



**HAL**  
open science

## Contribution à l'étude de la saturation des tissus simples et multicouches : tissus 2D et 3D

Mohamed Dalal

► **To cite this version:**

Mohamed Dalal. Contribution à l'étude de la saturation des tissus simples et multicouches : tissus 2D et 3D. Autre. Université de Haute Alsace - Mulhouse, 2012. Français. NNT : 2012MULH5011 . tel-00841290

**HAL Id: tel-00841290**

**<https://theses.hal.science/tel-00841290>**

Submitted on 4 Jul 2013

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITE DE HAUTE ALSACE LABORATOIRE DE  
PHYSIQUE ET MECANIQUE TEXTILES

**THESE**

pour obtenir le titre de

Docteur en Mécanique

Par

**Mohamed DALAL**

CONTRIBUTION A L'ETUDE DE LA SATURATION DES  
TISSUS SIMPLES ET MULTICOUCHES

Soutenance prévue le 16 novembre 2012 devant la Commission d'examen:

Stéphane FONTAINE - Université de Bourgogne	Rapporteur
Damien SOULAT - Université de Lille	Rapporteur
Mohamed Anouar JAMALI – ESITH Casa	Examineur
Jean-François OSSELIN – ENSISA Mulhouse	Co-Directeur de thèse
Jean-Yves DREAN – ENSISA Mulhouse	Directeur de thèse

## REMERCIEMENTS

Cette thèse a été réalisée dans le cadre d'une collaboration entre le laboratoire de Recherche en Matériaux TEXTile REMTEX de l'Ecole Supérieure des Industries de Textile et de l'Habillement ESITH de Casablanca au Maroc et le Laboratoire de Physique et Mécanique Textiles LPMT de Mulhouse en France.

Je remercie infiniment mes directeurs de recherche Messieurs les professeurs: Jean Yves DREAN et Francois OSSLIN et je les prie d'accepter à cette occasion le témoignage de ma très profonde reconnaissance pour les précieux conseils prodigués tout au long de mes recherches, l'attention avec laquelle ils ont suivi mes travaux ainsi qu'à leur continuel dynamisme sur le sujet durant toute la période de préparation.

Je tiens à exprimer à Monsieur Mohamed LAHLOU, Président de l'ESITH, Mr Abderhamane FARHATE, Directeur Générale et Mr Abdeljabar EL BOURI, Directeur administratif et financier mes sincères remerciements pour leurs soutien durant toute la période de préparation de cette thèse.

Je voudrais également remercier tous les membres de l'équipe du laboratoire de recherche REMTEX et en particulier Mr Mohamed Anouar JAMALI, Directeur du département recherche et développement et Mr Omar CHERKAOUI, Responsable du laboratoire REMTEX.

Enfin, je voudrais associer à ces remerciements à tous ceux ou celles qui, à des degrés divers, ont contribué à la réalisation de ce travail, sans oublier de réserver une pensée chaleureuse à ma famille et tous mes ami(e)s respectivement du LPMT - Laboratoire de Physique et Mécanique Textiles de Mulhouse en France- et de l'ESITH - Ecole Supérieure des Industries de Textile et de l'Habillement ESITH de Casablanca au Maroc.

# SOMMAIRE

## SOMMAIRE

### INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE .....	<b>3</b>
0.1 Historique de la fabrication des tissus .....	3
0.1.1 Origine des premiers tissus .....	3
0.1.1 Origine des premiers métiers .....	3
0.2 Introduction .....	5
0.3 Chapitres du mémoire.....	5

### LE TISSAGE

1. LE TISSAGE.....	<b>8</b>
1.1. Comment fabriquer un tissu?.....	8
1.1.1. Définition d'un tissu.....	8
1.1.2. Contexture d'un tissu .....	8
1.1.3. Présentation générale des produits tissés.....	8
1.1.4. Principe de base de la formation d'un tissu.....	9
1.1.5. Circuits principaux de fabrication des produits tissés .....	10
1.1.6. Principales étapes de la préparation de la chaîne.....	12
1.2. Représentation des tissus simples :.....	19
1.2.1. La théorie des armures fondamentales.....	19
1.2.2. Normalisation de la représentation .....	20
1.2.3. Toile.....	20
1.2.4. Sergé .....	21
1.2.5. Satin .....	21
1.2.6. Récapitulatif des armures dérivées des armures fondamentales .....	22
1.2.7. Toile -> cannelé, reps et natté.....	23
1.2.8. Sergé -> croisé, sergé composé et façonné.....	25
1.2.9. Satin -> Satin à répétition, satin alternatif, satiné.....	26
1.3. Modéliser un tissu double faces.....	28
1.3.1. Définition des tissus double faces .....	28
1.3.2. Principe d'obtention des doubles faces.....	28
1.3.3. Classification des tissus double faces.....	28
1.3.3.1. Double-faces par la chaîne.....	29
1.3.3.2. Double faces par la trame.....	30
1.4. Représentation des tissus multiples .....	31
1.4.1. Définition des tissus multiples .....	31
1.4.2. Définition, aspect :.....	31
1.5. Etoffes Multiples diverses .....	32

**LES LIMITES DE TISSABILITE**

**2. LES LIMITES DE TISSABILITE ..... 34**

2.1 Introduction ..... 34

2.2 Les limites de tissabilité ..... 34

    2.2.1 Définition et utilité des limites de tissabilité..... 34

2.3 Méthodes de détermination des limites de tissabilité. .... 35

    2.3.1 Les méthodes théoriques..... 35

    2.3.2 Les méthodes expérimentales..... 35

2.4 Facteurs influents..... 35

    2.4.1 L’armure choisie. .... 35

    2.4.2 La contexture du tissu..... 36

        2.4.2.1 La grosseur et compte des fils. .... 36

        2.4.2.2 La nature des fils utilisés..... 36

        2.4.2.3 La régularité du fil..... 37

        2.4.2.4 Les caractéristiques des métiers à tisser..... 37

        2.4.2.5 La géométrie de la foule et tension de la chaîne. .... 37

        2.4.2.6 La distance façure / appel..... 37

        2.4.2.7 Le battant..... 37

        2.4.2.8 Le porte-fils..... 38

        2.4.2.9 L’embarreur. .... 38

        2.4.2.10 Les cadres de lames..... 38

        2.4.2.11 Le moteur. .... 38

        2.4.2.12 La laize..... 38

        2.4.2.13 Le système d'insertion..... 39

**ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE**

**3. ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE ..... 40**

3.1 Introduction ..... 40

3.2 Calcul de la géométrie des structures textiles simples..... 40

    3.2.1 Le diamètre de fil ..... 40

    3.2.2 Le facteur d’armure ..... 42

    3.2.3 Le facteur de couverture..... 43

    3.2.4 Les théories de la Construction Maximale ..... 44

        3.2.4.1 La théorie d’Ashenurst « Ends Plus Intersection » ..... 44

        3.2.4.2 La théorie de la courbure d’Ashenurst ..... 45

        3.2.4.3 Les règles de Law ..... 45

        3.2.4.4 La théorie de Brierley ..... 45

        3.2.4.5 La formule de Peirce [32]..... 46

        3.2.4.6 Les équations de Love ..... 46

        3.2.4.7 Equation générale de la limite de la tissabilité ..... 47

    3.2.5 L’indice de saturation ..... 47

        3.2.5.1 Définition..... 47

        3.2.5.2 La théorie de Peirce..... 48

        3.2.5.3 L’indice de Love..... 48

        3.2.5.4 L’indice de Russell « facteur de construction » ..... 49

3.2.5.5	Les formules de saturation de Seyam et El Shiekh.....	49
3.2.5.6	L'indice de Booten :.....	50
3.2.6	Les applications de l'indice de saturation.....	51
3.2.6.1	Les tissus semblables.....	51
3.2.6.2	La résistance au tissage.....	51
	Le rendement de l'opération de tissage.....	51
3.2.6.3	L'élasticité du tissu.....	52
3.2.6.4	Le retrait du tissu lors de lavage ou blanchissage.....	52

## INDICES DE SATURATION ET LIMITE DE TISSABILITE

4.	INDICES DE SATURATION ET LIMITE DE TISSABILITE.....	54
4.1.	INDICES DE SATURATION NUMERIQUE.....	54
4.1.1.	Introduction.....	54
4.1.2.	Définition des indices de saturation numérique.....	54
4.1.3.	Détermination de Ich, et de Itr « tissus simples ».....	55
	1er cas : Tissage à tension forte « chaine tendue ».....	55
4.1.3.1.	Détermination de Ich :.....	56
4.1.3.2.	Détermination de Itr.....	57
4.1.3.3.	Expressions finales des indices de saturation :.....	59
	2ème cas : Tissage à tension faible «Trames tendues».....	60
4.1.3.4.	Expressions finales des indices généralisées.....	60
4.1.4.	Détermination de Ich, et de Itr « tissus doubles faces».....	61
4.1.4.1.	Expressions finales des indices généralisés.....	61
4.1.5.	Interprétation et Validation des indices de saturation numérique:.....	62
4.1.6.	Expérimentation.....	65
4.1.7.	Validation expérimentale des équations de saturation.....	66
4.1.8.	Valeurs maximales théoriques et pratiques :.....	68
4.1.9.	Abaque de saturation.....	69
4.1.10.	Exemple d'application.....	69
4.1.11.	Conclusion.....	70
4.2.	INDICES DE SATURATION MASSIQUE.....	71
4.2.1.	Introduction :.....	71
4.2.2.	Définition des indices massique de saturation.....	71
4.2.3.	Détermination de l'indice massique tissu « tissus simples ».....	72
4.2.3.1.	Hypothèses de la modélisation des tissus simples:.....	72
4.2.3.2.	La modélisation des tissus simples:.....	73
4.2.3.3.	Expression des indices pour les tissus simples.....	75
4.2.3.4.	Expression des indices pour les tissus doubles faces.....	79
4.2.4.	Validation et interprétation des indices de saturation massique.....	80
4.2.5.	Expérimentation.....	82
4.2.6.	Validation expérimentale des équations de saturation.....	83
4.2.7.	Valeurs maximales théoriques et pratiques.....	85
4.2.8.	Exemple d'application.....	85
4.2.9.	Conclusion.....	87

## TESTS ET CONTROLES

5. TESTS ET CONTROLES .....	<b>89</b>
5.1 Introduction .....	89
5.2 Les objectifs:.....	89
5.3 Armures et tissus .....	90
5.4 Matériel de production et création.....	93
5.4.1 Machine de tissage et caractéristiques .....	93
5.4.2 Montage sur métier : .....	93
5.4.3 Répartition des crochets :.....	94
5.4.4 Méthodologie de construction des armures étudiées :.....	95
5.5 Tests et contrôles .....	97
5.5.1 Conditions du laboratoire pendant les tests :.....	97
5.5.2 Embuvage et retrait :.....	98
5.5.3 Masse surfacique : .....	99
5.5.4 Analyse de la matière et propriétés mécaniques des fils .....	99
5.5.5 Détermination de la perméabilité à l'air.....	100
5.5.5.1 Principe .....	100
5.5.5.2 Mode opératoire de la machine Thickness-Lab-code 1880.....	101
5.5.5.3 Calcul, expression des résultats :.....	101
5.6 Mesures des propriétés mécaniques sur la chaîne de mesure KAWABATA.....	101
5.6.1 Généralités sur la chaîne KAWABATA .....	101
5.6.2 Appareillages : .....	102
5.6.3 Mesure des paramètres mécaniques des tissus par le KES-F.....	102
5.6.3.1 But du module.....	102
5.6.3.2 Essai de cisaillement .....	103
5.6.3.3 Essai de traction : .....	105
5.6.3.4 Essai de compression :.....	106
5.7 Résultats et discussion : (annexe 1).....	109
5.7.1 Tests de perméabilité et constitution .....	109
5.7.2 Les tests kawabata.....	114
5.7.2 Les tests kawabata.....	115
5.7.2.1 Analyses et interprétations des résultats « tissus simples » .....	115
5.7.2.1.1 Cisaillement « tissus simples»: .....	115
5.7.2.1.2 Compression «tissus simples»: .....	119
5.7.2.1.3 Synthèse « tissus simples»:.....	123
5.7.2.2 Analyses et interprétations des résultats « tissus doubles faces ».....	124
5.7.2.2.1 Cisaillement «tissus doubles faces »:: .....	124
5.7.2.2.2 Compression « tissus double faces»: .....	129
5.7.2.2.3 Synthèse « tissus double faces»: .....	134
5.7.2.3 Analyses et interprétations des résultats « tissus multiples» .....	135
5.7.2.3.1 Cisaillement « tissus multiples » .....	135
5.7.2.3.2 Compression « tissus multiples ».....	140
5.7.2.3.3 Synthèse « tissus multiples » .....	144

### CONCLUSION ET PERSPECTIVE

6. CONCLUSION ET PERSPECTIVE.....	146
61. Conclusion.....	146
62. Perspective.....	147

### ANNEXES

7. ANNEXES.....	149
-----------------	-----

### PUBLICATIONS ET REFERENCES

8. PUBLICATIONS ET REFERENCES .....	172
8.1 PUBLICATIONS .....	172
8.2 REFERENCES .....	205

### LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

#### Sommaire « Figures et tableaux : Introduction générale »

Figure 0-1 : Métier vertical à poids.....	3
Figure 0-2 : Métiers à pédales pour cadres de lisses.....	4
Figure 0-3 : Métier à la tire .....	4

#### Sommaire « Figures et tableaux /chapitre 1 : Tissage 2Det 3D »

Figure 1-1 : Les types de tissus.....	8
Figure 1-2 : Les catégories de tissus .....	8
Figure 1-3 : Schéma général de la formation d'un tissu .....	9
Figure 1-4 : Ouverture de la foule.....	9
Figure 1-5 : Insertion de la trame.....	9
Figure 1-6 : Tassement de la duite .....	9
Figure 1-7 : Foule formée par les deux nappes de fils de chaîne.....	10
Figure 1-8 : Circuits principaux de fabrication des produits tissés.....	10
Figure 1-9 : Procédés de formation des tissus armurés et Jacquards.....	11
Figure 1-10 : Le tissu : De l'idée de conception jusqu'à sa réalisation. ....	11
Figure 1-11 : Bobinage : principe de base .....	12
Figure 1-12. Ourdissage : Principe de base.....	12
Figure 1-13. Ourdissage direct : Principe de base. ....	13
Figure 1-14. Ourdissage sectionnel : Principe de base. ....	13
Figure 1-15. Réunissage : Principe de base .....	14
Figure 1-16. Encollage. Principe de base.....	15
Figure 1-17 : Rentrage : Principe de base.....	16
Figure 1-18 : Lame : Principe de base. ....	16
Figure 1-19 : Rentrage suivi.....	17

Figure 1-20 : Rentrage sauté .....	17
Figure 1-21 : Rentrage en pointe.....	18
Figure 1-22 : Peigne .....	18
Figure 1-23. Nouage : Principe de base. ....	19
Figure 1-24. Mode d'observation d'un tissu .....	19
Figure 1-25. Représentation d'un tissu à base d'une armure toile.....	21
Figure 1-26. Représentation d'un tissu à base d'une armure sergé. ....	21
Figure 1-27. Représentation d'un tissu à base d'une armure satin .....	22
Figure 1-28. Représentation globale des dérivées des armures fondamentales.....	22
Figure 1-29. Représentation des cannelés réguliers.....	23
Figure 1-30. Représentation des Cannelés réguliers .....	23
Figure 1-31. Représentation des Reps réguliers.....	23
Figure 1-32. Représentation des Reps irréguliers .....	24
Figure 1-33. Représentation des Natté réguliers .....	24
Figure 1-34. Représentation des Natté irréguliers .....	24
Figure 1-35. Représentation des Croisé réguliers .....	25
Figure 1-36. Représentation des Sergés composés .....	25
Figure 1-37. Sergé façonné .....	26
Figure 1-38. Représentation des Satins à répétition « effet chaîne » .....	26
Figure 1-39. Représentation des Satins à répétition« effet trame» .....	27
Figure 1-40. Représentation des Satins alternatifs.....	27
Figure 1-41. Représentation d'un satiné .....	27
Figure 1-42. Principe d'obtention des doubles faces .....	28
Figure 1-43. Doubles faces par la chaîne .....	29
Figure 1-44. Doubles faces en trame .....	30
Figure 1-45. Tissus multiples.....	31
Figure 1-46. Quadruple étoffe liée par ascension d'une chaîne sur la trame.....	32
Figure 1-47. Quadruple étoffe à chaîne de liage .....	32
Figure 1-48. Triple-étoffe liée par ascension d'une chaîne sur la trame.....	32
Figure 1-49. Triple étoffe liée par descension d'une chaîne sur la trame .....	32
Figure 1-50. Triple étoffe liée par ascension et descension.....	32
Figure 1-51. Triple étoffe liée par ascension et descension.....	32

Sommaire « Figures et tableaux / chapitre 2 : les limites de tissabilité»

Figure 2-1: L'écart " B " n'apparaît pas lorsqu'il n'y a pas d'opposition de liage.....	35
Figure 2-2: Proportionnalité apparente entre titrage et tassement. ....	36
Figure 2-3: Variations dues à la différence de densité des fils. ....	36
Figure 2-4: Variations dues à la différence de flexibilité.....	36

Sommaire « Figures et tableaux/chapitre3 : Analyse Bibliographique»

Tableau 3.1: Coefficients de tassement pour différents types de fil .....	41
Tableau 3.2: Masses volumiques de différentes fibres textiles.....	42
Tableau 3.3: Valeurs du facteur d'armure pour différentes armures. ....	43
Tableau 3.4: Valeurs de m pour différentes armures.....	45
Figure 3:1: Projection verticale.....	43
Figure 3:2: Coupe dans le sens chaîne.....	44
Figure 3:3: Coupe dans le sens trame .....	44

Figure 3:4: La géométrie de la théorie de la courbure d'Ashenhurst.....	45
Figure 3:5: La géométrie de Love en « champs de course ».....	47
Figure 3:6: La géométrie de Peirce .....	48
Figure 3:7: La géométrie du tissu selon Seyam et El Shiekh.....	49
Figure 3:8: Variation du rendement par rapport à la saturation avec une vitesse constante.....	51
Figure 3:9: Variation de la vitesse par rapport à la saturation avec un rendement constant.....	52

Sommaire « Figures et tableaux/chapitre 4: Les indices de saturation et limites de tissabilité»

Figure 4-1 : Coupe Chaîne – tissu simple .....	55
Figure 4-2: Coupe Trame – tissu simple .....	57
Figure 4-3: Coupe Chaîne Emb=0 .....	61
Figure 4-4: Coupe Trame Ret=0 .....	61
Figure 4-5: Graphiques de validation des indices numériques-tissu simple.....	66
Figure 4-6: Graphiques de validation des indices numériques-tissu double face .....	67
Figure 4-7: Abaque de saturation – Indice numérique.....	69
Figure 4-8: Armure diagonale.....	69
Figure 4-9 : Exemples d'armures.....	73
Figure 4-10 : Modélisation pour calculer la masse surfacique maximale.....	74
Figure 4-11: Coupe Chaîne $\alpha=0$ .....	76
Figure 4-12: Coupe Trame $\alpha=1$ .....	76
Figure 4-13 : Graphiques de validation des indices massiques-tissu simple .....	83
Figure 4-14 : Graphiques de validation des indices massiques-double face .....	84
Figure 4-15: Armure diagonale.....	85
Tableau 4-1: Expressions finales des indices de saturation généralisées.....	61
Tableau 4-2: Indices de saturation « Booten » rectifiés.....	62
Tableau 4-3: Interprétations des indices numériques.....	64
Tableau 4-4: Interprétations des indices numériques.....	64
Tableau 4-5: Caractéristiques des machines et des trames utilisées .....	65
Tableau 4-6: Indices de saturation de l'armure diagonale .....	70
Tableau 4-7: Indices de saturation massique Chaîne, Trame et Tissu .....	75
Tableau 4-8: Expression des indices pour les tissus simples .....	78
Tableau 4-9: Indices massiques et limite de tissabilité .....	79
Tableau 4-10: Interprétations des indices massiques.....	80
Tableau 4-11: Interprétations des indices massiques.....	81
Tableau 4-12: Caractéristiques des machines et trames utilisées .....	82

Sommaire « Figures et tableaux/chapitre 5 : Etude et Expérimentation»

Tableau 5-1: Armures simples .....	90
Tableau 5-2: Armures double faces et multicouches .....	91
Tableau 5-3: Tissus simples.....	92
Tableau 5-4: Armures doubles face .....	92
Tableau 5-5: Armures Multicouches.....	92
Tableau 5-6: Répartition des crochets.....	94
Tableau 5-7: Mise encarte.....	95
Tableau 5-8: Titre de fils.....	99
Tableau 5-9: les propriétés des différents fils. ....	99
Tableau 5-10: caractéristiques de perméabilité, masse surfacique, laize, embuvage et retrait :.....	109
Tableau 5-11: caractéristiques de perméabilité, masse surfacique, laize, embuvage et retrait :.....	110

Tableau 5-12: caractéristiques de perméabilité, masse surfacique, laize, embuvage et retrait :..... 111

