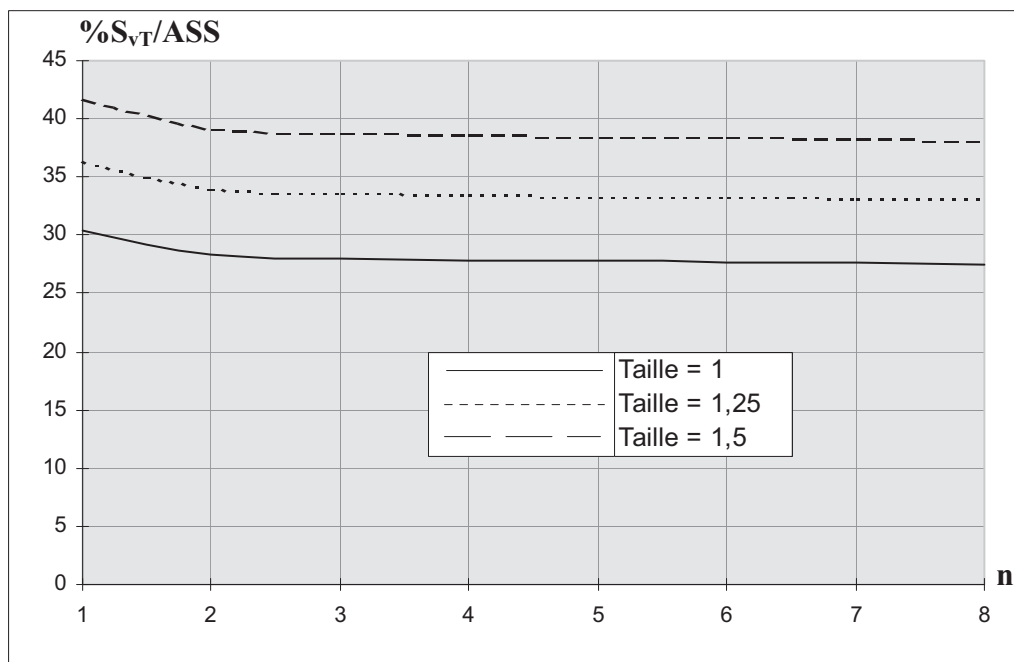
**Figure XIII-16** : Assiette de la trame (ASS) en fonction du nombre de niveaux n. Cas avec contraintes.

n	T=1	T=1,25	T=1,5
1	2,23	2,23	2,23
2	2,17	2,17	2,17
3	2,14	2,14	2,14
4	2,12	2,12	2,12
5	2,10	2,10	2,10
6	2,09	2,09	2,09
7	2,07	2,07	2,07
8	2,06	2,06	2,06



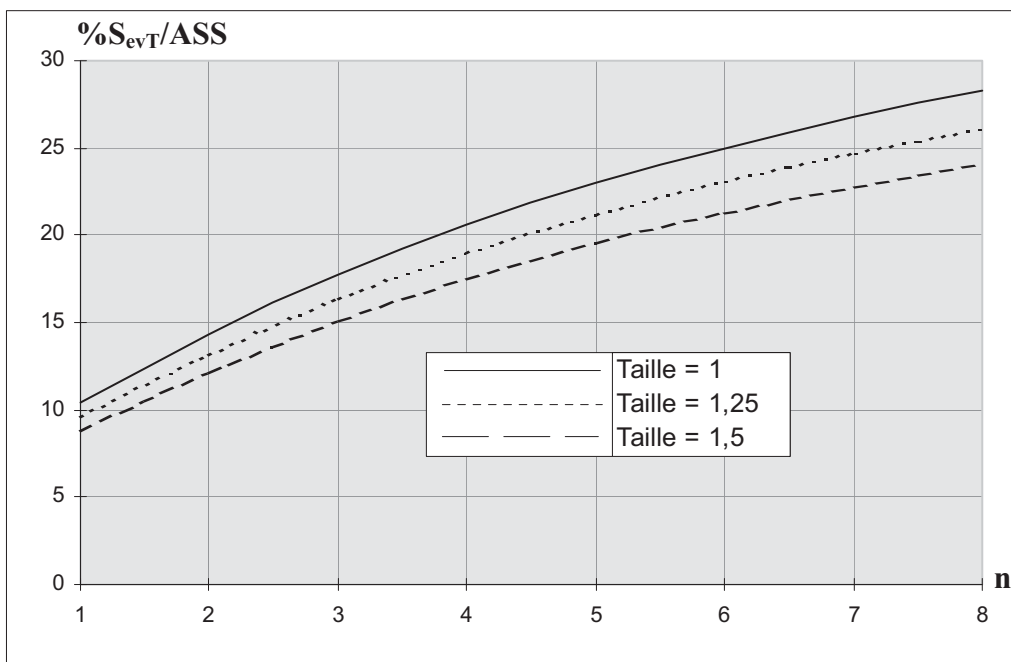
**Figure XIII-17** : Coefficient de la forme de la trame ( $K_f$ ) en fonction du nombre de niveaux  $n$ . Cas avec contraintes.