Figure 5-1: Machine de tissage .....	93
Figure 5-2: Montage jacquard.....	95
Figure 5-3: Montage jacquard (1 chaîne / 1 trame) .....	96
Figure 5-4: Montage jacquard (2 chaînes / 1 trame).....	96
Figure 5-5: Montage jacquard (4 chaînes / 1 trame).....	97
Figure 5-6: Expression de l'embuvage et du retrait.....	98
Figure 5-7: Maille mètre .....	98
Figure 5-8: MESDAN Thickness-Lab-1880.....	100
Figure 5-9: Dimensions des éprouvettes.....	102
Figure 5-10: Dimensions des éprouvettes.....	103
Figure 5-11: cisaillement de l'appareil KES.....	103
Figure 5-12: Procédé de cisaillement sur l'appareil KES.....	104
Figure 5-13: Diagramme de contrainte-déformation de la mesure de traction KES .....	105
Figure 5-14: Compression de l'appareil KES .....	106
Figure 5-15: Graphiques perméabilité 1 .....	112
Figure 5-16: Graphiques perméabilité 2 .....	113

Tableau 5-9: Graphes : (G, 2HG et 2HG5 / Armure Croisé2/2) = f (duitage).....	115
Tableau 5-10: Graphes : (G, 2HG et 2HG5 / Armure Repts2/2) = f (duitage) .....	116
Tableau 5-11: Graphes : (G, 2HG et 2HG5 / Armure Toile) = f (duitage).....	117
Tableau 5-12: Graphes : (LC & WC, T0 & Tm, RC / Armure Croisé2/2) = f (duitage /cm).....	119
Tableau 5-13: Graphes : (LC & WC, T0 & Tm, RC / Armure Repts2/2) = f (duitage) .....	120
Tableau 5-14: Graphes : (LC & WC, T0 & Tm, RC / Armure Toile) = f (duitage).....	121
Tableau 5-15: Graphes : (G, 2HG et 2HG5 / Armure DFS8) = f (duitage).....	124
Tableau 5-16: Graphes : (G, 2HG et 2HG5(gf/cm.deg) / Armure DFS4) = f (duitage) .....	125
Tableau 5-17: Graphes : (G, 2HG et 2HG5(gf/cm.deg) / Armure DFR8A) = f (duitage).....	126
Tableau 5-18: Graphes : (G, 2HG et 2HG5(gf/cm.deg) / Armure DFR8B) = f (duitage).....	127
Tableau 5-19: Graphes : (LC & WC , T0 & Tm, RC / Armure DFR8A) = f (duitage).....	129
Tableau 5-20: Graphes : (LC & WC, T0 & Tm, RC / Armure DFR8B) = f (duitage).....	130
Tableau 5-21: Graphes : (LC & WC , T0 & Tm, RC / DFS4) = f (duitage).....	131
Tableau 5-22: Graphes : (LC & WC , T0 & Tm, RC / Armure DFS8) = f (duitage) .....	132
Tableau 5-23: Graphes : (G, 2HG et 2HG5 / Armure TMR2) = f (duitage).....	135
Tableau 5-24: Graphes : (G, 2HG et 2HG5 / Armure TM2) = f (duitage) .....	136
Tableau 5-25: Graphes : (G, 2HG et 2HG5 / Armure TMR1) = f (duitage).....	137
Tableau 5-26: Graphes : (G, 2HG et 2HG5 / Armure TM1) = f (duitage) .....	138
Tableau 5-27: Graphes : (LC & WC , T0 & Tm, RC / TMR2) = f (duitage) .....	140
Tableau 5-28: Graphes : (LC & WC , T0 & Tm, RC / TM2) = f (duitage).....	141
Tableau 5-29: Graphes : (LC & WC , T0 & Tm, RC / TMR1) = f (duitage) .....	142
Tableau 5-30: Graphes : (LC & WC , T0 & Tm, RC / T M1) = f (duitage).....	143

# INTRODUCTION GENERALE

## INTRODUCTION GENERALE

### 0.1 Historique de la fabrication des tissus

#### 0.1.1 Origine des premiers tissus

L'apparition des premiers tissus correspond à la période où l'homme a su pratiquer l'agriculture (fibre végétale) et l'élevage (fibre animale). Cette période se situe au début du néolithique (environ 5000 ans avant JC). L'entrecroisement (armure) la plus communément utilisée et la plus ancienne est la toile. Suivant les pays d'origine, des spécificités propres ont été déclinées ainsi que divers moyens de fabrication.

En Egypte, ont été découverts des tissus éponges datant de la 12<sup>ème</sup> dynastie (1200-1788 av JC), des tapisseries dont la date se situe aux alentours de 1400 av JC et des tissus coptes avec une partie en tapisserie datant du 3<sup>ème</sup> jusqu'au 11<sup>ème</sup> siècle ap JC.

En chine, les structures textiles découvertes s'avèrent plus élaborées en raison de l'utilisation de la technique de liage entre deux autres armures simples. La classification des tissus chinois s'opèrent de la façon suivante : les tissus façonnés monochromes datant de la dynastie Han (200 av JC - 200 ap JC), les damas et les tissus de gaze datant du 1<sup>er</sup> ap JC, les tissus façonnés polychromes datant de la dynastie Han et les tissus velours ou les tissus à boucles polychromes

#### 0.1.1 Origine des premiers métiers

Les fils de chaîne sont montés sur une barre horizontale portée par deux montants verticaux. Une série de poids sont attachés à l'extrémité libre des fils, assurant leur tension (Figure 0-1).

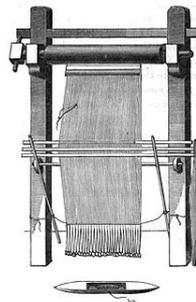


Figure 0-1 : Métier vertical à poids

La séparation des fils de chaîne (fils longitudinaux) en deux ou plusieurs nappes s'effectue par l'intermédiaire de plusieurs lisses nouées sur des traverses et enserrant chacune un fil.

Le métier composé de une ou deux lisses permet la fabrication de tissus en armure toile (apparu dès le néolithique). A partir de l'âge de fer, l'apparition de deux barres supplémentaires rend possible la fabrication des tissus en armure sergé.

D'origine égyptienne, il est utilisé depuis 3000 av JC.

L'ensemble des fils de chaîne et le rouleau d'appel du tissu sont fixés au sol par l'intermédiaire de bâtons de bois. L'insertion de la trame (fil transversal) s'effectue de façon manuelle par le tisserand.

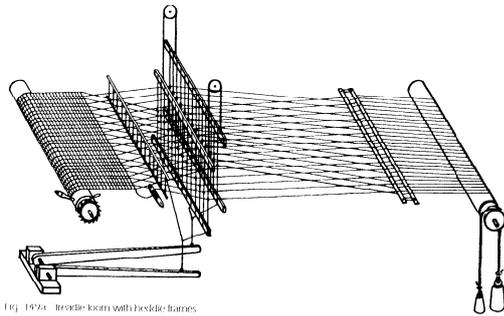


Fig. 1976a - Beesdie loom with flexible frames.

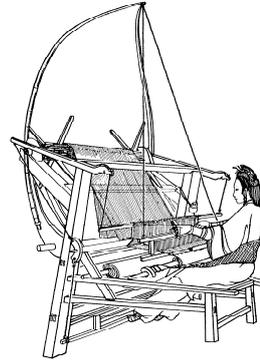


Fig. 1976b - Beesdie loom with flexible frames and 'T' arrangement.

Figure 0-2 : Métiers à pédales pour cadres de lisses

L'apparition des pédales (Figure 0-2) a permis de commander avec les pieds la sélection des fils passant dans les lisses des différents cadres. A ce stade de réalisation, les notions de rentrage et de sélection des cadres sont maîtrisées.

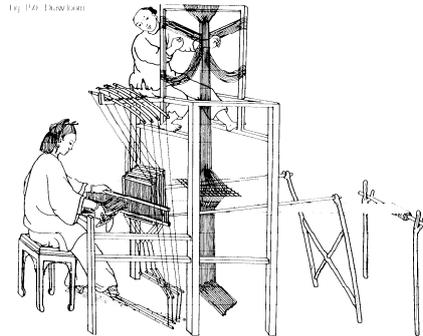


Fig. 1976c - Beesdie loom.

Figure 0-3 : Métier à la tire

Les métiers à la tire (Figure 0-3) (ancêtre du principe de sélection des fils indépendants les uns des autres par Jacquard) permettent de réaliser des motifs beaucoup plus élaborés que ceux réalisés sur les métiers à pédales. La création est obtenue par l'intermédiaire d'un assistant situé au dessus du métier qui sélectionne les fils de chaîne correspondant au dessin par l'intermédiaire d'un groupe de cordes attachées sur ces fils.

## 0.2 Introduction

Le tissage est une fois un art et une technologie millénaire.

La fabrication des tissus actuels est fondée sur le même principe que le tissage de l’Egypte ancienne. Toutefois, si la technologie de tissage actuelle est proche de la technologie ancestrale, les applications des structures tissées ont dépassé le domaine traditionnel de l’habillement pour conquérir le domaine des applications techniques.

Le très grand nombre d’entrecroisement de tissage possible, la diversité des matières utilisées et les différents principes d’insertions vont influencer à la fois sur la tissabilité des structures et sur leurs propriétés mécaniques. Ces deux aspects sont devenus un centre d’intérêt important et de nombreux travaux de recherche y sont consacrés.

Cette thèse a été réalisée dans le cadre d’une collaboration entre le laboratoire de Recherche en Matériaux TEXTile **REMTEX** de l’Ecole Supérieure des Industries de Textile et de l’Habillement **ESITH** de Casablanca au Maroc et le Laboratoire de Physique et Mécanique Textiles **LPMT** de Mulhouse en France.

L’objectif du travail est de mieux formaliser la tissabilité et son influence sur les propriétés de certaines structures textiles.

## 0.3 Chapitres du mémoire

Ce mémoire se subdivise en 8 chapitres

- ❖ Dans le premier chapitre : TISSAGE 2D et 3D

Dans ce chapitre, nous présenterons le processus de tissage depuis la matière première sous formes de fils jusqu’au produit fini sous forme de tissu chaîne et trame, les principes technologiques d’ourdissage et de tissage et nous présenterons aussi les différents liages de tissus 2D et 3D.

- ❖ Dans le deuxième chapitre : LES LIMITES DE TISSABILITE

Dans ce chapitre, nous exposerons la définition et l’utilité de la limite de tissabilité, les méthodes théoriques et expérimentales de détermination de ces limites ainsi que les facteurs influençant tels que l’armure, la contexture, les caractéristiques de la machine à tisser...

- ❖ Dans le troisième chapitre : L’ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE

Dans ce chapitre, nous développerons dans un premier temps une étude bibliographique concernant les calculs de la structure textile et les méthodes utilisées pour mesurer les propriétés géométriques des tissus : la théorie d’Ashenurst, les règles de law , la théorie de Brierley, la formule de Peirce, et dans un deuxième temps les équations de Love. Puis nous présenterons les approches pour calculer l’indice de saturation pour un certain type de tissu simples et complexes : l’indice de Love, l’indice de Russell, les formules de saturation de Seyam et El Shiekh, l’indice de Booten.

❖ Dans le quatrième chapitre : LES INDICES DE SATURATION

Dans ce chapitre, nous présenterons la modélisation des structures tissées qui a permis de proposer de nouvelles équations de saturations et de limite de tissabilité et qui permettent de prévoir, pour une contexture et une armure donnée en 2D ou 3D, la masse maximale de fil insérable dans le tissu ainsi que la difficulté qui sera rencontrée lors du tissage. Les relations théoriques nouvelles proposées, indices de saturation numérique et indice de saturation massique ont été confirmées par les résultats expérimentaux.

❖ Dans le cinquième chapitre : TESTS ET CONTROLES

Dans ce chapitre, nous exposerons la préparation des échantillons 2D et 3D, la mise en place d'un plan d'expérience de tissage et l'étude des propriétés mécaniques et physiques d'un nombre représentatifs de tissus 2D et 3D

❖ Dans le sixième chapitre : CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons présenté une conclusion et la proposition de quelques perspectives.

❖ Dans le septième chapitre : ANNEXES

Dans ce chapitre, présente les annexes relatifs aux différents chapitres du mémoire.

❖ Dans le huitième chapitre : PUBLICATIONS

Dans ce chapitre, nous mentionnerons les 2 de publications soumises qui découlent des résultats du travail de thèse :

Publication 1	Publication 2
Geometrical Modeling of Woven Fabrics Weavability Limit and tightness	Geometrical Modeling of weight weavability and tightness limit "g/m <sup>2</sup> " for Woven Fabrics
NUMERICAL INDEX	WEIGHT INDEX
Simple and Complex Weaves	Simple and Complex Weaves

# **CHAPITRE 1:**

# **LE TISSAGE 2D et 3D**

## 1. LE TISSAGE

### 1.1. Comment fabriquer un tissu?

#### 1.1.1. Définition d'un tissu

Le tissage crée des surfaces, qui sont obtenues par l'entrecroisement de fils parallèles disposés dans le sens de la longueur (la chaîne) et de fils perpendiculaires disposés en largeur (la trame). La Norme AFNOR NF G 00-001 définit le tissu: Etoffe formée par l'entrecroisement généralement perpendiculaire de deux ensembles de fils, un ensemble longitudinal: la chaîne, un ensemble transversal: la trame: cet entrecroisement est réalisé au cours du tissage sur métier à tisser.

#### 1.1.2. Contexture d'un tissu

La contexture d'un tissu renseigne sur les densités de matière et s'écrit de la façon suivante:

A / B en tex C + E / D + E

- A: Compte en chaîne « Nombre de fils par cm »
- B: Duitage trame « Nombre de duites par cm »
- C: Titre de la chaîne en tex
- D: Titre de la trame en tex
- E: Les matières utilisées en chaîne et en trame

Exemple :

La contexture d'un drap de lit : Toile, 27/23 en Tex 50 coton /50 coton,

Toile : l'armure de base, 100% coton : le type de la matière et le pourcentage utilisé.

27/23 : indiquent les comptes Chaîne / Trame en fils par cm.

50/50 : indiquent les titres des fils Chaîne/Trame.

#### 1.1.3. Présentation générale des produits tissés

La Figure 1-1 présente différents types de tissus

Tissu à Usage Technique



Habillement



Ameublement



Figure 1-1 : Les types de tissus

La Figure 1-2 présente différentes catégories de tissus

Tissu armuré



Tissu Jacquard



Figure 1-2 : Les catégories de tissus

**1.1.4. Principe de base de la formation d'un tissu**

La majorité des différents types de tissu sont formés dans une zone située entre un ensemble de fils de chaîne disposés parallèlement entre eux sur une ensouple avec une tension constante et un rouleau d'appel entraînant le tissu. Deux opérations principales sont réalisées dans cette zone : une opération de sélection des fils de chaîne et une opération d'insertion de la trame (Figure 1-3).

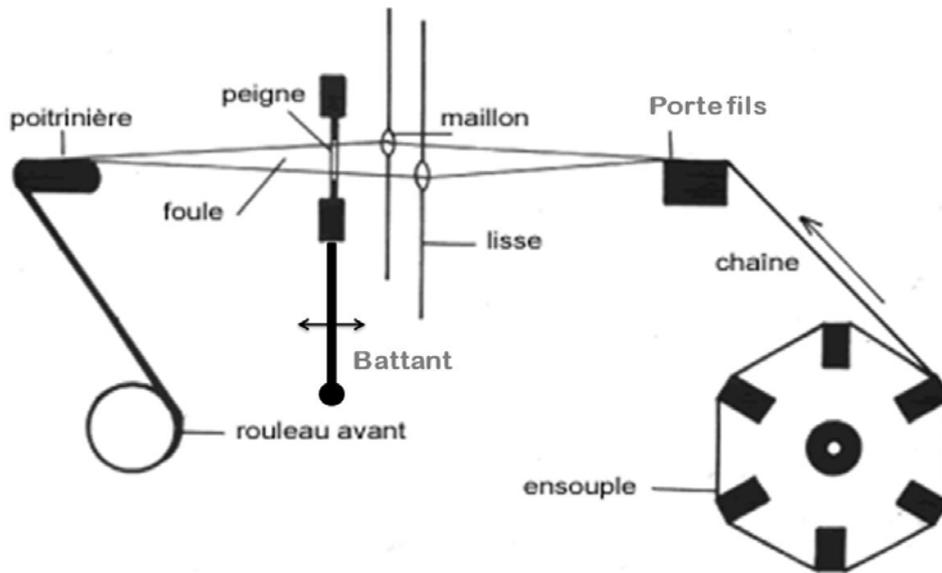


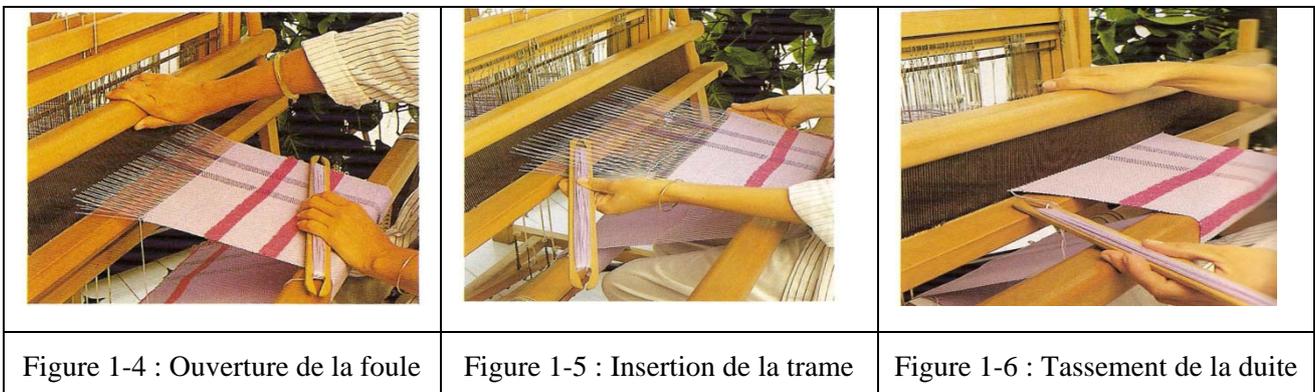
Figure 1-3 : Schéma général de la formation d'un tissu

Les différentes étapes de la formation du tissu se succèdent dans l'ordre d'apparition des figures suivantes et généralement en un tour d'arbre moteur.

Etape 1 : Sélection des fils de chaîne afin de former deux nappes distinctes (supérieures et inférieures). L'angle formé par la formation des deux nappes s'appelle la foule (Figure 1-4).

Etape 2 : Insertion de la trame par l'intermédiaire d'un vecteur propre au métier (Figure 1-5).

Etape 3 : Tassement de la trame sur le point de façade par le peigne du métier à tisser. Le point de façade représente l'intersection des nappes de fils de chaîne au niveau de la formation du tissu (Figure 1-6).



La foule est donc caractérisée par l'angle formé par la séparation des nappes de fils de chaîne inférieures et supérieures (Figure 1-7).

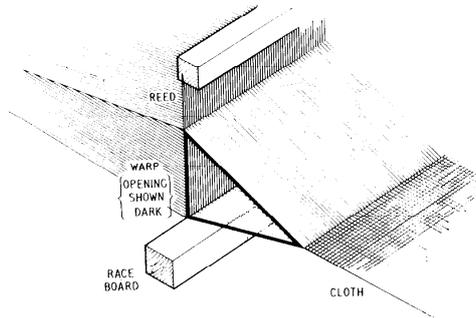


Figure 1-7 : Foule formée par les deux nappes de fils de chaîne

### 1.1.5. Circuits principaux de fabrication des produits tissés

Les Figure 1-8, Figure 1-9 et Figure 1-10 présentent les principaux circuits de fabrication des tissus.