n	T=1	T=1,25	T=1,5
1	30,46	36,41	41,80
2	28,35	34,01	39,18
3	28,02	33,63	38,76
4	27,89	33,49	38,61
5	27,81	33,39	38,50
6	27,72	33,29	38,39
7	27,63	33,18	38,27
8	27,54	33,08	38,16



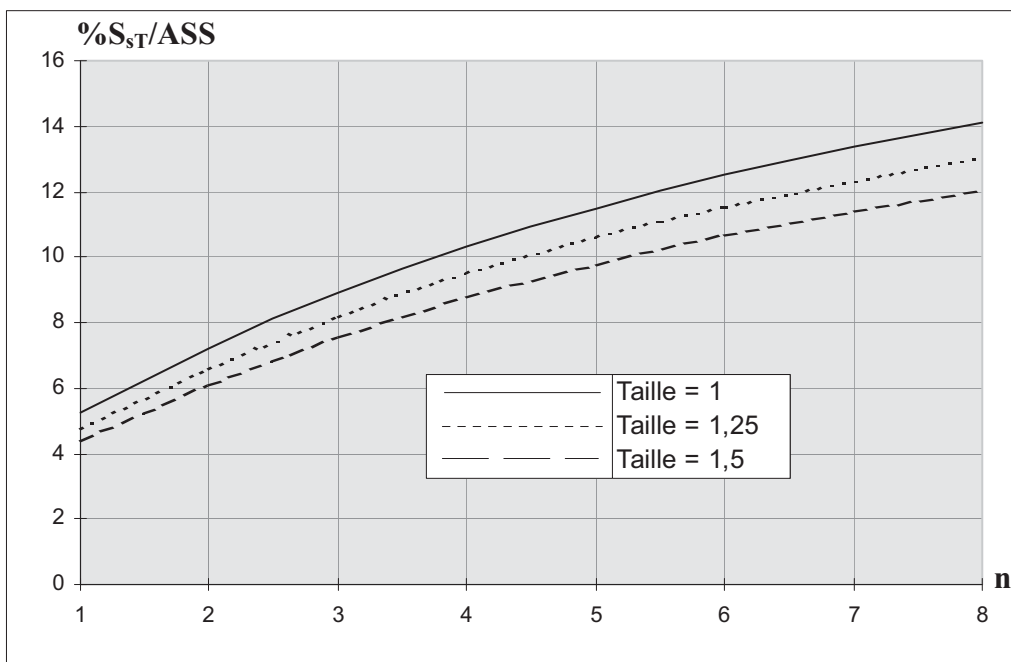
**Figure XIII-18** : Pourcentage surface totale voirie/Assiette en fonction du nombre de niveaux n. Cas avec contraintes.

n	T=1	T=1,25	T=1,5
1	10,47	09,57	08,76
2	14,35	13,22	12,18
3	17,77	16,39	15,12
4	20,61	19,01	17,55
5	22,99	21,21	19,58
6	25,00	23,08	21,31
7	26,74	24,69	22,80
8	28,25	26,09	24,11



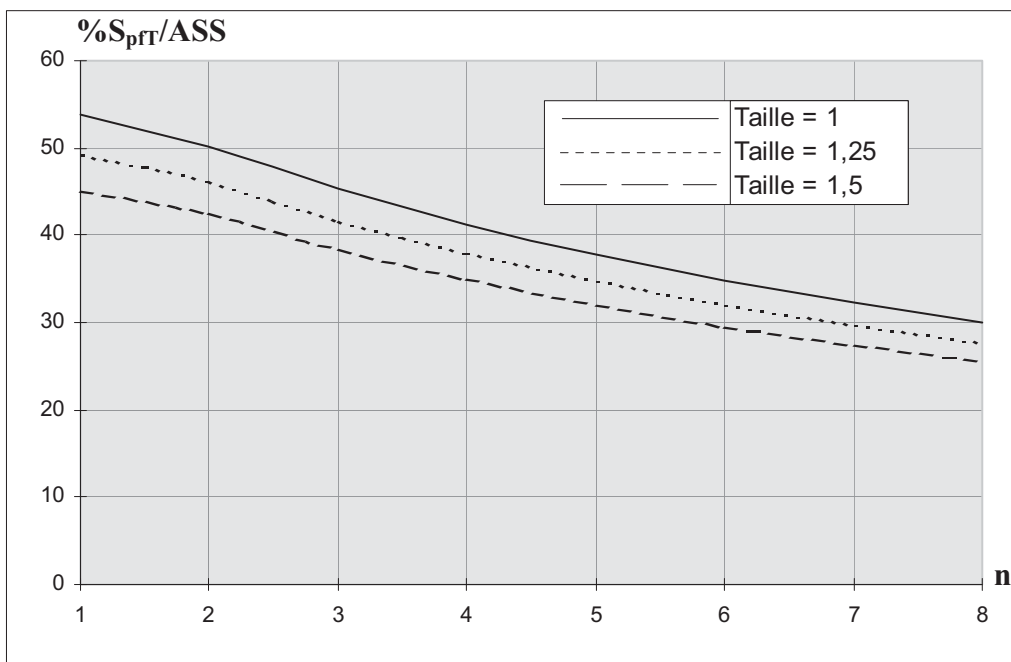
**Figure XIII-19** : Pourcentage surface totale espaces verts/ Assiette en fonction du nombre de niveaux n. Cas avec contraintes.

n	T=1	T=1,25	T=1,5
1	05,23	04,79	04,38
2	07,18	06,61	06,09
3	08,89	08,19	07,56
4	10,30	09,51	08,77
5	11,49	10,60	09,79
6	12,50	11,54	10,66
7	13,37	12,34	11,40
8	14,12	13,04	12,05



**Figure X III-20** : Pourcentage surface totale stationnement/ Assiette en fonction du nombre de niveaux n. Cas avec contraintes.

n	T=1	T=1,25	T=1,5
1	53,84	49,23	45,06
2	50,12	46,16	42,54
3	45,32	41,79	38,56
4	41,19	38,00	35,07
5	37,72	34,80	32,13
6	34,78	32,10	29,64
7	32,26	29,79	27,52
8	30,09	27,79	25,68



**Figure X III-21** : Pourcentage surface totale des plates-formes / Assiette en fonction du nombre de niveaux n. Cas avec contraintes.

## Conclusion

Nous pouvons conclure que, dans ce chapitre, nous avons présenté l'étude de la densité urbaine d'un exemple de trame plane orthogonale et les résultats des calculs. Les graphes obtenus sont le résultat du lissage d'un nuage de points. L'objectif est d'illustrer notre modèle par un exemple précis qui peut être placé dans plusieurs contextes. En effet, les dimensions et la disposition des bâtiments, les dimensions des différents espaces, l'allongement de la forme de la trame, le nombre de logements implantés ainsi que le nombre de trames (taille de l'agglomération) placées font que la forme urbaine est très différente sans que la densité varie fortement.

## **Conclusion de la troisième partie**

Cette partie avait pour objectif l'exposé de la démarche de résolution du problème de la densification, de l'implantation des bâtiments du coût du soutènement et de l'aide à la décision pour un choix entre un talus et un mur de soutènement en béton armé.

Le fait de déterminer le Coefficient d'Emprise au Sol (C.E.S) et la densité (d) relatifs à une trame plane orthogonale permet de dimensionner une trame plane orthogonale indépendamment de l'organisation spatiale de l'implantation de différents espaces accompagnants les emprises de bâtiments. En effet, la détermination des paramètres urbanistiques C.E.S et d, permet une densification souple d'une trame plane orthogonale quelconque.

Si l'organisation spatiale est fixée, nous pouvons déterminer les paramètres géométriques (en plus des paramètres urbanistiques) et les différents ratios. Dans ce cas, c'est une densification rigide correspondante à une certaine organisation spatiale.

# **Conclusion générale et perspectives**

## **Conclusion**

Les travaux que nous avons présentés dans cette thèse, avaient pour objectif l'élaboration d'un modèle d'études de la densification d'une trame plane orthogonale. Il s'agissait de proposer un outil d'aide à la conception (Conception Assistée par Ordinateur) de la densification permettant de réaliser un gain de temps d'études et d'optimiser les solutions proposées. Cet outil a été développé dans un environnement orienté objet à l'aide de Visual Basic version 5.