<p style="text-align: center;"><b>Echantillonnage</b></p> 	<p>Il s'agit de préparer des échantillons de tissus pour la préparation des collections.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Petite et moyenne série</b></p> 	<p>Il s'agit d'ateliers à vocation polyvalente qui produisent des lots de tissu en petites séries. Les ordres de fabrication sont très nombreux. L'entreprise travaille sur cahier des charges ou spécifications définies par le client, Elle est maîtresse de son savoir-faire et de sa capacité de production,</p> <p style="text-align: center;">Exemple : fabrication des tissus d'ameublement Ou tissus technique</p>
<p style="text-align: center;"><b>Grande série</b></p> 	<p>Quantités importantes de tissus peu différenciés, On produit sur stocks établis de manière prévisionnelle,</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Flux poussé : les produits sont fabriqués à partir de prévision de vente, ou des commandes fermes.</li> <li>• Flux tiré : les produits sont fabriqués pour remplacer les produits vendus (stock).</li> </ul> <p style="text-align: center;">Exemple : fabrication des tissus jeans</p>

Figure 1-8 : Circuits principaux de fabrication des produits tissés

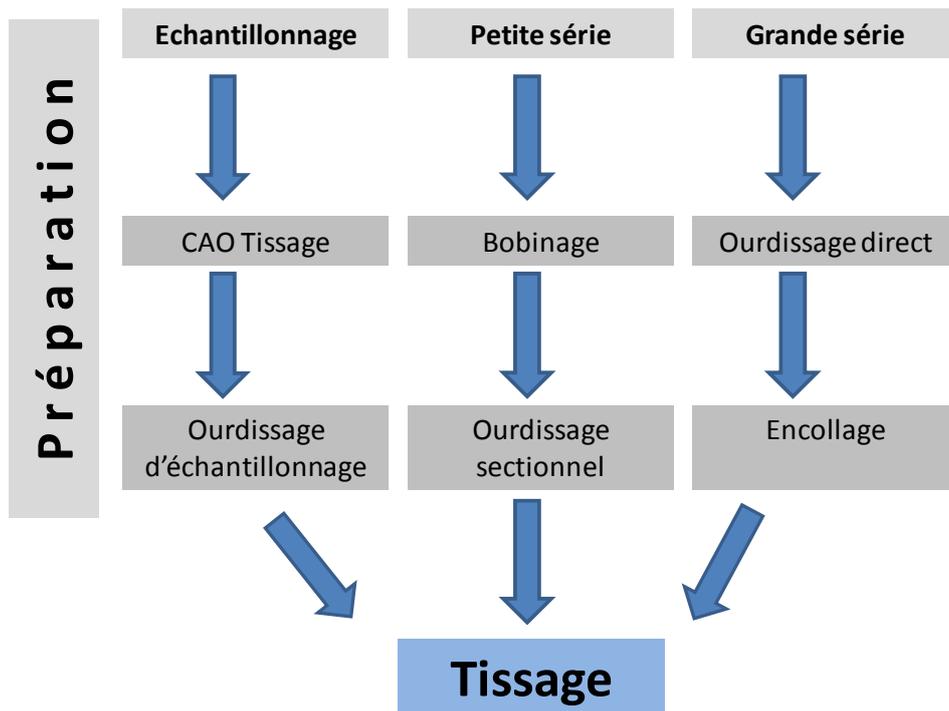


Figure 1-9 : Procédés de formation des tissus armurés et Jacquards.

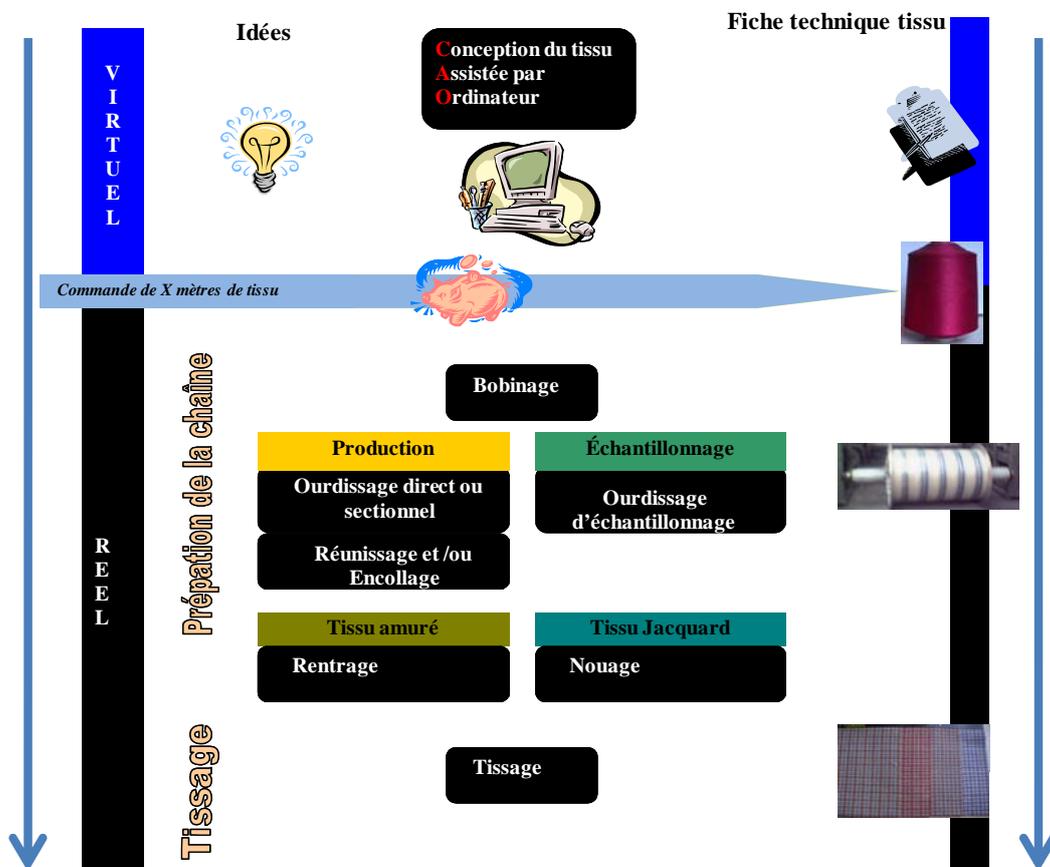


Figure 1-10 : Le tissu : De l'idée de conception jusqu'à sa réalisation.

### 1.1.6. Principales étapes de la préparation de la chaîne

#### Le bobinage

L'opération de bobinage consiste à prélever les quantités nécessaires et suffisantes de fils sur bobines sorties de filature pour alimenter le cantre (ou râtelier) de l'ourdissage sectionnel en bobine de fils de chaîne. Le nombre de bobines à réaliser sera fonction de la formule d'ourdissage, du raccord d'armure et du nombre de broches disponibles dans le cantre (Figure 1-11).

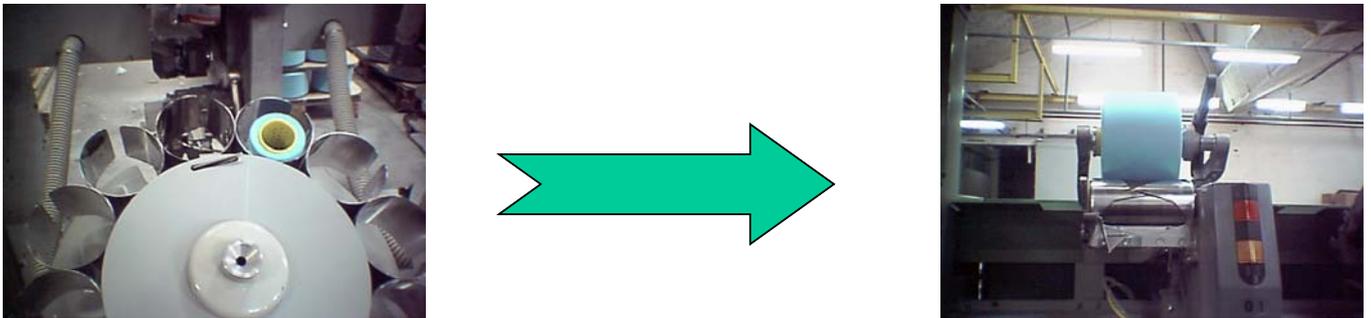


Figure 1-11 : Bobinage : principe de base

#### L'ourdissage

La Figure 1-12 présente l'opération d'ourdissage.

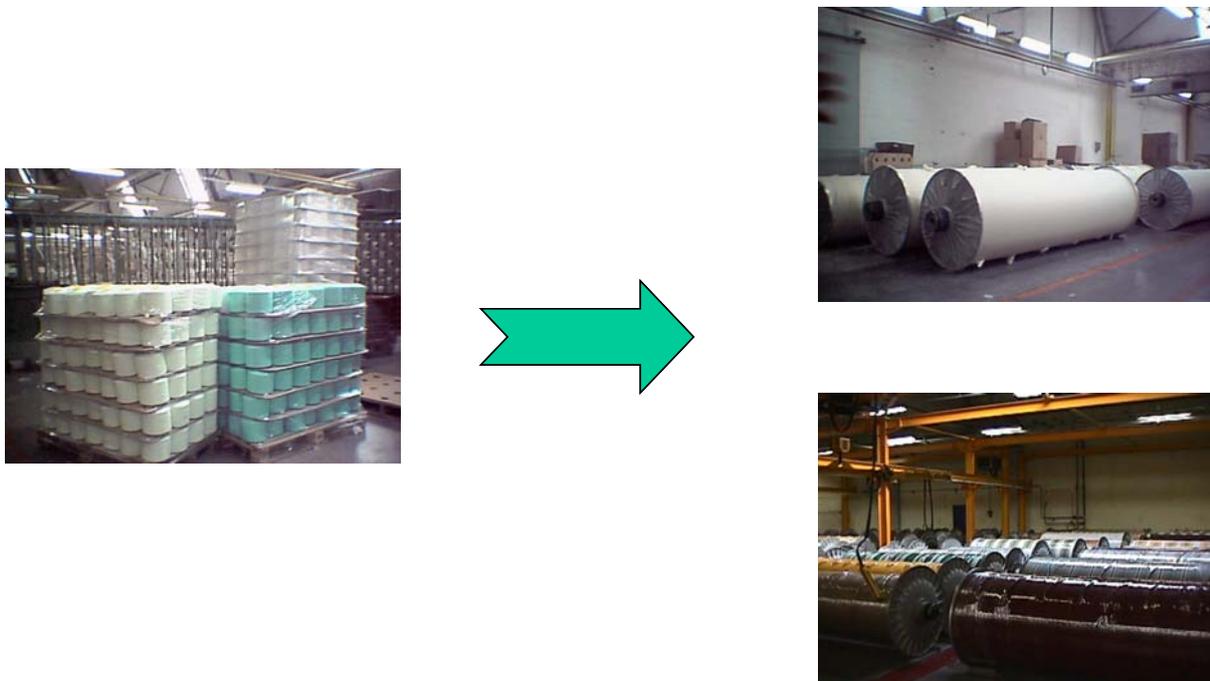
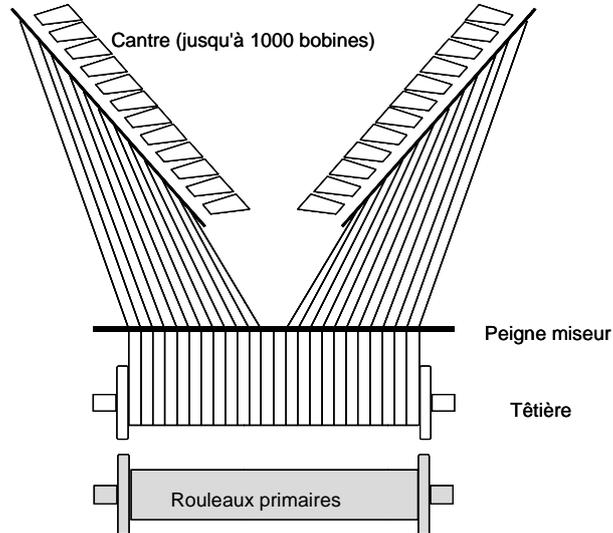


Figure 1-12. Ourdissage : Principe de base

Deux techniques d'ourdissage sont utilisées en fonction de la destination de l'article, l'ourdissage direct (classique) et l'ourdissage sectionnel.

**L'ourdissage direct**

L'ourdissage direct (Figure 1-13) permet de disposer, parallèlement entre eux, directement les fils



de chaîne sur 1 rouleau à partir des bobines disposées dans un cantre.

Figure 1-13. Ourdissage direct : Principe de base.

**L'ourdissage sectionnel**

L'ourdissage sectionnel (Figure 1-14) permet de disposer, parallèlement entre eux, un ensemble de fils de chaîne, constituant une section, sur le tambour de l'ourdissoir. Puis, une fois l'ensemble des sections disposées, une opération de pliage permet de transférer les fils de chaîne de l'ourdissoir à l'ensouple tout en conservant une tension constante.

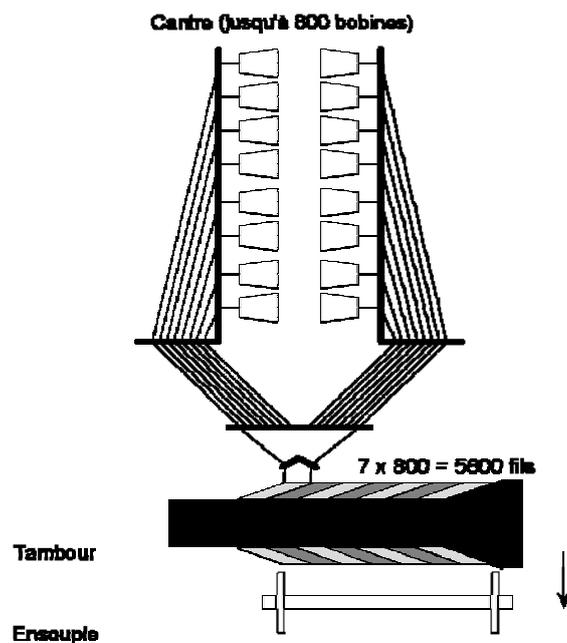


Figure 1-14. Ourdissage sectionnel : Principe de base.

**L'encollage et le réunissage.**

Le réunissage consiste à regrouper les rouleaux primaires (**Figure 1-15**) sur une ensouple et l'encollage (Figure 1-16) consiste à enrober les fils de chaîne par une couche de colle pour assurer une protection passagère parfois définitive (Denim) des fils de chaîne, destinée à augmenter leur résistance aux sollicitations du tissage.

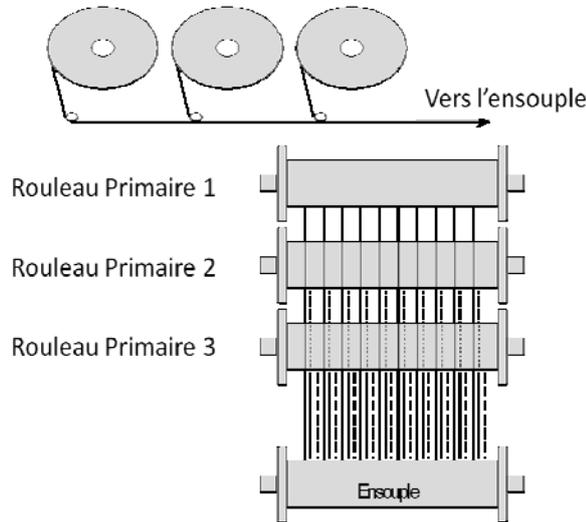


Figure 1-15. Réunissage : Principe de base

L'encollage doit donc:

- ✓ Améliorer la tenue aux extensions répétées,
- ✓ Unifier les fibres entre elles,
- ✓ Améliorer la capacité de travail,
- ✓ Améliorer la résistance à l'abrasion,
- ✓ Diminuer ou éliminer les accrochages de fils,

Le besoin d'encollage augmentent si:

- ✓ Le Fil est non retors
- ✓ Le titre chaîne diminue,
- ✓ Le compte chaîne augmente,
- ✓ La torsion chaîne diminue,
- ✓ La pilosité chaîne augmente,

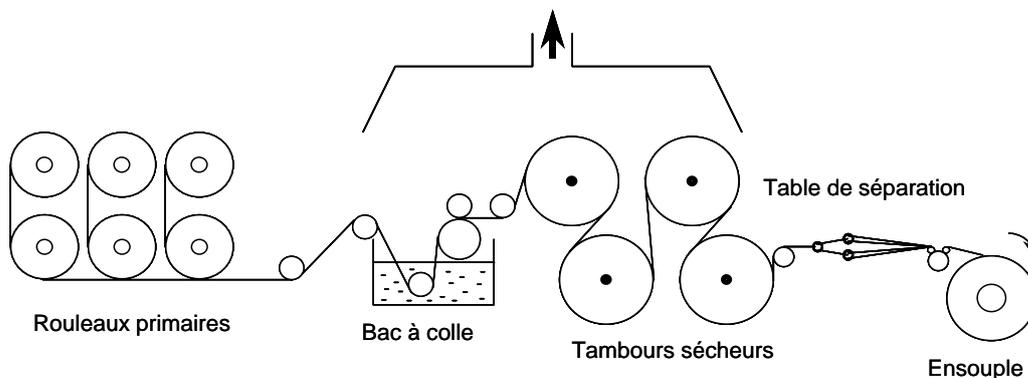


Figure 1-16. Encollage. Principe de base

**Le rentrage :**

Consiste à passer chaque fil de chaîne dans le maillon d'une lisse, dans un ordre déterminé, à l'aide d'une passette (Figure 1-17).

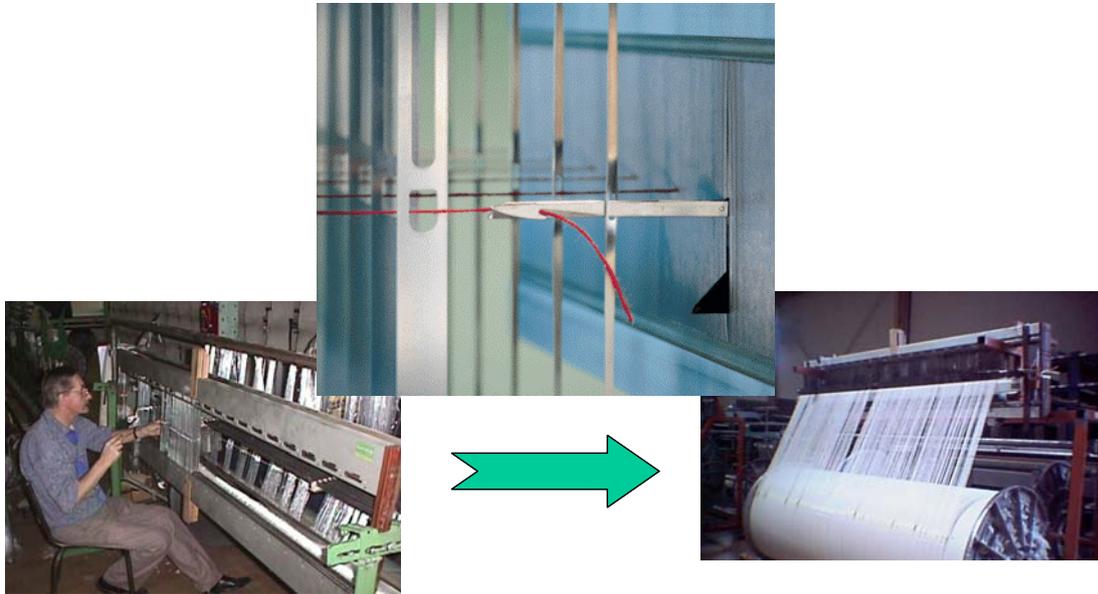


Figure 1-17 : Rentrage : Principe de base.

Ce type de rentrage est effectué sur les machines à lames ou cadres (Figure 1-18) dont la formation de la foule est assurée par bloc de came ou ratière.

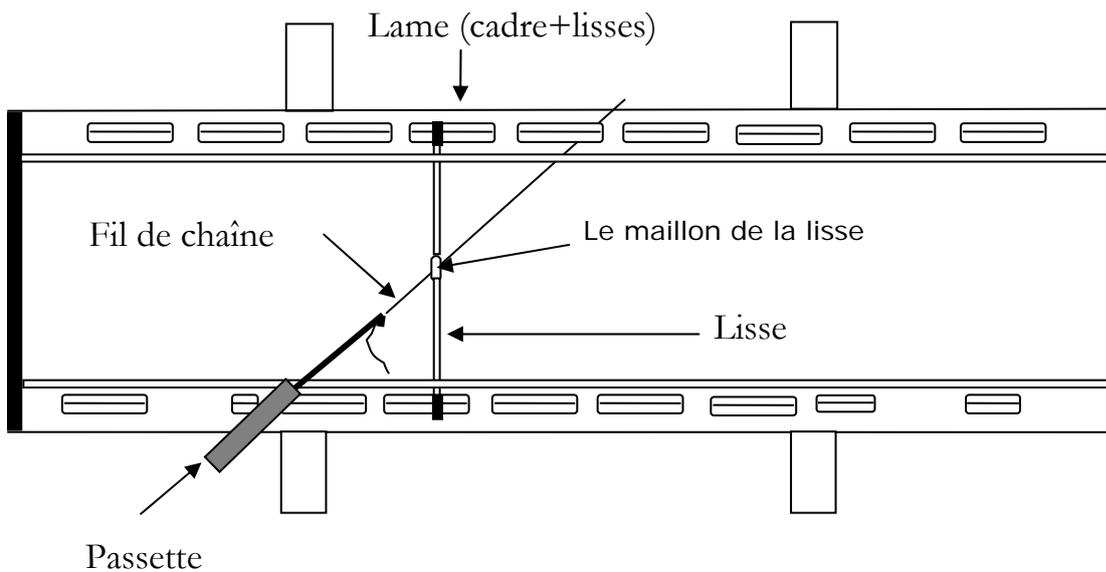


Figure 1-18 : Lame : Principe de base.

## Les types de rentrage

Le rentrage donne lieu à des combinaisons les plus variées, mais les types les plus courants sont les suivants:

- ✓ Rentrage suivi
- ✓ Rentrage sauté
- ✓ Rentrage à pointes et retour

Le rentrage est indiqué par un graphique dans lequel les cadres sont représentés par des traits horizontaux que l'on numérote de bas vers le haut. Le premier trait (en haut) correspond sur le métier au cadre le plus éloigné du tisseur quand il tisse.

### Rentrage suivi dans les lisses des cadres

Il est le plus simple et le plus courant (Figure 1-19). Les fils sont passés dans les lisses du premier au dernier cadre sans interruption. S'il y a 4 lames (cadres) :

- Le 1er fil est rentré dans la 1ère lisse de la 4ème lame.
- Le 2ème fil est rentré dans la 2ème lisse de la 3ème lame.
- Le 3ème fil est rentré dans la 3ème lisse de la 2ème lame.
- Le 4ème fil est rentré dans la 4ème lisse de la 1ème lame.

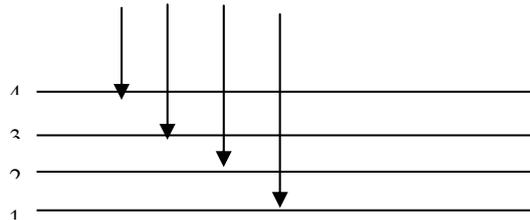


Figure 1-19 : Rentrage suivi

### Le rentrage sauté dans les lisses des cadres

Avec ce rentrage (Figure 1-20), l'accrochage entre les fils de chaîne diminue pendant la formation de la foule.

- Le 1er fil est rentré dans la 1ère lisse de la 4ème lame.
- Le 2ème fil est rentré dans la 2ème lisse de la 2ème lame.
- Le 3ème fil est rentré dans la 3ème lisse de la 3ème lame.
- Le 4ème fil est rentré dans la 4ème lisse de la 1ème lame.

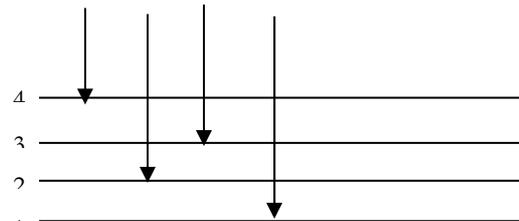
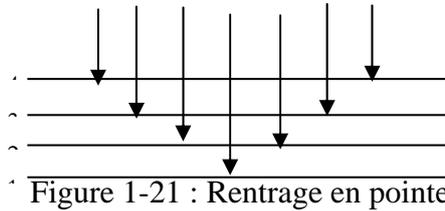


Figure 1-20 : Rentrage sauté

### Le rentrage à pointe et retour dans les lisses des cadres

Il consiste à rentrer (Figure 1-21) un certain nombre de fils suivis de la première à la dernière maille (lisse) et un certain nombre de fils de la dernière à la première.



### Le rentrage dans les lisses des arcades

Ce type de rentrage est effectué sur les machines dont la formation de la foule est assurée par une mécanique jacquard.

#### Pour les métiers jacquard :

- Le rentrage dans les lisses des arcades est toujours suivi.
- Le rentrage se fait manuellement fil par fil sur la machine.
- Perte du temps considérable lors de l'installation.

Aujourd'hui les harnais sont livrés avec une chaîne rentrée pour gagner du temps.

### Le piquage au peigne

Consiste à passer chaque fil de chaîne indépendamment ou des fils groupés par 2, 3, 4 ... dans une dent du peigne.

Le peigne (Figure 1-23) est constitué de garde, broches et se caractérise par :

- la densité (nombre de dents/cm)
- largeur total (cm)
- le nombre de dents totales

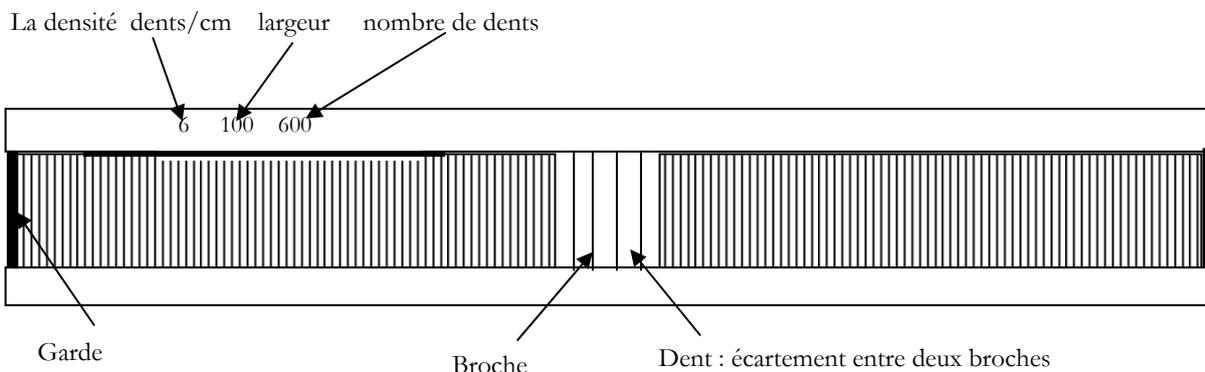


Figure 1-22 : Peigne

Le peigne définit la largeur de tissage appelée empeignage.

### **Le nouage :**

Le nouage (Figure 1-23) est une opération de préparation qui consiste à nouer les fils de la nouvelle chaîne avec les fils de l'ancienne chaîne lorsqu'on utilise :

- ✓ le même montage
- ✓ le même nombre de fils
- ✓ le même empeignage
- ✓ le même titre (avec différent titre faisable mais difficile à réaliser)
- ✓ la même matière (avec différente matière faisable mais difficile à réaliser)

Ceci afin d'éviter la longue et difficile opération du rentrage et du piquage au peigne.

Pour faire le nouage, on a besoin du banc de nouage et de la machine à nouer.

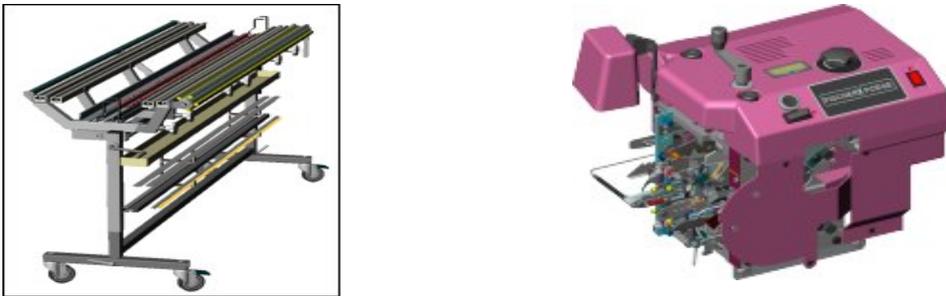


Figure 1-23. Nouage : Principe de base.

## **1.2. Représentation des tissus simples :**

### **1.2.1. La théorie des armures fondamentales**

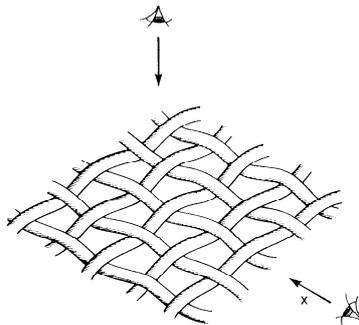


Figure 1-24. Mode d'observation d'un tissu

Deux directions peuvent être utilisées pour représenter le liage obtenu par un tissu.

La vue suivant la normale au tissu permet de représenter l'ensemble des liages de fils de chaîne et trame caractérisant l'armure (Figure 1-24).

La vue suivant une coupe chaîne ou trame permet de représenter localement l'évolution du ou des liages d'un ou plusieurs fils de chaîne ou trame.

### 1.2.2. Normalisation de la représentation

#### L'armure :

L'armure caractérise le mode d'entrecroisement des fils de chaîne et de trame.

#### La mise en carte :

La mise en carte s'effectue suivant un quadrillage dont chaque rangée verticale représente un fil de chaîne et chaque rangée horizontale un fil de trame. Chaque case représente l'intersection d'un fil de chaîne et d'un fil de trame. Deux évolutions du fil de chaîne sont possibles et désignés par les deux états suivants :

Pris : Passage du fil de chaîne au dessus du fil de trame.

La case correspondante sur la mise en carte est, par convention, noircie (ou contient un signe).

Sur le métier à tisser, le fil de chaîne doit lever pour le passage de la duite.

Laissé : Passage du fil de chaîne au dessous du fil de trame.

La case correspondante sur la mise en carte reste, par convention, blanche (ou est vide).

Sur le métier à tisser, le fil de chaîne doit baisse pour le passage de la duite.

#### Le rapport d'armure

Il caractérise le nombre de fils et duites nécessaire (juste) et suffisant à la reproduction de l'armure.

#### Un flotté chaîne:

Représente la longueur du fil chaîne passant sur plusieurs fils trames successive.

#### Un flotté trame:

Représente la longueur du fil trame passant sur plusieurs fils chaînes successive.

#### Le décochement vertical

La valeur du décochement est égale au nombre de duites à compter de bas en haut, à partir d'un « pris » ou « laissé » pour trouver sur le fil de chaîne le « pris » ou le « laissé » le plus proche.

#### Le décochement horizontal

La valeur du décochement est égale au nombre de fils de chaîne à compter à partir d'un « pris » ou « laissé » de gauche à droite, pour trouver sur la duite suivante le « pris » ou le « laissé » le plus proche.

#### Les armures fondamentales

Armures qui servent de base pour tous les types d'entrecroisement qui peuvent se présenter dans le tissage : elles sont au nombre de trois (toile, sergé, satin).

### 1.2.3. Toile

#### Description

C'est l'armure la plus simple et la plus utilisée (Figure 1-25), elle est caractérisée par la disposition inverse des fils pairs et des fils impairs : chaque fil de chaîne passe alternativement au dessus et en dessous de chaque fil de trame.

La variété des tissus à base de toile provient :

- de la nature des fils employés
- de la grosseur et de la torsion des fils
- de la réduction du tissu
- de l'apprêt
- des effets factices

**Construction**

Toile

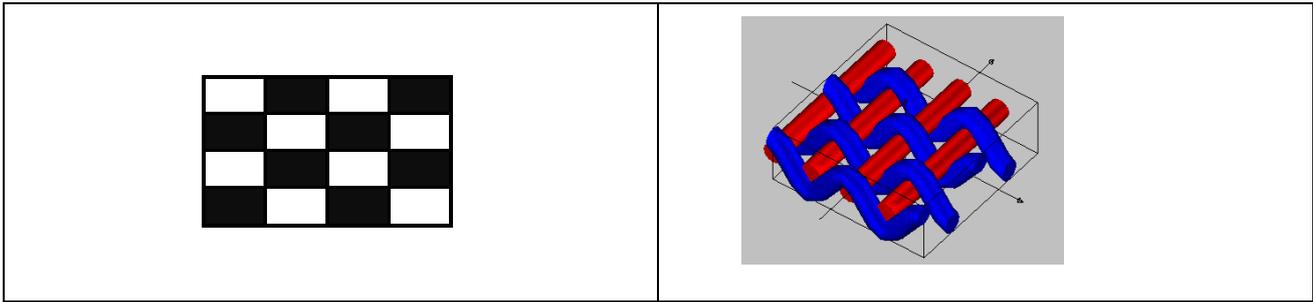


Figure 1-25. Représentation d'un tissu à base d'une armure toile.

**1.2.4. Sergé**

**Description**

Le sergé (Figure 1-26) est une armure formée de flottés chaîne ou trame liés par un point suivant un décalage de un. Le flotté caractérise une bride flottante comprise entre deux pris du tissu. Le sergé est désigné par son rapport d'armure, son effet produit sur la face d'endroit et le sens de la croisure.

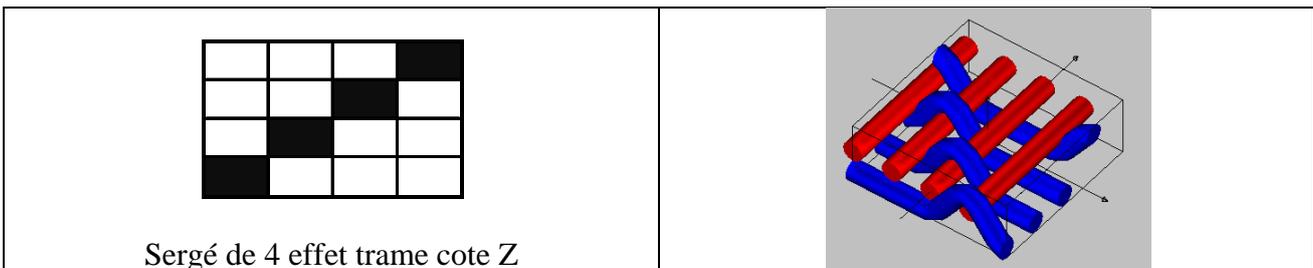


Figure 1-26. Représentation d'un tissu à base d'une armure sergé.

**1.2.5. Satin**

**Description**

Le satin (Figure 1-27) est un tissu uni, dans lequel grâce à la dissémination des points de liage, on évite tout effet accentué de diagonale. Comme le sergé, il n'a qu'un point de liage sur chaque fil et sur chaque duite du rapport d'armure. Les satins diffèrent des sergés par un décalage différent de 1.

**Construction**

Le satin est désigné par son rapport d'armure, son effet produit sur la face endroit et son décalage.

La valeur du décalage d'une armure satin de rapport d'armure R peut être un nombre premier (ne possédant de multiplicateur commun) avec le rapport d'armure R excepté l'unité et R-1.

Les valeurs des décalages principaux sont inférieures à la moitié du rapport d'armure.

Pour les effets chaîne, le décalage est dans le sens de la chaîne.

Pour les effets trame, le décalage est dans le sens de la trame.

Valeurs des décochements de l'armure satin pour un rapport d'armure donné

Satin	Valeurs de décochements												
4	<b>irrégulier</b>												
5	1	2	3	4	5								
6	<b>irrégulier</b>												
7	1	2	3	4	5	6	7						
8	1	2	3	4	5	6	7	8					
9	1	2	3	4	5	6	7	8	9				
10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
11	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
13	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

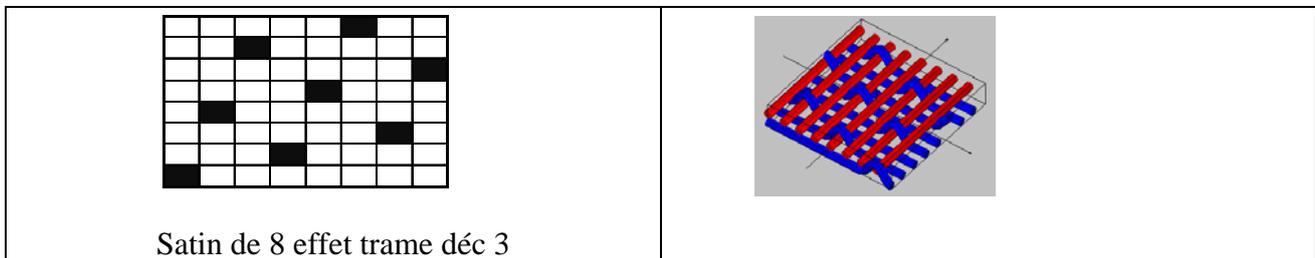


Figure 1-27. Représentation d'un tissu à base d'une armure satin

**1.2.6. Récapitulatif des armures dérivées des armures fondamentales**

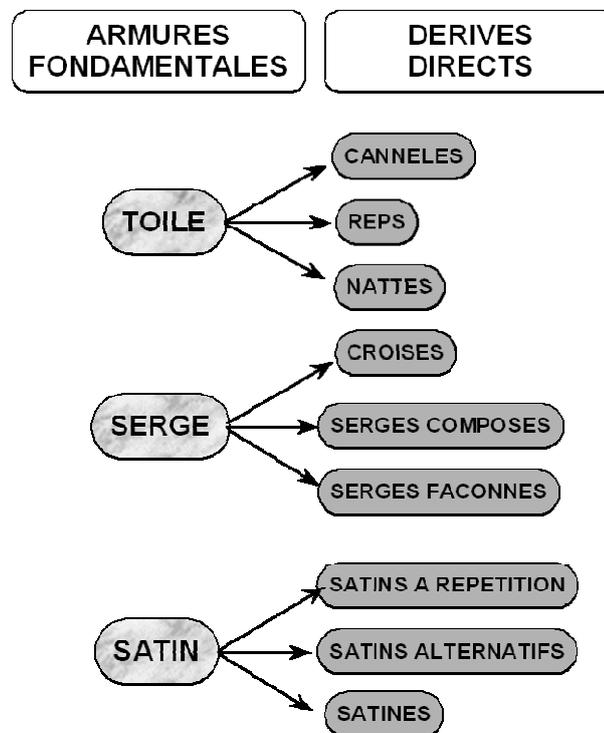


Figure 1-28. Représentation globale des dérivées des armures fondamentales.

A partir des armures fondamentales, il est possible de construire des armures dérivées comme indiqué à la Figure 1-28.

**1.2.7. Toile -> cannelé, reps et natté**

**Définition du cannelé**

Le cannelé est l'amplification en hauteur du point de toile. Autrement dit, c'est une toile dans laquelle plusieurs duites tombent dans le même pas de l'armure ou ouverture de chaîne. Si le nombre de duites insérées dans chaque pas de l'armure est identique, le cannelé sera désigné comme régulier (Figure 1-29), dans le cas contraire il est désigné comme irrégulier.

**Cannelé régulier**

Le nombre de duites insérées dans un même pas ne dépassent pas 4. De ce fait, il n'existe que trois cannelés réguliers : le cannelé 2-2 appelé aussi « Gros de Tours », le cannelé 3-3 et le cannelé 4-4.

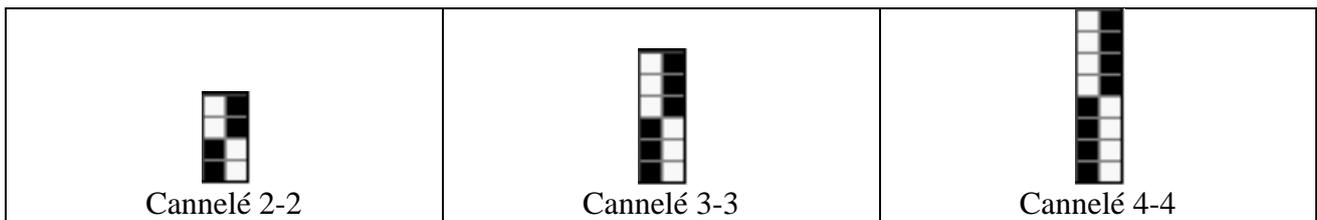


Figure 1-29. Représentation des cannelés réguliers

**Cannelé irrégulier**

Les cannelés irréguliers (Figure 1-30) peuvent être classés de trois façons :

- les cannelés variés où l'on varie périodiquement le nombre de trames dans chaque pas.
- les cannelés interrompus, où l'on sépare les cannelures par une, deux ou plusieurs duites à une seule trame fine.
- les cannelés variés interrompus qui sont la combinaison des deux précédents.

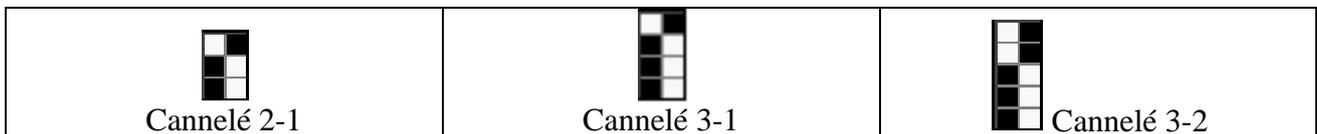


Figure 1-30. Représentation des Cannelés réguliers

**Définition du reps**

Le reps est l'amplification en largeur du point de toile. Si le nombre de fils levés ou baissés dans chaque pas de l'armure est identique, le reps est désigné comme régulier (Figure 1-31), dans le cas contraire il est désigné comme irrégulier (Figure 1-32).

**Reps régulier**

Le nombre de fils levant ou baissant dans le même pas ne dépasse pas 4. De ce fait, il n'existe que 3 reps réguliers : le reps 2-2, 3-3 et 4-4.

**Exemple :**

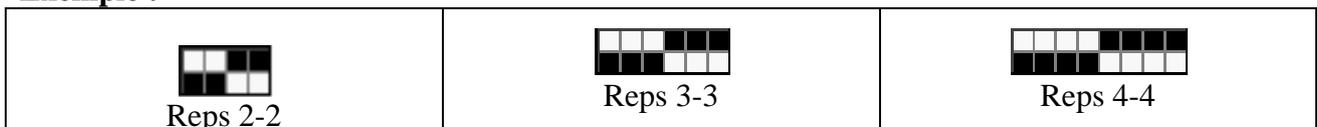


Figure 1-31. Représentation des Reps réguliers

**Reps irrégulier**

De même que pour les cannelés, les reps irréguliers (Figure 1-32) sont de trois types :

- les reps variés
- les reps interrompus
- les reps variés interrompus

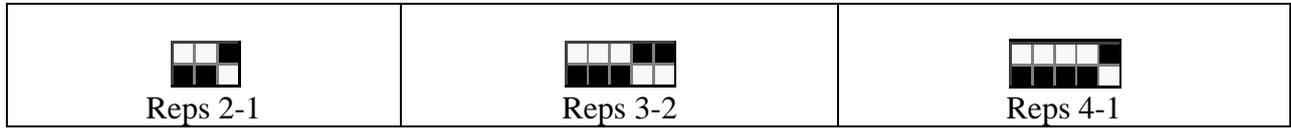


Figure 1-32. Représentation des Reps irréguliers

**Définition du natté**

Le natté est l’amplification en hauteur et en largeur du point de toile. Pour le construire, il suffit de lever ou baisser deux ou plusieurs fils sur ou sous deux ou plusieurs duites pour chacun des points toile. Lorsque les groupes de fils sont égaux, le natté est dit régulier, sinon il est dit irrégulier (Figure 1-33).