Nos études ont porté uniquement sur les nouvelles opérations de densification. Les corrections ou améliorations des fonctions d'une densification existante ont été exclues du champ de recherche.

La démarche de construction et de résolution du problème s'est faite en trois étapes, chacune correspondant à un objectif. Ces phases ont été les suivantes: Analyse des études de la densification, Identification des relations contraintes/impacts sur la densification, Démarche de résolution et exemple d'études de la densification d'une trame plane orthogonale.

La construction du problème avait nécessité l'identification des formules de la densité urbaine, de la corrélation longueur voirie-densité, des coûts : du foncier, de la construction en élévation, de la viabilisation et des ouvrages de soutènement et présentées dans la première partie. Pour illustration, nous avons étudié une trame plane orthogonale et présenté les graphes exprimant les résultats en fonction du nombre d'étages dans un premier cas (cas sans contraintes) et en fonction du nombre d'étages et de l'optimisation des coûts de la densification dans le second cas (cas avec contraintes).

L'optimisation repose sur le coût minimal des différents coûts relatifs aux différentes tranches de logements en élévation. Nous pouvons avancer que notre modèle prend en charge les critères structurels et les principales contraintes et de ce fait, ce travail représente une modeste contribution à la modélisation de la densification.

Ce travail a été validé par trois publications. La première concerne l'évaluation de la densité urbaine [EL KECHEBOUR 2007], la seconde concerne l'analyse des coûts et leur application dans les travaux de soutènement en milieu urbain [EL KECHEBOUR 2009], et la troisième intègre les aires de refuge anti-sismique dans la composition urbaine [EL KECHEBOUR 2009].

## **Perspectives**

La trame plane orthogonale peut servir comme unité de base de comparaison pour une trame quelconque. Les caractéristiques urbanistiques (CES et d) d'un plan de masses projeté ou d'une zone résidentielle existante permettent de cerner le contexte dans lequel a pris naissance un projet urbain et de prévoir les formes urbaines futures induites par la croissance urbaine galopante. Le fait que la concentration des populations en zone urbaine représente entre 55% à 58% en Algérie (recensement de 2008), et plus de 50% à l'échelle mondiale, il est évident que la recherche dans le domaine de la construction s'oriente vers une nouvelle discipline appelée génie urbain ou engineering urbain. Cette nouvelle discipline a émergé dans les pays ayant une forte densité urbaine telle que le Japon et elle est la synthèse des disciplines de la construction appliquée dans un environnement urbain.