**Natté Régulier**

Ils sont couramment employés pour les lisières en draperie ou comme fond dans des rapports très petits car pour des grands rapports la texture devient trop lâche ; de plus, les fils de chaque groupe peuvent glisser, se grouper et se chevaucher, l’aspect peut devenir désagréable. C’est pourquoi on ne trouve que les nattés 2-2, 3-3 et 4-4.

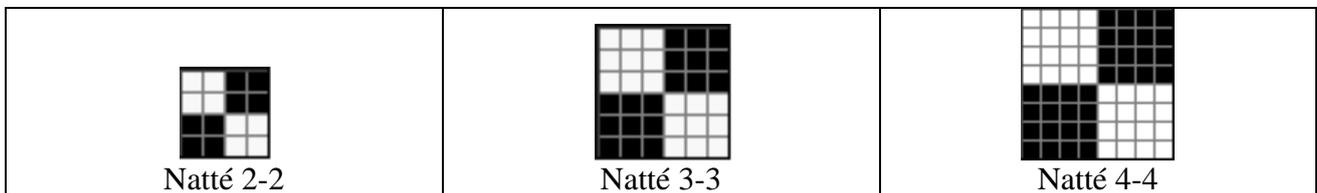


Figure 1-33. Représentation des Natté réguliers

**Natté irrégulier**

Ce sont généralement une combinaison de cannelés et de reps irréguliers (Figure 1-34).

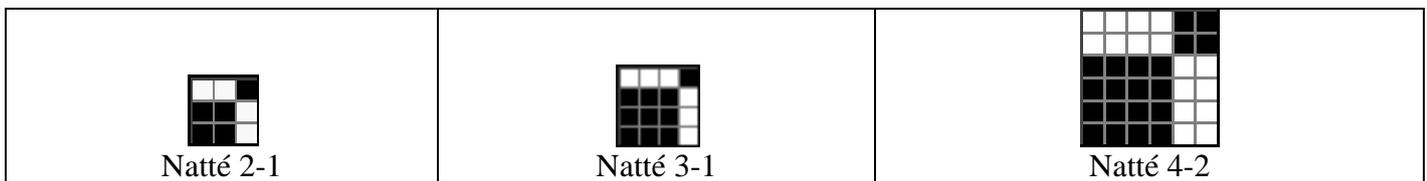


Figure 1-34. Représentation des Natté irréguliers

**1.2.8. Sergé -> croisé, sergé composé et façonné**

**Croisé régulier**

La dénomination des croisés (Figure 1-35) se fait par la grandeur des flottés chaînes d’endroit et d’envers. C’est ainsi que l’on nomme croisé 2-2 (appelée aussi casimir), l’armure dont les raccords sont de 4 fils et de 4 duites avec un flotté de 2 chaîne d’endroit suivi d’un flotté chaîne de 2 d’envers.

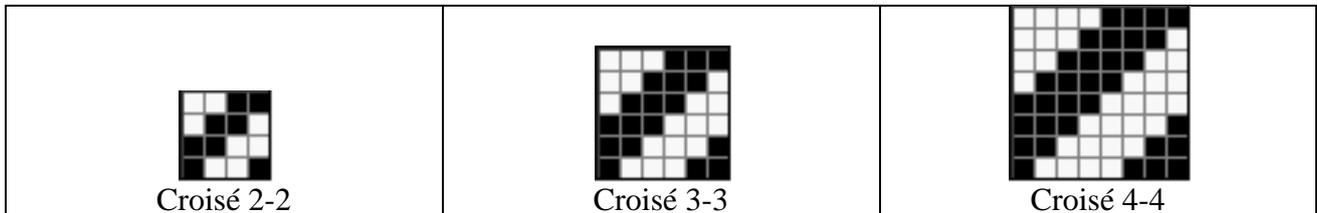


Figure 1-35. Représentation des Croisés réguliers

**Sergé composé**

Dans un croisé à flotté court, la croisure est fine mais paraît fort peu. Elle sera plus accusée si on augmente la longueur des flottés, mais cette diagonale plus marquée se fera au détriment de la solidité ; les fils étant moins liés, le tissu sera plus mou et les fils auront tendance à glisser en offrant ainsi une résistance moins forte. On remédie à cet inconvénient en intercalant entre chaque flotté soit :

- un liage de plusieurs points de toile
- d’autres effets chaîne et trame de valeurs différentes ou différemment placés.

Le choix de la valeur et la disposition des effets dépend du genre d’article pour lequel l’armure est destinée (Figure 1-36).

**Exemple :**

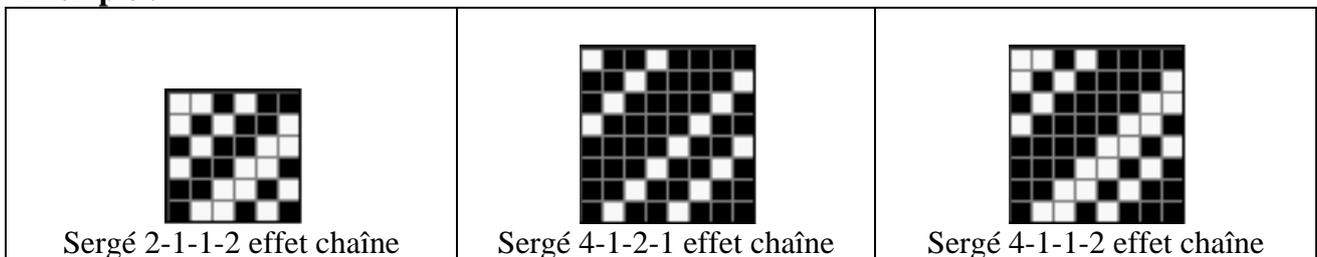


Figure 1-36. Représentation des Sergés composés

**Définition du sergé façonné**

Les sergés façonnés répondent à un effet particulier. Alors que les sergés composés tracent des lignes obliques parallèles d'intensités variées, les sergés façonnés disposent des motifs suivant cette ligne, ce qui donne à l'armure l'aspect d'un granité oblique.

**Sergé façonné**

Il ne peut être donné de règle fixe pour la construction mais on préférera respecter un rapport de divisibilité entre le raccord d'armure et le motif choisi pour être certain du raccordement. On choisit un sergé de base et pour raccord du façonné un multiple chaîne et trame du sergé (ceux-ci sont fréquemment égaux). On partage ensuite le raccord du façonné en autant de parties égales qu'il y a de fils et de duites à l'armure de base. On remplit totalement ou partiellement les divisions correspondantes aux points du sergé. On termine en ajoutant un pointé destiné à compléter le motif et couper les flottés trop longs (Figure 1-38).

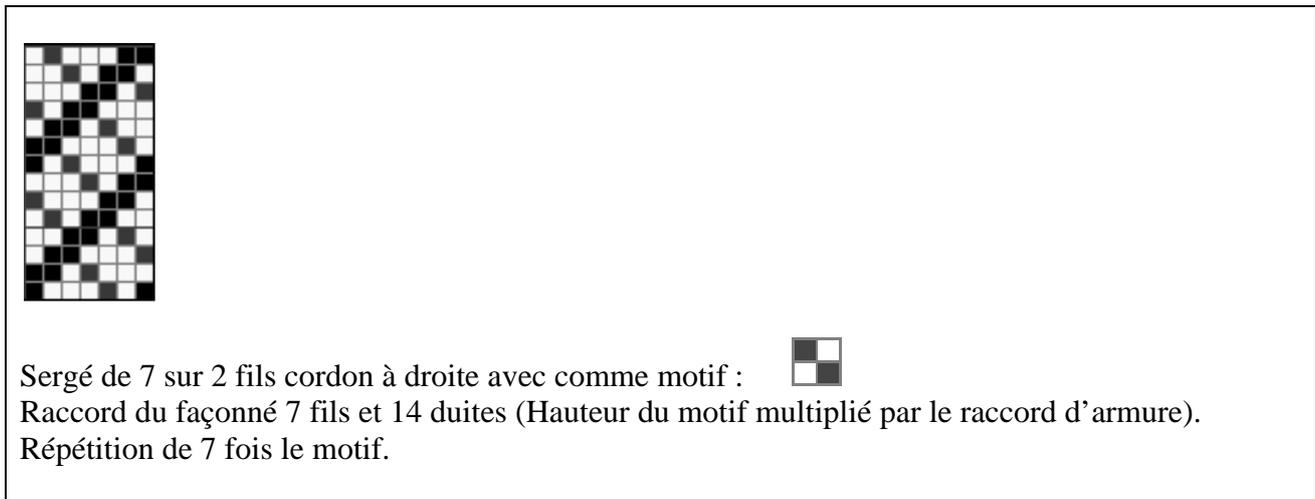


Figure 1-37. Sergé façonné

**1.2.9. Satin -> Satin à répétition, satin alternatif, satiné**

**Définition du satin à répétition**

Ceux sont des satins dans lesquels on double le point de liage dans le sens de l'effet. Ils ont pour but de consolider le tissu tout en conservant l'aspect des satins ordinaires.

Le sens du décochement est fonction de l'effet choisi quelque soit le caractère régulier ou irrégulier du satin de base (Figure 1-38 et Figure 1-39).

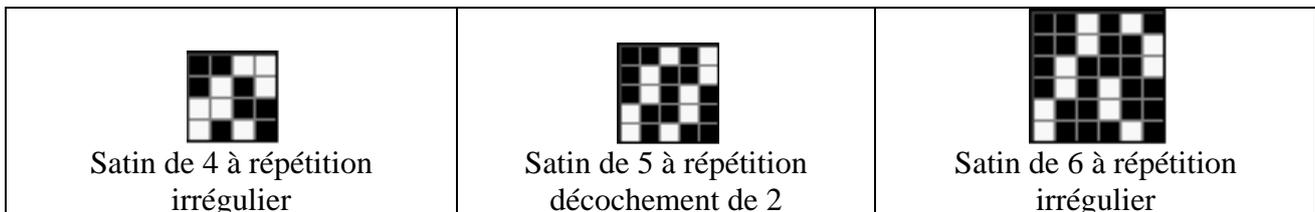


Figure 1-38. Représentation des Satins à répétition « effet chaîne »

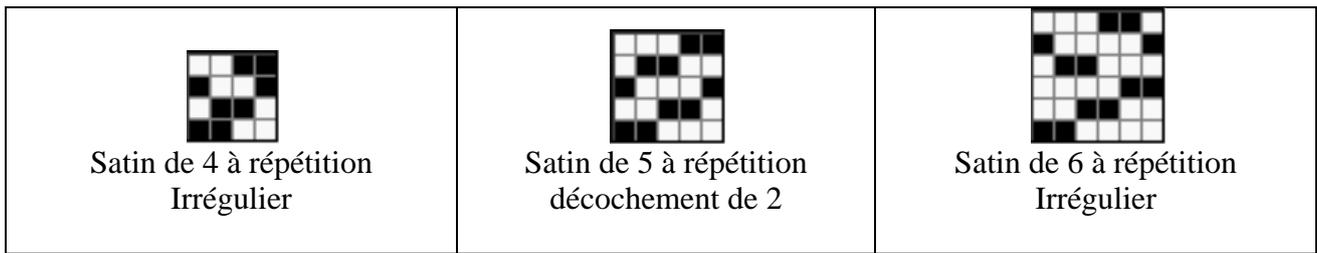


Figure 1-39. Représentation des Satins à répétition « effet trame »

**Satin alternatif**

Comme les satins à répétitions, les satins alternatifs ont un nombre augmenté de point de liage. Le nom donné à ces armures vient de la décomposition du décochement d'un satin en deux ou plusieurs parties dont une au moins est inégale des autres. Ils ont pour but de consolider le tissu, mais l'aspect obtenu est différent des satins ordinaires (Figure 1-40).

Pour construire les satins alternatifs, on pointe les points de liage suivant le sens de décochement adopté. Deux cas se rencontrent :

- Raccord d'armure impair

Les satins alternatifs purs sont donnés par des décochements des satins ordinaires correspondants qui sont décomposés en deux ou plusieurs nombres sauf 2 et son complémentaire (raccord d'armure-2) car, dans ce cas, on obtient des sergés ou des sergés composés.

- Raccord d'armure pair

Celui-ci peut être divisé par deux dans le sens des décochements choisis. Si l'un des décochements est équivalent au demi raccord du satin de base ou au demi raccord + 1, on se trouve dans le cas des satins à répétition ou des satins à duites doubles ou encore à des sergés.

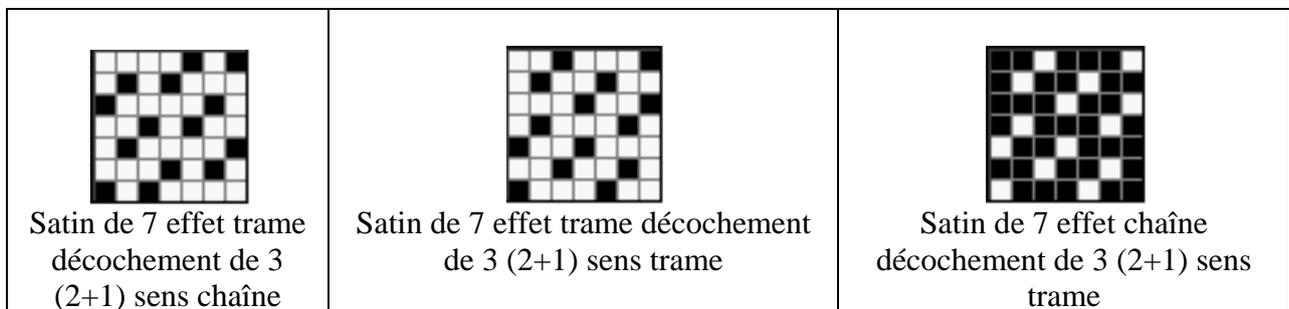


Figure 1-40. Représentation des Satins alternatifs

**Satiné**

Les satinés ont un pointé suivant un satin effet trame ou chaîne et un motif construit sur ce pointé. Pour les construire, on place le motif et on le décoche suivant le satin de base ou alors, on place l'évolution du premier fil et on suit le décochement du satin de base (Figure 1-41).

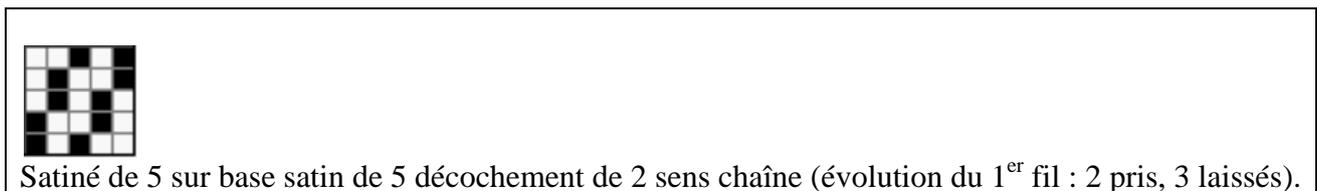


Figure 1-41. Représentation d'un satiné

### 1.3. Modéliser un tissu double faces

#### 1.3.1. Définition des tissus double faces

Les Tissus double face formés se sont des tissus formés :

- soit de 1 chaîne et plusieurs trames
- soit de 1 trame et plusieurs chaînes

Et Présentant une armure différente sur chacune des faces.

#### 1.3.2. Principe d'obtention des doubles faces

On juxtapose très étroitement 2 fils voisins, l'un en effet chaîne, l'autre en effet trame, de façon à ce que l'un puisse recouvrir complètement l'autre (Figure 1-43).

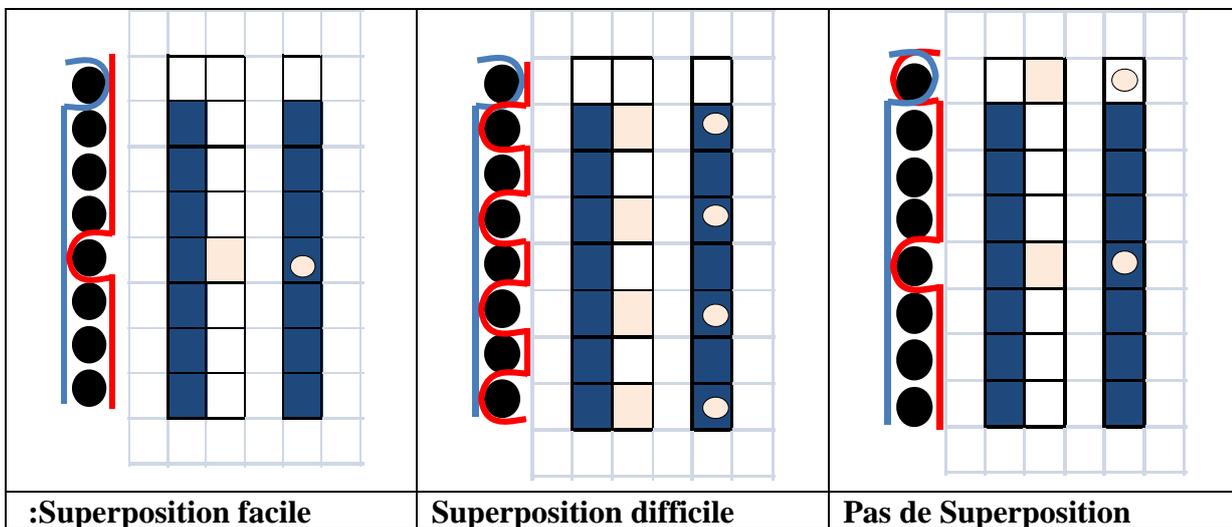


Figure 1-42. Principe d'obtention des doubles faces

- Si tous les pris du fil d'effet trame correspond à des pris du fil d'effet chaîne, si tous les laissés du fil d'effet chaîne correspondent à des laissés du fil d'effet trame, et si le compte en chaîne est suffisamment dense, le fil d'effet chaîne se placera sur le fil d'effet trame.

Dans une disposition fil à fil, si tous les fils d'effet trame coïncident comme précédemment aux fils d'effet chaîne, l'armure d'effet trame apparaîtra uniquement sur l'envers (en effet chaîne visible) l'armure d'effet chaîne apparaîtra uniquement sur l'endroit. On obtient ainsi un tissu présentant un effet chaîne sur chacune de ses faces. On dit qu'il y a "sympathie d'armure"

#### 1.3.3. Classification des tissus double faces

Si les fils considérés sont des fils de chaîne on aura un 'double-face par la chaîne' ou "double-face chaîne", constitué d'une trame et de 2 chaînes

Si les fils considérés sont des duites, on aura un "double face par la trame" ou double-face trame", constitué d'une chaîne et de 2 trames.

**1.3.3.1. Double-faces par la chaîne.**

Composition : 1 trame et plusieurs chaînes

Représentation : L'armure d'endroit est représentée normalement. On lui superpose les pris de l'armure d'envers (représentés par un autre signe, par exemple un point) comme si l'armure d'endroit n'existait pas (Figure 1-44).

Et lorsque tous les points sont dans des carrés pleins, On dit qu'il y a "sympathie d'armure"

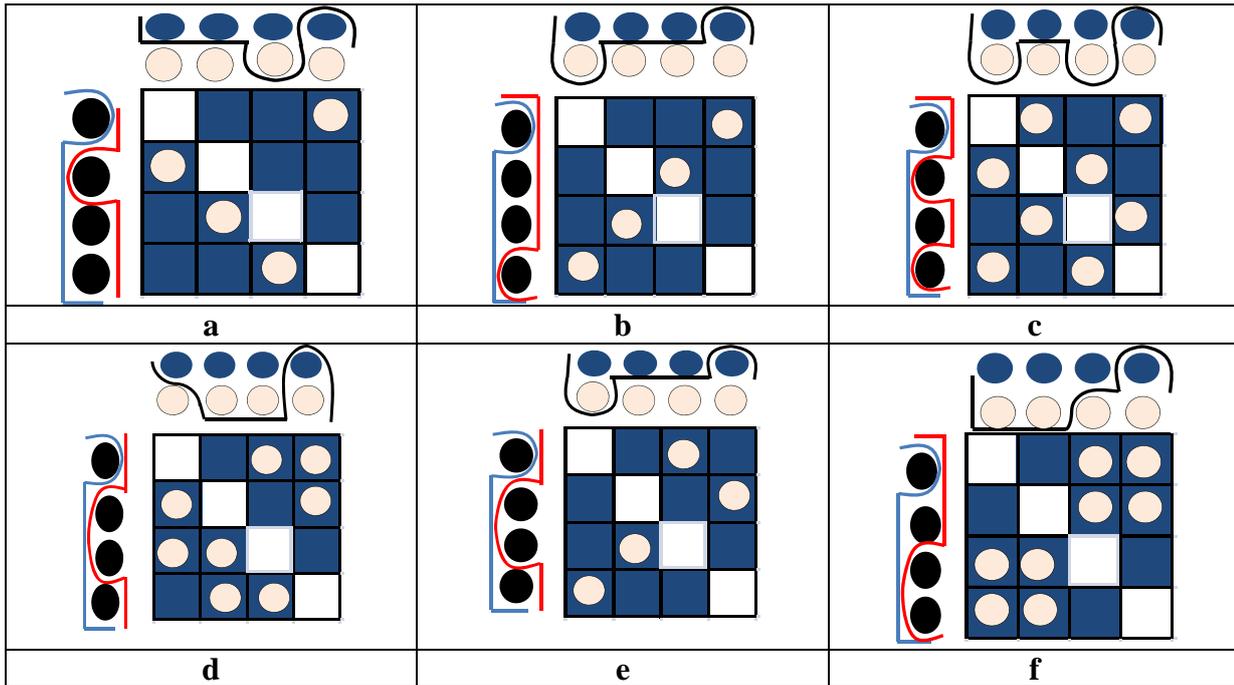


Figure 1-43. Doubles faces par la chaîne

Désignation : Armures Double faces chaîne

Armure	a	b	c
Endroit	Sergé de 4effet chaîne cote S	Sergé de 4effet chaîne cote S	Sergé de 4effet chaîne cote S
Envers	Sergé de 4 effet chaîne visible cote Z	Sergé de 4 effet chaîne visible cote S	Toile
Armure	d	e	f
Endroit	Sergé de 4effet chaîne cote S	Sergé de 4effet chaîne cote S	Sergé de 4effet chaîne cote S
Envers	Croisé 2/2 cote Z visible	Satin turc effet chaîne visible	Natté de 4

La mise en place (superposition) des fils est facilitée si :

- ✓ Il y a une grande différence de longueur de flottés entre fils d'endroit et fils d'envers,
- ✓ Les flottés d'envers sont centrés par rapport aux flottés d'endroit,
- ✓ Le recouvrement est régulier (identique pour tous les groupes de fils),
- ✓ La sympathie se fait par zone.

**1.3.3.2. Double faces par la trame.**

Composition : 1 chaîne et plusieurs trames

Représentation : Si l'on adopte les mêmes règles de représentation que pour les DF CH, la sympathie d'armure n'est pas évidente. Pour cette raison, on a décidé que :

Pour les DF TR, les pris de l'armure d'E sont représentés par des points, les pris de l'armure d'e, vue par transparence à travers l'E, sont représentés par des carrés pleins (Figure 1-44).

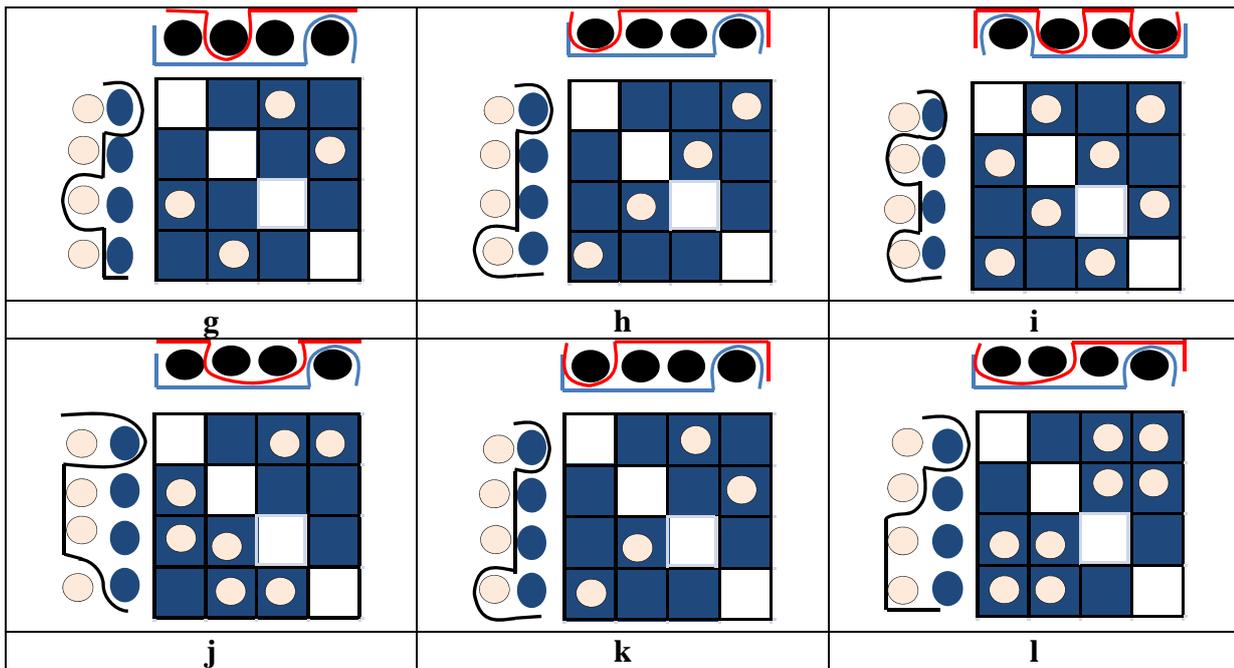


Figure 1-44. Doubles faces en trame

Armures Double faces trame

Armure	g	h	i
Endroit	Sergé de 4 effet trame cote S	Sergé de 4 effet trame cote Z	Toile
Envers	Sergé de 4 effet trame visible cote Z	Sergé de 4 effet trame visible cote Z	Sergé de 4 effet trame visible cote Z
Armure	j	k	l
Endroit	Croisé 2/2 cote S	Satin turc effet trame	Natté de 4
Envers	Sergé de 4 effet trame visible cote Z	Sergé de 4 effet trame visible cote Z	Sergé de 4 effet trame visible cote Z

## 1.4. Représentation des tissus multiples

### 1.4.1. Définition des tissus multiples

Les tissus multiples se sont des tissus formés par :

- plusieurs trames
- plusieurs chaînes

Et Présentent une armure différente sur chacune des couches.

Composition : plusieurs chaînes et plusieurs trames

Représentation : les pris de l'armure de chaque couche sont représentés par un signe différent des armures, des autres couches, vue par transparence de l'endroit du tissu.

### 1.4.2. Définition, aspect :

Etoffes composées de tissus superposés, tissés simultanément de façon à ne former qu'un seul corps dont chaque couche est formée d'une chaîne et d'une trame (Figure 1-45).

#### Modes d'assemblage :

3 façons de lier les couches entre elles :

- Par les lisières : "Etoffes multiples tubulaires"
- Par interversion des tissus : "Tissus poches"
- Par des points de liage régulièrement disposés " Etoffes multiples liées"

Représentation : Comme pour les doubles face-chaîne :  
: La sympathie d'armure n'est pas nécessaire

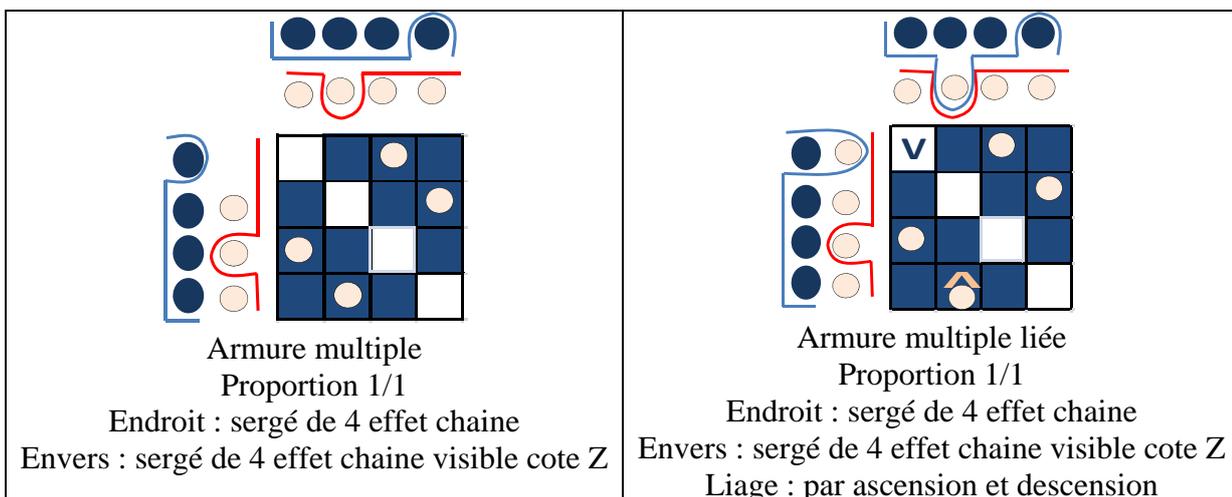
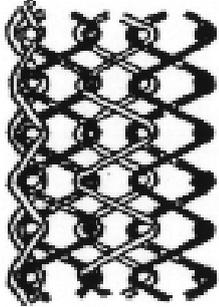
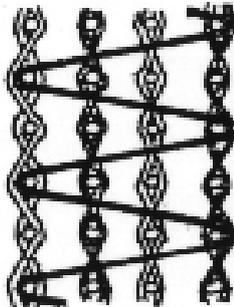
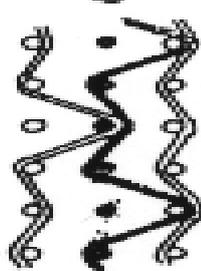
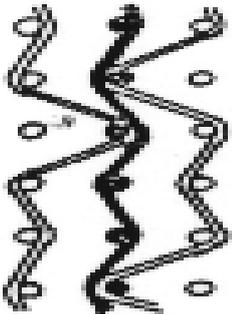
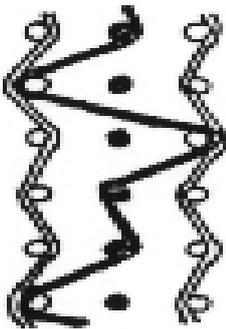


Figure 1-45. Tissus multiples

**1.5. Etoffes Multiples diverses**

Les figures Figure 1-46 à Figure 1-51 représentent divers exemples d'étoffes multiples.

	
<p><b>Figure 1-46.</b> Quadruple étoffe liée par ascension d'une chaîne sur la trame immédiatement au-dessus.</p>	<p><b>Figure 1-47.</b> Quadruple étoffe à chaîne de liage</p>
	
<p><b>Figure 1-48.</b> Triple-étoffe liée par ascension d'une chaîne sur la trame immédiatement au-dessus.</p>	<p><b>Figure 1-49.</b> Triple étoffe liée par descension d'une chaîne sur la trame immédiatement au-dessous.</p>
	
<p><b>Figure 1-50.</b> Triple étoffe liée par ascension et descension des chaînes externes sur la trame interne.</p>	<p><b>Figure 1-51.</b> Triple étoffe liée par ascension et descension de la chaîne interne sur les trames externes.</p>

# **CHAPITRE 2:**

# **LES LIMITES DE TISSABILITE**

## 2. LES LIMITES DE TISSABILITE

### 2.1 Introduction

Chaque modèle de métiers à tisser a des caractéristiques techniques différentes. Malgré la gamme élargie de produits réalisables sur les métiers actuels, les capacités à réaliser un même tissu sont différentes d'une machine à l'autre.

Un des facteurs importants est la contexture du tissu à réaliser. Une étude des limites de tissabilité correspond à savoir si un tissu, défini par son armure et sa contexture, est plus ou moins facilement réalisable sur un métier donné.

### 2.2 Les limites de tissabilité

#### 2.2.1 Définition et utilité des limites de tissabilité

Il n'existe pas de définition claire et précise de ce qu'on appelle " les limites de tissabilité ". Selon le point de vue d'où on se place pour juger un métier, les paramètres importants à évaluer sont différents.

Le tisserand est intéressé par le caractère de difficulté à réaliser un article, l'acquéreur d'un métier par la capacité ou non à réaliser un tissu, le concepteur textile par la densité et l'aspect du tissu...

On peut cependant considérer en simplifiant que les limites de tissabilité répondent globalement à la question " Quelle est la contexture maximale en chaîne et en trame que l'on peut tisser sur ce métier ? "

Il ne s'agit cependant ni du nombre maximal de fils par unité de surface, ni du poids maximal que l'on peut obtenir, ni du tassement ou de la tension maximale, mais d'une association de tout cela.

L'utilité principale du calcul des limites de tissabilité est de savoir si un tissu est réalisable ou non sur un métier. Cependant, certains calculs permettent également d'apprécier la difficulté à réaliser ce tissu.

L'approche de ces facteurs permet de cibler les essais nécessaires à la mise au point d'un nouveau tissu. Cela permet d'éviter des essais trop longs perturbant la production et nécessairement coûteux de part leur mise en œuvre (mise en place d'une chaîne, programmation de l'armure, réglages...).

Les coefficients de difficulté permettent d'éviter des productions endommageant le matériel. Cela permet aussi d'apprécier a priori les problèmes de rendement de production des articles proches des limites de tissabilité.

Il est d'autre part possible de déduire certaines caractéristiques techniques de l'article réalisé. Ces calculs peuvent en effet montrer le serrage des fils entre eux, une épaisseur approximative du tissu, des dispositions des fils... On peut ainsi en déduire des indications sur la perméabilité, la résistance, l'aptitude à la déformation, l'embuvage, le poids au mètre carré.

Le textile n'étant cependant pas une science exacte, les paramètres restant souvent difficiles à mesurer et peu reproductibles, l'utilisation des " formules " de tissabilité reste limitée, et il est difficile de se passer d'essais sur métiers.

L'ensemble des formules fait également très souvent apparaître des coefficients de réglage qui se basent sur des essais préalables.

Une réponse purement théorique, universelle n'a pas encore été trouvée.

### 2.3 Méthodes de détermination des limites de tissabilité.

Les deux principes de détermination des limites de tissabilité sont la méthode théorique (mathématique, géométrique), et la méthode expérimentale (essais multiples).

#### 2.3.1 Les méthodes théoriques.

Elles font appel à la géométrie pour définir les positions des fils les uns par rapports aux autres. Selon les caractéristiques et les facteurs influents, des contraintes locales et globales peuvent être déterminées. Des notions statistiques peuvent également être utilisées dans le cas de fils irréguliers.

Cependant, les paramètres déterminés par des formules théoriques font toujours intervenir des essais expérimentaux ; soit pour déterminer un " coefficient machine ", soit pour déterminer les valeurs limites du paramètre calculé.

#### 2.3.2 Les méthodes expérimentales.

Elles se basent sur de nombreux essais réalisés dans une gamme complète de conditions différentes. Celles-ci peuvent alors être présentées sous formes de tableaux ou de graphiques. Des équations de corrélation peuvent également en être déduites. La méthode reste cependant coûteuse et limitée au métier utilisé. Elle reste souvent un outil pour les constructeurs de métiers, ceux-ci vérifiant de nombreuses conditions d'utilisation de leurs machines.

Les deux notions les plus utilisées sont le coefficient de tissabilité (ou de difficulté), caractérisant le degré de difficulté voire l'impossibilité à réaliser un tissu et le taux de couverture caractérisant plutôt la densité de fils et de duites par unité de surface. Des valeurs limites correspondant à l'impossibilité de tisser sont définies pour ces paramètres (Figure 2-1).

### 2.4 Facteurs influents.

#### 2.4.1 L'armure choisie.

L'armure est un paramètre important des limites de tissabilité car elle détermine le cheminement des fils à travers le tissu. Ainsi, les fils d'une armure toile pourront moins être tassés que ceux d'un sergé, car le croisement des fils nécessite un espacement supplémentaire.

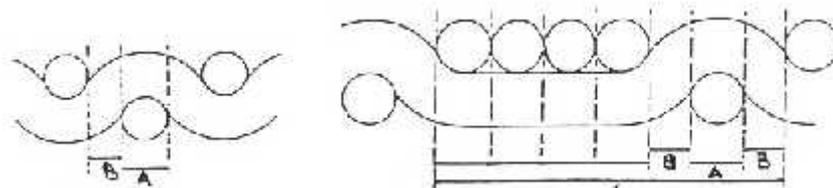


Figure 2-1: L'écart " B " n'apparaît pas lorsqu'il n'y a pas d'opposition de liage.

Pour tenir compte de ce facteur, un coefficient d'armure est souvent introduit dans les calculs.

**2.4.2 La contexture du tissu**

**2.4.2.1 La grosseur et compte des fils.**

La grosseur des fils utilisés ainsi que les comptes (chaîne et trame) influent de façon évidente sur les limites de tissabilité d'un produit comme indiqué Figure 2-2. On considère ici que les comptes sont des contraintes imposées par le métier (commandées par le peigne et l'avance du métier), et non le résultat du tissage.

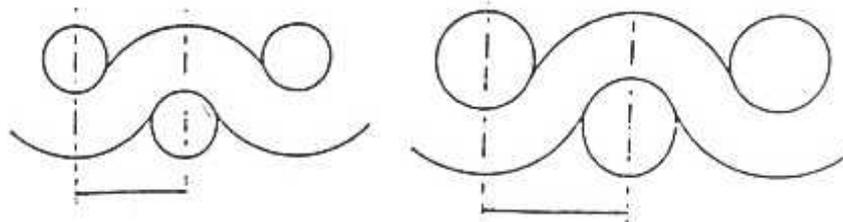


Figure 2-2: Proportionnalité apparente entre titrage et tassement.

**2.4.2.2 La nature des fils utilisés.**

Elle influe selon deux caractéristiques principales : la densité et la flexibilité des fils et des fibres utilisés. La densité des fibres, ou masse volumique, donne la propension du fil à réduire son volume lorsqu'il est tassé, et permet de définir son volume minimal. La flexibilité change les positions de croisures des fils, surtout lorsque les matières chaînes et trames sont différentes (Figure 2-3 et Figure 2-4).

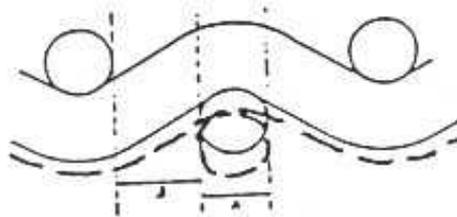


Figure 2-3: Variations dues à la différence de densité des fils.

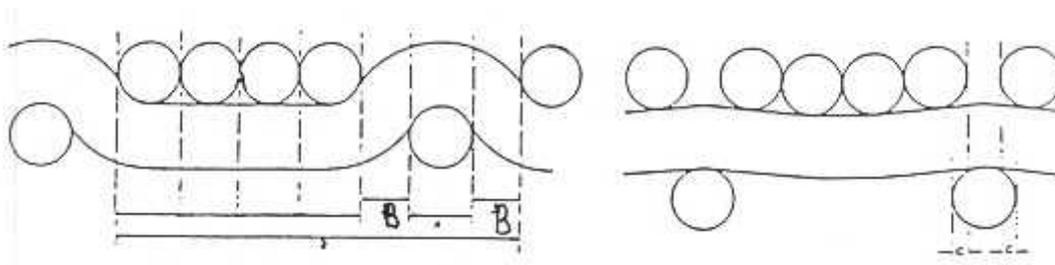


Figure 2-4: Variations dues à la différence de flexibilité.

### **2.4.2.3 La régularité du fil.**

Le facteur de couverture maximal réalisable est plus grand dans le cas d'un fil de trame présentant des finesses de répartition aléatoire, que dans le cas d'un fil de même titre moyen mais présentant des variations de finesse régulières. En effet, quand on tisse avec une duite d'épaisseur régulière, la force de frappe se répartit uniformément le long du fil, mais si la duite a une épaisseur variable, la force de frappe du peigne sera concentrée sur les zones épaisses. En production, on observe effectivement ce phénomène pour certains articles " toile ".

### **2.4.2.4 Les caractéristiques des métiers à tisser.**

Il est clair que chaque métier à tisser a ses propres caractéristiques techniques. Ainsi chaque métier a des capacités particulières pour tisser telle ou telle contexture. Ces différentes aptitudes dépendent de beaucoup de paramètres, variables suivant les différentes options choisies. Les plus influents sont définis ci-après.

### **2.4.2.5 La géométrie de la foule et tension de la chaîne.**

La géométrie de la foule conditionne dans une large mesure l'aptitude à tisser des tissus serrés. Elle-même dépend du système d'insertion utilisé, mais pas seulement de cela mais aussi des autres organes principaux de la machines.

Le tissage d'une toile serrée est facilité lorsqu'on réalise une dissymétrie entre les deux nappes formant le tissu, ce qui permet de tendre alternativement une nappe puis l'autre afin de déformer plus facilement la trame. Cette dissymétrie de tension est obtenue par un déplacement en hauteur du rouleau porte-fil dont la fixation doit permettre ces déplacements (**Figure 1-3**).