## **BIBLIOGRAPHIE**

- [ANSELIN L. 98]. Space User's Guide, version 1.80, 1998, Paris.
- [ASCHER F. 96]. Projet public et réalisations privées- Le renouveau de la planification des villes, Les Annales de la Recherche Urbaine n°51, p 13.
- [AUBY 95]: Jean-Bernard AUBY "Droit de l'urbanisme et de la construction", Domat droit public / droit privé, éditions Montchrestien, 1995.
- [BALOUCHEV B. AND ALL 75]. Mécanique des sols, Sofia. Edition d'Etat : Technica 1975.
- [BOITEUX C. AND ALL 2000]. 2 000b, U.S. suburbanization history in light of theory, Canadian Regional Science Association 2000th Meetings June 2-4, 39p.
- [BOITEUX C. 2000]. 2000 a, Modéliser la suburbanisation succès et limites de la microéconomie urbaine. XXXVIème colloque de l'ASRDLF « Développement régional, économie du savoir, nouvelles technologies de l'information et de la communication », Crans-Montana (Suisse), 6-9 septembre, 23p.
- [BONHOMME A. 95]. Guide pour l'établissement des projets de bâtiments, Editions du Moniteur, p 104, Paris 1995
- [BONNAFOUS 98]. Modélisation de l'évolution des densités urbaines, in Pumain Denise, Mattei Marie-Flore, Données urbaines 2, Anthropos, 1998, p.167-180.
- [BOOCH G. 92]. Object-Oriented Analysis and Design, 2nd Edition, Benjamin Cummings Publ. Co., 1991.
- [BOUKHALED A. 95]. Elaboration d'un outil d'aide au choix des ouvrages de soutènement, thèse de doctorat, université de Savoie 1995.
- [C.A.TE. D. 81]. Centre d'Assistance Technique et Documentation. Les aménagements extérieurs : Voies Piétonnes, mobilier urbain, clôtures, ... Paris, Moniteur 1981.
- [CARRARA G. AND ALL 91]. Computational framework for supporting creative architectural design: Evaluating and predicting design performance. Edited by yehuda. E. KALAY. Edition: Wiley inter-science. NEW-YORK, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapor 1991, Pages 17-36.
- [CHAPUISAT 96]. Le droit de l'urbanisme, Que sais-je ? P.U.F 1996. p 65.
- [CRISTINI R. 85]. Droit de l'Urbanisme, Economica, 1985.
- [CODE DE L'URBANISME 95]. [Code de l'urbanisme français] : Article R 123-18.
- [CODE DE L'URBANISME 95]. [Code de l'urbanisme français] : Article R 123-21.
- [Conseil d'Etat 96]. Arrêt du Conseil d'Etat en section du Contentieux. 1ère et 4ème sous-sections, SARL "Omnium de Gestion d'Etudes et de Réalisations Immobilières" 6 juin 1980 N° 17.676. Lexilaser Conseil d'Etat & Cours Administratives 1996/2, Université de NICE.
- [CONSEIL D'ETAT 96]. Conseil d'Etat, Section du Contentieux. 2ème et 6ème sous-sections réunies. COMMUNE DE SAINT-AVOLD c/ M. Cassot 10 décembre 1993 N° 108.048. Lexilaser Conseil d'Etat & Cours Administratives 1996/2, Université de NICE.
- [COULAUD N. 97]. Un POS garant de la qualité du paysage, Le moniteur, n°4861, 24 janvier 1997, p 60-61.
- [COQUAND R. 80]. Routes Tome I. Paris. Eyrolles 1980.
- [FOUCHIER V. 98]. La densité urbaine nette : un indicateur d'intensité urbaine, in Pumain Denise, Mattei Marie-Flore, Données urbaines 2, Anthropos, 1998, p.181-189.
- [FUENTES 82]. P. LACROIX/A. FUENTES., Traité de béton armé, Paris. Eyrolles. 1982.

- [DANNA 96]. Le plan de masse: une technique particulière de réglementation. Catherine Paszkier, Alexandra Brunoton & co. Séminaire d'Urbanisme opérationnel dirigé par le professeur P.P. Danna. Université de Nice. DEA de droit immobilier privé et public. 1995-1996.
- [DERYCKE P.H. 99]. Les densités urbaines. Une revue de la littérature, Communication au colloque ASRDLF, Hyères, 1-3 sept. 1999.
- [DUBOIS A.M. 89]. Première approche de CIBAO : Conception intégrée de bâtiment assisté par Ordinateur. Actes de colloque méthode et outils pour l'ingénierie B.T.P Cham béry, France, 1989, Pages 27-38.
- [DUFAU J. AND ALL 91]. Approche multitechnique et dynamique de la conception de bâtiment : Le prototype CONCEPTOR. ARECDAO 91, Barcelone, Espagne, 1991, Pages 139 - 150.
- [EL KECHEBOUR B. 2007]. Evaluation de la densification à l'aide de la Trame plane orthogonale, Revue Science et Technologie N°25, juin 2007, Université Mentouri, Constantine, Algérie.
- [EL KECHEBOUR B. 2009]. Analysis of costs and choice on retaining structures: land, curtain wall and slope, International Journal of Applied Engineering Research (IJAER), Volume 4, Number 6, June 2009.
- [EL KECHEBOUR, 2009]. The refuge area anti seismic in the urban design: International Journal of Applied Engineering Research (IJAER), Volume 4, Number 7, September 2009.
- [GOMELA H. 82]. Les eaux usées Tomes I. Paris. Eyrolles 1982.
- [IFERT 89]. : IFERT G., VERA SAUVAL. - Guide Qualitel.- Association Qualitel, 1989, 173 pages.
- [LEFEBVRE 91]. LEFEBVRE F. - Gestion de la qualité des bâtiments en phase de conception dans un système de C.A.O. Thèse de doctorat, Université de Savoie. 1991, 233 pages.
- [LE GAUFFRE P. 88]. Méthodologie de conception et intelligence artificielle en bâtiment. Etudes pour un système multi - expert d'aide à la décision - thèse de doctorat. INSA de LYON, 1988, 128 pages.
- [MANNING P. 91]. A preliminary to development of expert systems for total design of entire building: Evaluating and predicting design performance, Edited by Yehuda. E. KALAY. Edition: Wiley inter-science. NEW-YORK, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore 1991 Pages 215-237.
- [M.U.C.H. 80]. Ministère de l'urbanisme et de la construction : L'aménagement des lotissements, Alger, O.P.U 1980.
- [M.U.C.H. 89]. Ministère de l'urbanisme et de la Construction. Urbanisme-Aménagement. L'aménagement des lotissements : Recommandations. Alger. O.P.U 1989.
- [NACHTERGAL C. 82]. Agenda du bâtiment, A. De BOECK, Bruxelles, 1982.
- [OLIVIER E. 76]. Implantation, tracés, nivellement, relevés : Travaux pratiques. Paris, Entreprise Moderne d'édition, 1976.
- [ROUSSEAU D. &VAUZEILLES G. 92]. Denis Rousseau et Georges Vauzeilles, "L'aménagement urbain" Que sais-je? P.U.F. 1992, p 34.
- [RUSK 93]. Communication du Pr. RUSK, Directeur de l'Institut d'Urbanisme d'Aachen (Aix la Chapelle), Allemande. Conférence pour le compte de l'Ecole polytechnique d'architecture et d'urbanisme (EPAU), Algérie, Juin 1993.
- [SANGLERAT G. 73]. Problèmes pratiques de mécanique des sols et de fondations. Vol 2 (calcul de soutènement et des fondations, stabilités des pentes). Paris. Dunod 1973.
- [WALLISER B 77]. Systèmes de modèles : Introduction critique à l'analyse de systèmes. - Edition Seuil. Paris 1977 - 247 pages.