Il est nécessaire que la position des différents organes déterminant la foule soit réglable et repérable de façon à ce que les réglages retenus puissent être reportés exactement d'une machine à une autre.

L'effort de tassage est d'autant plus réduit que l'angle d'ouverture de la foule, au moment de la frappe, est plus grand. Ce sera le cas si la distance entre la façade et le premier cadre est courte, tout en respectant une élongation des fils de chaîne satisfaisante lors de l'ouverture de la foule. C'est pourquoi on assiste aux efforts des constructeurs pour diminuer la hauteur de la foule.

### **2.4.2.6 La distance façade / appel.**

Plus le duitage est élevé, plus le tissage devient difficile. En effet, quand on travaille en contexture serrée, lors du coup de battant (**Figure 1-3**), le tissu placé entre le point de façade et l'accrochage du tissu sur le rouleau d'appel va se détendre, prenant ainsi une certaine partie de la force disponible. Pour que le maximum de la force disponible soit consacré au tassage de la duite, il faut que la façade soit aussi proche que possible de l'ancrage du tissu sur le rouleau d'appel.

### **2.4.2.7 Le battant.**

L'effort nécessaire pour tasser la duite est fourni par le système de frappe. Avec l'augmentation de la vitesse, les grands battants qui entraînaient des efforts inertiels trop importants ont été remplacés par des petits battants (commandés par des cames) qui, malgré leur masse plus restreinte, offre des possibilités de tassement plus importantes. En effet, la force disponible est proportionnelle à l'accélération du battant au point mort avant, qui est alors beaucoup plus importante que celle obtenue lors du mouvement sinusoïdal des grands battants.

Il est utile de rappeler que l'efficacité de tassement des duites ne s'accorde pas avec la vitesse élevée. Dans ce cas de production de tissus techniques, particulièrement lorsqu'ils sont duités de trames rigides, il faut accorder un temps suffisant au contact du peigne avec la façade du tissu.

Notons à titre d'exemple que sur les machines du constructeur JÄGER, spécialement construites pour la production de tissus très lourds, la "pression" du peigne est de plusieurs tonnes par mètre et un système spécial de poussée du battant permet une pression prolongée.

### **2.4.2.8 Le porte-fils.**

La plupart des métiers sont équipés d'un porte fil à deux rouleaux, de façon à ce que les conditions de tissage soient indépendantes du diamètre de l'ensouple et donc constantes tout le long de son déroulement. L'utilisation d'un double porte-fils permet de ménager d'avantage la chaîne et de diminuer le refoulement au peigne. A même tension de la chaîne, le double porte-fils permet généralement d'obtenir un duitage plus élevé. Pour les articles à forte densité de chaîne, le tassement de la duite se fait plus facilement grâce à l'oscillation du porte-fils mobile (qui est déchargé par le second porte-fils). Le double porte-fils est donc aussi utilisé dans le domaine de tissage dit "critique", qui est déterminé par l'expérience du constructeur et est défini suivant les caractéristiques de texture du tissu souhaité.

### **2.4.2.9 L'embarreur.**

Ou tube d'embarrage sert à tisser des articles lourds : en effet, il crée sur la chaîne un point fixe capable de mieux résister aux efforts créés lors du coup de battant, permettant ainsi d'obtenir de meilleures conditions de tassement.

### **2.4.2.10 Les cadres de lames.**

On utilise des cadres de lames renforcés et donc plus robustes.

### **2.4.2.11 Le moteur.**

Les courroies trapézoïdales sont renforcées et la puissance du moteur principal est augmentée (par exemples 4.2kW sur SULZER G6300 au lieu de 3.5kW sur SULZER G6100).

La densité de trame maximale réalisable dépend de la tension que l'on donne à la chaîne, mais aucune des formules de tissabilité n'en tient compte (trop difficile à quantifier, et rendrait les formules moins agréables à utiliser car trop complexes).

### **2.4.2.12 La laize.**

La densité maximale de duitage réalisable sur un métier est d'autant plus grande que la laize est petite. Ceci se comprend aisément.

#### **2.4.2.13 Le système d'insertion.**

On voit que l'aptitude d'un métier à tisser des tissus serrés dépend pour beaucoup de la machine elle-même. Mais le système d'insertion utilisé a une répercussion sur les dimensions de la foule qui explique que certains types de métiers soient plus particulièrement capables de tissus serrés.

C'est ainsi que les machines à jet d'air ont généralement une foule plus grande que celle des autres types de machine, c'est-à-dire que la distance entre la façade et la première lame est plus grande ; en effet, il est impératif que le fil de trame ne risque pas de toucher la chaîne ou le peigne, ce qui conduirait inévitablement à un arrêt en trame. Comme par ailleurs, on ne peut pas dépasser une valeur limite pour l'élongation des fils de chaînes lors de l'ouverture de la foule moins élevée que nécessaire pour pouvoir tisser un tissu serré.

# **CHAPITRE 3: ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE**

### 3. ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE

#### 3.1 Introduction

La question de la saturation du tissu se pose généralement lors de la conception d'un nouvel article. La saturation pouvant être définie comme étant la quantité maximale de fil pouvant être insérée dans un tissu donné. Beaucoup de travaux de recherche ont été menés pendant ces 80 dernières années pour traiter les problèmes de la limite de tissabilité d'un article donné ainsi que le nombre maximal de fils ou de duites par unité de longueur qui peut être tissé avec une armure et un fil prédéterminés.

Les raisons motivant ces recherches sont d'une part d'éviter un surcoût de production en essayant de tisser un article impossible à tisser et d'autre part de diminuer les casses des fils et l'usure des éléments de la machine à tisser à cause d'une surcharge sur le métier à tisser pendant l'opération de tissage.

Pour les tissus simples, constitués d'une chaîne et d'une trame, des études théoriques et expérimentales ont été menées pour traiter ce problème. Quant aux tissus complexes, composés de plusieurs chaînes et/ou plusieurs trames « tissu poches, double face, multicouches...etc. », les études traitant ces types de tissus s'intéressent à la modélisation de leurs comportements mécaniques pour des applications dans le domaine des matériaux composites plutôt qu'aux calculs de la limite de tissabilité d'un article donné, bien que cette limite influe sur les propriétés mécaniques.

La difficulté des calculs de la géométrie des tissus en général vient de la complexité de définir un modèle géométrique général et cela à cause des paramètres qui influencent les positionnements des fils dans le tissu (le titre des fils de chaîne et de trame, le type de fil, la matière du fil, le compte (nombre de fils/cm), le duitage (nombre de duites/cm), l'armure, le type de métier à tisser, la vitesse de tissage, la force de frappe du peigne, la tension des fils ....etc.). Ces difficultés sont beaucoup plus importantes lorsqu'il s'agit d'étudier un tissu complexe surtout quand on ajoute aux paramètres précédents la complexité de l'armure et les réglages spécifiques du métier.

Dans ce chapitre, on présentera dans un premier temps une étude bibliographique concernant les calculs de la structure textile ainsi que les méthodes utilisées pour mesurer les propriétés géométriques des tissus, puis nous présenterons une approche pour calculer l'indice de saturation pour un certain type de tissu simples et complexes.

#### 3.2 Calcul de la géométrie des structures textiles simples

##### 3.2.1 Le diamètre de fil

Le diamètre du fil est le premier élément géométrique nécessaire pour calculer les limites de tissabilité. La quasi-totalité des recherches faites dans ce domaine ont considéré que le fil a une forme cylindrique homogène donc une section circulaire et cela pour faciliter le calcul du diamètre. Le diamètre de fil peut être exprimé par la formule suivante [1] :

$$d = \frac{1}{100\pi} \sqrt{\frac{N_t}{\phi \rho_f}} \quad (3.1)$$

Où

- $d$  : Diamètre du fil (cm)
- $\rho_f$  : Masse volumique de fibre (g/cm<sup>3</sup>)
- $N_t$  : Masse linéaire du fil (tex)
- $\phi$  : Coefficient de tassement =  $\rho_y / \rho_f$
- $\rho_y$  : Masse volumique du fil (g/cm<sup>3</sup>)

D’après l’équation (3.1) et avec la prise en compte du coefficient de tassement, ce calcul du diamètre est bien adapté pour tous les types de fil et tous les types de fibre. Le coefficient de tassement dépend des caractéristiques de la fibre (longueur, titre, ...) et des caractéristiques du fil (torsion, méthode de filature,...) et dépend également des paramètres du tissage (duitage, armure, frappe du peigne,...).

Le coefficient de tassement doit être calculé à partir de diamètre du fil dont la mesure est effectuée dans le tissu et non dans l’état libre du fil.

Le tableau 3.2 montre les masses volumiques des fibres les plus utilisées.

Les calculs du coefficient de tassement sont présents dans de nombreux travaux de recherche [2] [3] [4] [5] [6] [7].

Tableau 3.1: Coefficients de tassement pour différents types de fil

Type de fil	Coefficient de tassement
Fil continu à anneaux	0,60
Fil open end	0,55
Fil de laine peignée	0,60
Fil de laine cardée	0,55
Filament continu	0,65

Pour un fil constitué de différentes matières, on remplace la masse volumique de fibre dans l’équation (3.1) par la moyenne pondérée des masses volumiques des fibres constituant le fil. Le calcul se fait selon la formule [8] :

$$\frac{1}{\rho_f} = \sum_1^n \frac{p_i}{\rho_{fi}} \tag{3.2}$$

Où :

- $\rho_f$  : Masse volumique moyenne des fibres
- $p_i$  : Proportion du composant i dans le fil.
- $\rho_{fi}$  : Masse volumique de fibre du composant i
- n : Nombre de composants dans le fil mixte

Tableau 3.2: Masses volumiques de différentes fibres textiles

Type de fibre	Masse volumique de la fibre (g/cm <sup>3</sup> )
Acétate	1,23
Coton	1,52
Verre	2,47
Aramide	1,44
Elasthanne	1,20
Viscose	1,56
Polyamide 6	1,14
Polyamide 6,6	1,13-1,14
Polyester	1,38
Polypropylène	0,91
Fibranne	1,52
Laine	1,32

### 3.2.2 Le facteur d'armure

Le facteur d'armure est une valeur numérique qui représente la quantité d'entrecroisements entre les fils de chaîne et les fils de trame. Ce facteur peut donner une idée sur le degré de la saturation des tissus en faisant la comparaison entre des tissus ayant les mêmes paramètres de production (titre de fils de chaîne et trame, compte, duitage). Lorsque l'évolution du fil de chaîne dans le motif est différente de celle de trame, deux facteurs d'armure sont nécessaires pour définir le facteur d'armure :

$$M_1 = \frac{N_1}{i_1} \quad (3.3)$$

$$M_2 = \frac{N_2}{i_2} \quad (3.4)$$

Où

$M_1$  : Facteur d'armure de chaîne

$N_1$  : Nombre de fils de chaîne dans le rapport d'armure

$i_1$  : Nombre de changements de face du fil (passage de l'endroit à l'envers ou vice-versa) de chaîne dans le rapport d'armure

$M_2$  : Facteur d'armure de trame

$N_2$  : Nombre de fils de trame dans le rapport d'armure

$i_2$  : Nombre de changements de face du fil de trame dans le rapport d'armure

Tableau 3.3: Valeurs du facteur d'armure pour différentes armures.

Armure	N <sub>1</sub>	i <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	i <sub>2</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>
Toile	2	2	2	2	1	1
Sergé 3	3	2	3	2	1,5	1,5
Natté	4	2	4	2	2	2
Croisé 2/2	4	2	4	2	2	2
Satin 5 déc 3	5	2	5	2	2,5	2,5
Cannelés	2	2	4	2	1	2
Reps	4	2	2	2	2	1

### 3.2.3 Le facteur de couverture

Le facteur de couverture en général est le rapport de la surface de la projection verticale de la matière « S<sub>mat</sub> » d'un tissu sur la surface totale de ce tissu « S<sub>tot</sub> » comme le montre la figure 3 :1.

Figure 3:1: Projection verticale

Avec :

C : Compte chaîne, D : Compte trame, d<sub>1</sub> : diamètre de fil de chaîne et d<sub>2</sub> : diamètre de fil trame.

Le facteur de couverture (FC) donne une indication sur l'opacité et la perméabilité d'un tissu. Les formules (3.5) (3.6) et (3.7) explicitent cette définition.

$$FC = S_{mat} / S_{tot} \tag{3.5}$$

$$S_{tot} = 1 / C \cdot 1 / D \tag{3.6}$$

$$S_{mat} = d_1 \cdot 1 / D + d_2 \cdot 1 / C - d_1 d_2 \tag{3.7}$$

Le facteur de couverture selon Peirce [32] est une valeur proportionnelle au rapport de la surface couverte par les fils de chaîne et les fils de trame qui constitue le tissu et celle couverte par le tissu en entier (Figure 3.1).

Peirce [32] a défini cet indice dans l'équation suivante : Equation (3.8)

$$K_f = K_1 + K_2 - \frac{K_1 K_2}{28} \tag{3.8}$$

Où :

K<sub>1</sub> : Facteur de couverture de chaîne

K<sub>1</sub> = Compte (fil/pouce).(titre de fil de chaîne (cotton system))<sup>1/2</sup>

K<sub>2</sub> : Facteur de couverture de trame

K<sub>2</sub> = Duitage (duite/pouce).( titre de fil de trame (cotton system))<sup>1/2</sup>

Dans la suite de ce travail, on prendra en compte la notion et les symboles de Peirce pour exprimer le facteur de couverture.

### 3.2.4 Les théories de la Construction Maximale

#### 3.2.4.1 La théorie d'Ashenhurst « Ends Plus Intersection »

Pour faciliter ses calculs, Ashenhurst [3] suppose que la structure du fil est une structure cylindrique et il suppose aussi que l'écart entre deux fils lors d'un changement de face du fil est égale au diamètre du fil. Les figures 3.2 et 3.3 montrent la géométrie selon la théorie d'Ashenhurst. Les constructions maximales peuvent être calculées selon les équations :

$$t_{1\max} = \frac{M_1}{M_1 d_1 + d_2} \quad (3.9)$$

$$t_{2\max} = \frac{M_2}{M_2 d_2 + d_1} \quad (3.10)$$

Où :  $t_{1\max}$  : nombre maximal de duites par unité de longueur

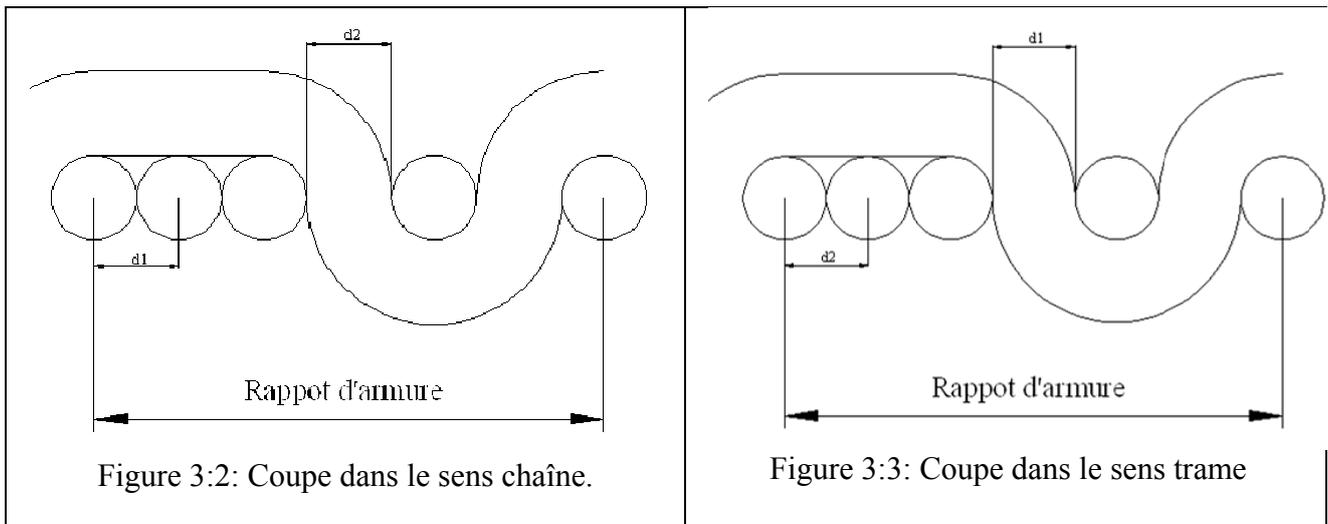
$t_{2\max}$  : nombre de fils de chaîne par unité de largeur

$M_1$  : facteur d'armure de chaîne

$M_2$  : facteur d'armure de trame

$d_1$  : diamètre de fil de chaîne

$d_2$  : diamètre de fil de trame



La géométrie selon la théorie d'Ashenhurst

Pour les armures dont les évolutions du fil de chaîne sont identiques à celles de la trame dans le rapport d'armure, les équations (3.9) et (3.10) peuvent être réduites pour une seule équation (3.11):

$$t_{\max} = \frac{M}{(M + 1)d} \quad (3.11)$$

### 3.2.4.2 La théorie de la courbure d'Ashenhurst

Le travail mené par Ashenhurst [3] a montré que l'écart entre deux fils lors d'un changement de face est à l'ordre de  $\sqrt{3}d$ . La figure 3.5 montre la géométrie de cette théorie :

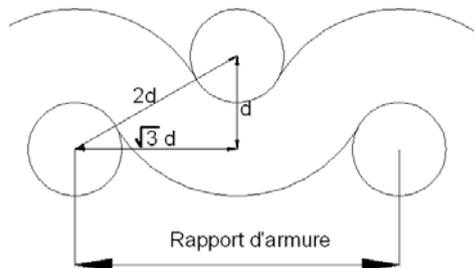


Figure 3.4: La géométrie de la théorie de la courbure d'Ashenhurst

L'équation ci-dessous exprime cette théorie :

$$t_{\max} = \frac{M}{(M + \sqrt{3})d} \quad (3.12)$$

### 3.2.4.3 Les règles de Law

Les travaux expérimentaux faits par Law [27] ont montré que les résultats issus des équations d'Ashenhurst sont applicables pour les tissus avec de courts flottés, mais dans le cas d'un tissu avec des flottés plus importants, Law a pu obtenir une structure plus serrée que celle calculée par la théorie de la « construction maximale » d'Ashenhurst. Dans sa théorie Law suppose que dans les tissus ayant un facteur d'armure de moins de deux, l'écart entre deux fils lors d'un changement de face est égal au diamètre du fil qui change de face, mais dans le cas où le facteur d'armure est au-delà de deux la « construction maximale » augmente avec un certain pourcentage selon l'armure. Il a précisé que pour une armure de sergé avec un facteur d'armure de plus de deux, une augmentation de 5% est nécessaire et c'est le même pourcentage pour les armures satin et natté. Un pourcentage de 10% doit être ajouté pour les autres armures avec un facteur d'armure de plus de deux.

### 3.2.4.4 La théorie de Brierley

Dans sa formule, Brierley [9] a ajouté un facteur qui prend en compte non seulement le facteur d'armure mais aussi le type d'armure selon l'équation ci-dessous:

$$t_{\max} = \frac{M^m}{1.84d} \quad (3.13)$$

Où : M : facteur d'armure

m : facteur qui dépend du type d'armure

d : diamètre du fil

Les valeurs de m pour certaines armures sont présentées dans le

Tableau 3.4: Valeurs de m pour différentes armures.

Armure	m
Serge	0,39
Satin	0,42
Natté	0,45

Brierley a étudié aussi la corrélation entre le facteur d'armure et l'épaisseur du tissu, il a montré que l'épaisseur du tissu augmente avec l'augmentation du facteur d'armure.

### 3.2.4.5 La formule de Peirce [32]

Peirce a utilisé la notion du facteur de couverture défini précédemment pour décrire sa formule de construction maximale ou limite de tissabilité d'un article donné par l'équation 3.14

$$\sqrt{1 - \left\{ \frac{28}{(1 + \beta)K_1} \right\}^2} + \sqrt{1 - \left\{ \frac{28\beta}{(1 + \beta)K_2} \right\}^2} = 1 \quad (3.14)$$

Où :  $\beta = d_2/d_1$

$K_1$  : facteur de couverture de chaîne

$K_1$  = compte (fils/pouce), racine carrée du titre du fil de chaîne « cotton system »

$K_2$  : facteur de couverture de trame

$K_2$  = duitage (duites/pouce), racine carrée du titre du fil de trame « cotton system »

L'équation (3.10) est valable pour des tissus 100% coton et en armure toile.