[ZREIK M. 86]. Prise en compte de la performance acoustique en phase d'avant projet sommaire de bâtiment dans un contexte de conception assistée par Ordinateur - Thèse de doctorat, Ecole Nationale des Ponts et Chaussée. 1986, 371 pages.

[GOFFETTE N. 2000]. Urban environmental quality and residential location, ASRDLF « Développement régional, économie du savoir, nouvelles technologies de l'information et de la communication », Crans-Montana 6-9 septembre 2000.

[FOUCHIER V. 94]. Planification urbaine - Penser la densité, Etudes foncières n°64, septembre 1994, p 11.

[JAYET 2000]. Jayet H., Pégy P.-Y., 2000, Densités urbaines, distances et coûts d'accès au centre, Colloque ASRDLF « Développement régional, économie du savoir, nouvelles technologies de l'information et de la communication », Crans-Montana (Suisse), 6-9 septembre, 23p.

[GUENA F. 90]. Des techniques d'apprentissage pour le transfert d'expertise de conception. - Europe IA 90, 15 et 16 MARS 1990, Palais des Congrès de Liège, Belgique. Edition Hermès, 1990, Pages 138 - 147.

[J.O. DU 4/01/ 1959]. Décret n°58-1463 du 31/12/1958 relatif aux plans d'urbanisme, publié au J.O. du 4/01/ 1959 page 265.

[J.O. DU 28/10/ 1970]. Décret n° 70-1016 du 28 octobre 1970, relatif aux plans d'occupation des sols. Publié au J.O. du 5 novembre 1970, p10238.

[J.O. DU 05/09/ 1977]. Ancien article R.123-21 inscrit dans les dispositions abrogées du code de l'urbanisme Dalloz 1996, défini par le décret n°77-736 du 7 juillet 1977.

[J.O. DU 05/10/ 1983]. Décret n°83-813 du 9 sept 83, modifiant le code de l'urbanisme et relatif notamment aux plans d'occupations des sols, publié au J.O. le 11 septembre p 2771.

[THIERRY F. &BERNARD M. 95]. Territoires en Action - Prospective urbaine et planification stratégique, Les Annales de la Recherche Urbaine n°51, p 101.

[SAUCE G. 93]. SAUCE G., DUFAU J., et PIERRE P. - Analyse et modélisation du processus de conception du bâtiment. 01 Design 93, TUNIS 18/20 NOVEMBRE 1993.

[MESNARD A. 92]. André-Hubert Mesnard, "Les instruments juridiques de la planification urbaine", Droit et ville, n°34, "Colloque de Toulouse 1992", p.135.

[ZUCCHELLI A. 83]. Introduction à l'urbanisme opérationnel et à la composition urbaine, Volume 1, O.P.U. Alger 1983.

[ZUCCHELLI A. 83]. Introduction à l'urbanisme opérationnel et à la composition urbaine, Volume2, O.P.U. Alger 1983.

[ZUCCHELLI A. 83]. Introduction à l'urbanisme opérationnel et à la composition urbaine, Volume 3, O.P.U. Alger 1983.