### 3.2.4.6 Les équations de Love

Love [28] a développé les équations de la limite de tissabilité de Peirce pour traiter un plus grand nombre de tissus simples. Pour cela il a supposé que les fils qui se trouvent sous un flotté forment une masse continue en forme de « Champ de course » et avec une densité homogène égale à la densité du fil d'origine. La figure 3.5 montre la géométrie de la théorie de Love pour un rapport d'armure de trois, quatre et cinq avec un flotté de deux trois et de quatre respectivement. Les équations (3.15) (3.16) et (3.17) explicitent sa théorie.

$$\sqrt{1 - \left\{ \frac{M(30.2/K_1 - 1) + 1.08}{1.08(1 + \beta)} \right\}^2} + \sqrt{1 - \left[ \frac{\{M(30.2/K_2 - 1) + 1.08\}}{1.08(1 + \beta)} \right]^2} = 1 \quad (3.15)$$

$$\sqrt{1 - \left\{ \frac{M(31.4/K_1 - 1) + 1.12}{1.12(1 + \beta)} \right\}^2} + \sqrt{1 - \left[ \frac{\{M(31.4/K_2 - 1) + 1.12\}}{1.12(1 + \beta)} \right]^2} = 1 \quad (3.16)$$

$$\sqrt{1 - \left\{ \frac{M(32.2/K_1 - 1) + 1.15}{1.15(1 + \beta)} \right\}^2} + \sqrt{1 - \left[ \frac{\{M(32.2/K_2 - 1) + 1.15\}}{1.15(1 + \beta)} \right]^2} = 1 \quad (3.17)$$

Où : M est le facteur d'armure dont la valeur change pour chaque équation, pour l'équation (3.15) M=1.5, pour l'équation (3.16) M=2 et pour l'équation (17) M=2,5

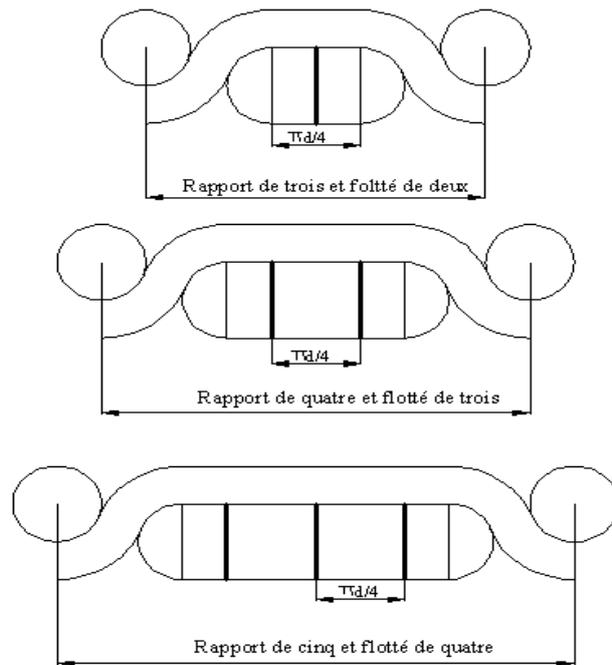


Figure 3:5: La géométrie de Love en « champs de course ».

### 3.2.4.7 Equation générale de la limite de la tissabilité

Toutes les équations mentionnées précédemment traitant le problème de la limite de la tissabilité ont une certaine zone d'application par rapport à la matière (100% coton) et par rapport aux armures (toile, rapport d'armure de trois avec un flotté de deux, rapport d'armure de quatre avec un flotté de trois et rapport d'armure de cinq avec un flotté de quatre).

Les travaux de Seyam [36], [37], [38], [39], [40] ont aboutis à l'équation (3.18), dont l'application devrait être possible quelque soit la fibre utilisée et quelque soit l'armure choisie

$$\sqrt{1 - \left\{ \frac{(28M_1/K_1) - (\pi/4)(M_1 - 1)}{(1 + \beta)} \right\}^2} + \sqrt{1 - \left[ \frac{\{(28M_2/K_2) - (\pi/4)(M_2 - 1)\}\beta}{(1 + \beta)} \right]^2} = 1 \quad (3.18)$$

## 3.2.5 L'indice de saturation

### 3.2.5.1 Définition

Pour définir l'indice de saturation, on doit d'abord se familiariser avec la notion d'un « Tissu Standard » ou « Tissu de Référence ».

Eu égard à l'absence de règles précises pour concevoir un article à réaliser sur le métier à tisser, les chercheurs, depuis des décennies, ont tenté de développer la notion de tissu de référence. Cette notion servira aux concepteurs comme un repère pour faire la comparaison entre l'article à réaliser et le tissu de référence.

L'indice de saturation pourra donc être défini comme le rapport entre les paramètres de construction d'un article donné et celles de tissu de référence. Cet indice a été et est toujours le sujet de nombreux travaux de recherche dont les plus importants sont mentionnés dans la suite de ce chapitre.

### 3.2.5.2 La théorie de Peirce

Pour formuler sa théorie, Peirce a supposé que les fils de chaîne et les fils de trame ont une section circulaire, il a supposé aussi que les fils ne sont pas extensibles et ils sont complètement flexibles. La figure 3.6 illustre son hypothèse.

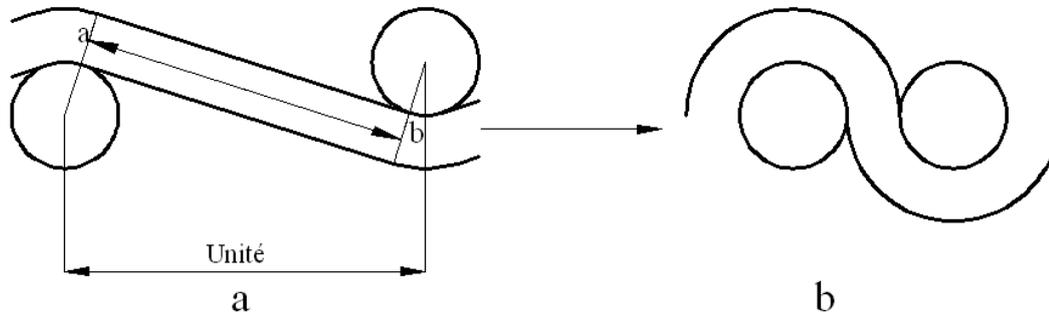


Figure 3.6: La géométrie de Peirce

A partir de cette géométrie, Peirce a défini la notion de « condition d'entassement ». La condition d'entassement est la distance la plus courte entre deux fils. Cette condition peut être remplie si le segment ab dans la Figure 3.6 tend vers zéro.

### 3.2.5.3 L'indice de Love

En partant de la notion du facteur de couverture, Love [28] a défini trois formules d'indice de saturation qui sont décrits dans les équations (3.19) à (3.21).

$$T_f = \frac{K_{1o} + K_{2o}}{K_{1max} + K_{2max}} \quad (3.19)$$

$$T_1 = \frac{K_{1o}}{K_{1max}} \quad (3.20)$$

$$T_2 = \frac{K_{2o}}{K_{2max}} \quad (3.21)$$

- $T_f$  : Indice de saturation pour le tissu
- $T_1$  : Indice de saturation pour la chaîne
- $T_2$  : Indice de saturation pour la trame
- $K_{1o}$  : Facteur de couverture pour la chaîne de l'article
- $K_{1max}$  : Facteur maximal de couverture de chaîne
- $K_{2o}$  : Facteur de couverture pour la trame de l'article
- $K_{2max}$  : Facteur maximal de couverture de trame

**3.2.5.4 L'indice de Russell « facteur de construction »**

Russell [34], en s'appuyant sur la théorie d'Ashenhurst, a défini un indice comme explicité par les équations (3.22) à (3.24).

$$C_f = \frac{t_1 + t_2}{t_{1max} + t_{2max}} \tag{3.22}$$

$$C_1 = \frac{t_1}{t_{1max}} \tag{3.23}$$

$$C_2 = \frac{t_2}{t_{2max}} \tag{3.24}$$

Où :

$t_1$  : Compte

$t_2$  : Duitage

$t_{1max}$  : Compte maximal

$t_{2max}$  : Duitage maximal

Les valeurs de  $t_{1max}$  et  $t_{2max}$  sont calculées à partir les équations (3.9) et (3.10)

**3.2.5.5 Les formules de saturation de Seyam et El Shiekh**

Seyam et El Shiekh [39],[ 40] ont proposé une géométrie de tissu de référence « Figure 3.7 » comme une combinaison entre la théorie d'Ashenhurst et celle de Love

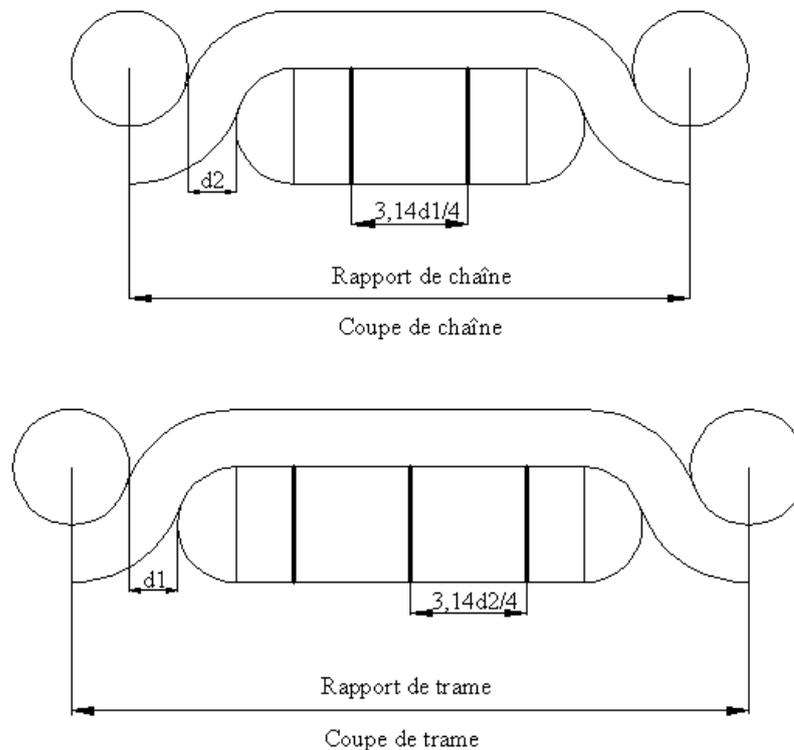


Figure 3.7: La géométrie du tissu selon Seyam et El Shiekh

Cette théorie est décrite par les équations (3.25) et (3.26).

$$t_{1\max} = \frac{M_1}{\frac{\pi}{4}(M_1 - 1)d_1 + d_1 + d_2} \quad (3.25)$$

$$t_{2\max} = \frac{M_2}{\frac{\pi}{4}(M_2 - 1)d_2 + d_2 + d_1} \quad (3.26)$$

En faisant une comparaison entre leurs indices de les autres indices, Seyam et El Shiekh ont trouvé que la solution qu'ils ont proposé est applicable sur les armures : toile, sergé jusqu'au rapport d'armure de 13, satin jusqu'au rapport d'armure de 10 et natté jusqu'au rapport 8. Dans la pratique ces armures représentent presque 90% des articles tissés.

### 3.2.5.6 L'indice de Booten :

Booten [46] définit son indice de saturation en se basant sur les hypothèses suivantes :

Les filés utilisés, dont on connaît le titre, ont des sections cylindriques et le diamètre du fil est donné par l'équation :

$$d = \frac{1}{100\pi} \sqrt{\frac{N_t}{\rho_f}} \quad (3.26)$$

Où

- $d$  : Diamètre du fil (cm)
- $\rho_f$  : Masse volumique de fibre (g/cm<sup>3</sup>)
- $N_t$  : Masse linéaire du fil (tex)
- $\phi$  : Coefficient de tassement =  $\rho_y / \rho_f$
- $\rho_y$  : Masse volumique du fil (g/cm<sup>3</sup>)

Le titre et la masse volumique du fil sont supposés connus et homogènes et l'embuvage de la chaîne est nul.

Les indices du Booten [46] sont donnés par les équations suivantes :

$$Isch = K \times Cch \times \left( \sqrt{\frac{Tch}{\rho_f ch}} + \frac{Ntr}{Rch} \times \sqrt{\frac{Ttr}{\rho_f tr}} \right) \quad (3.27)$$

$$Istr = K \times Ctr \times \left( \sqrt{\frac{Ttr}{\rho_f tr}} + \frac{Nch}{Rtr} \times \sqrt{\frac{Tch}{\rho_f ch}} \right) \quad (3.28)$$

Avec :

- K : Constante (k=0.36)
- Cch : Compte en chaîne réel.
- Ctr : Duitage réel.
- nCh : Nombre de changements de face du fil de chaîne / rapport trame
- rch : Rapport d'armure en chaîne.
- ntr : Nombre de changements de face de la duite / rapport chaîne.
- rtr : Rapport en trame.
- pch : Masse volumique de fil de chaîne (g/cm<sup>3</sup>).
- ptr : Masse volumique de fil de trame (g/cm<sup>3</sup>).
- Tch : Titre de fil de chaîne (en Tex).
- Ttr : Titre de fil de trame (en Tex).

Et l'indice d'ensemble est donné par l'équation suivante :

$$Ist = \frac{Isch \times Istr}{100} \quad (3.29)$$

Interprétation :

Booten admet que l'on ne devrait pas dépasser les valeurs 80 à 85 pour  $I_c$  et  $I_t$  ce qui correspond à un maximum de 64 à 72 pour  $I_e$ .

D'autres auteurs admettent que pour les tissus en filés de fibres :

- Il faut qu' $I_c$  et  $I_t < 94$  mais avec  $I_e < 74$ .
- Si  $94 \leq I_c$  ou  $I_t \leq 120$  mais avec  $I_e \leq 74$  : on peut faire un essai.
- Si  $I_c$  ou  $I_t > 120$  ou si  $I_e > 74$  : l'article est réputé intissable.

Cet indice pratique à calculer est couramment utilisé dans l'industrie.

### 3.2.6 Les applications de l'indice de saturation

#### 3.2.6.1 Les tissus semblables

Dans le domaine de la conception de tissu, chaque type de produit final a un certain degré de saturation. Cette propriété permet aux concepteurs de créer des tissus semblables en changeant les paramètres de fabrication (titre, type de fil, type de fibre, ...etc.) tout en ayant une valeur de l'indice de saturation quasi constante. Cela donne une flexibilité de conception quant au choix des matières et les paramètres de fabrication.

#### 3.2.6.2 La résistance au tissage

Galuszynski [18], après une étude expérimentale, a démontré que la saturation du tissu et la résistance au tissage, c'est-à-dire la force que subit le peigne pendant cette opération, sont corrélées selon l'équation (3.30) :

$$W_r = KT^4 \tag{3.30}$$

Où  $W_r$  : la résistance au tissage ou la force (N) subi par le peigne lors de la frappe du battant contre la façade du tissu

T : la saturation

K : constante

Le rendement de l'opération de tissage

Schuler [35] a réalisé deux groupes d'expériences. les résultats du premier groupe a démontré que le rendement de l'opération de tissage est liée avec le degré de saturation du tissu (calculée selon Russell) comme le montre la courbe de la figure 3.8 :

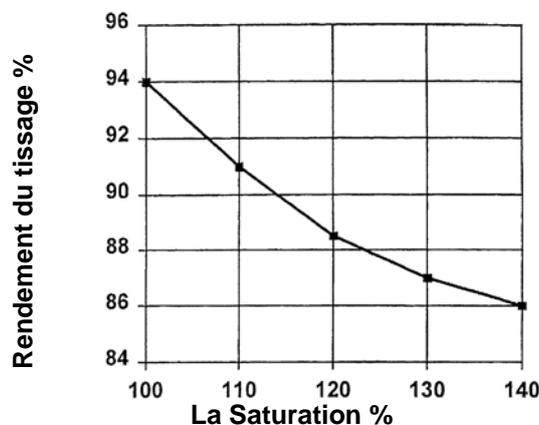


Figure 3.8: Variation du rendement par rapport à la saturation avec une vitesse constante.

Il faut indiquer que les expériences du premier groupe sont faites à vitesse de tissage constante. Or on constate, à vitesse constante, que le rendement diminue avec l'augmentation de la saturation. Cela permet aux concepteurs de prévoir le rendement de la production d'un nouvel article et à partir de là, la réalisation d'un plan de production (délais de livraison des matières premières, durée de l'opération de tissage, délais d'expédition) pourraient être optimisés.

Dans le second groupe, on a opté pour que la valeur du rapport qualité/ rendement soit maintenue autour de sa valeur supérieure. Pour cela des vitesses de tissage plus lentes ont été appliquées pour tisser certains articles dont les valeurs de saturation sont importantes dans le but de garder le rapport qualité/ rendement proche d'une valeur acceptable.

La figure 3.9 montre les résultats de deuxième groupe d'expérience :

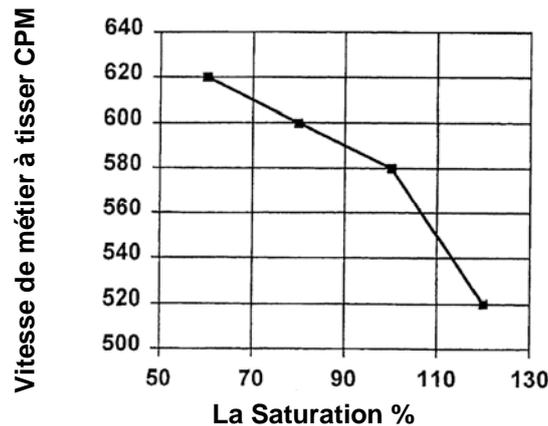


Figure 3.9: Variation de la vitesse par rapport à la saturation avec un rendement constant.

Ces résultats pourront aider à prédéterminer la vitesse de tissage pour un nouvel article dont on connaît la valeur de saturation. Les coûts de pré essais pourront être par conséquent diminués.

### 3.2.6.3 L'élasticité du tissu

Galuszynki [18] a mis en place une équation théorique (3.31) pour représenter l'élasticité du tissu  $E$  ( $N$ ) en fonction de la saturation.

$$E = K_1 + TK_2 \quad (3.31)$$

Où :

$K_1$  et  $K_2$  : Constantes  
 $T$  : La saturation

### 3.2.6.4 Le retrait du tissu lors de lavage ou blanchissage

le travail mené par Bogaty [4], en utilisant les équations de Love pour calculer la saturation, montre la relation entre la saturation du tissu et son retrait qui se produit lors de l'opération du lavage ou le blanchissage. Cette relation est expliquée par une diminution du retrait avec l'augmentation de la saturation du tissu.

# **CHAPITRE 4:**

# **LES INDICES DE SATURATION**

## 4. INDICES DE SATURATION ET LIMITE DE TISSABILITE

Après la mise en place d'un plan d'expérience de tissage, l'étude des propriétés mécaniques et physiques d'un nombre représentatifs de tissus 2D et 3D qui sont présentés dans le chapitre 5 page 90 et 91 et la modélisation des structures tissées a permis de proposer de nouvelles équations de saturations et de limite de tissabilité : indices de saturation numérique et indice de saturation massique.

Dans ce chapitre, nous présenterons la modélisation des structures tissées qui a permis de proposer de nouvelles équations de saturations et de limite de tissabilité et qui permettent de prévoir, pour une contexture et une armure donnée en 2D ou 3D, la masse maximale de fil insérable dans le tissu ainsi que la difficulté qui sera rencontrée lors du tissage. Les relations théoriques nouvelles proposées, indices de saturation numérique et indice de saturation massique ont été confirmées par les résultats expérimentaux.

### 4.1. INDICES DE SATURATION NUMERIQUE

#### 4.1.1. Introduction

Dans la pratique, on assimile habituellement la limite de tissabilité au duitage maximal pouvant être atteint dans des conditions optimales de réglage, pour un article et sur une machine à tisser bien définis.

Et on note que:

- Cette limite ne peut être déterminée qu'empiriquement. Elle nécessite donc pour chaque article un essai préliminaire;
- Elle est propre à une machine donnée et son extrapolation à d'autres machines sont sujettes à caution;
- La limite économique de tissabilité, c'est-à-dire celle correspondant à un taux de casses, à une présentation et à une qualité acceptable, est bien inférieure à la limite technique ainsi définie.

Pour ces raisons, il peut être intéressant de disposer d'un modèle mathématique qui, bien que basé sur des structures simplifiées de tissus, permette de chiffrer a priori la difficulté que l'on éprouvera à tisser un article dont on connaît la contexture et l'armure.

La limite de l'indice de saturation ainsi défini constituera la limite de tissabilité quelle que soit la machine utilisée.

#### 4.1.2. Définition des indices de saturation numérique.

La difficulté de tisser un tissu d'armure donnée peut provenir:

- De la contexture en chaîne,
- De la contexture en trame,

- De la conjugaison des deux contextures.

Il est donc nécessaire de considérer isolément chacun de ces facteurs.

A la condition de pouvoir définir clairement un compte en chaîne (respectivement un duitage) maximal correspondant à un titre donné, l'indice de saturation peut être exprimé:

- Pour la chaîne par le rapport du compte en chaîne réel sur le compte en chaîne maximal,
- Pour la trame, par le rapport du duitage réel sur le duitage maximal.

Afin d'en faciliter l'expression, ces valeurs seront données en %

$$I_{sch} = \frac{\text{Compte chaîne réel}}{\text{Compte chaîne max}} \cdot 100 \quad (4-1)$$

$$I_{str} = \frac{\text{duitage réel}}{\text{duitage max}} \cdot 100 \quad (4-2)$$

La difficulté de tissage liée à la conjugaison de ces deux difficultés primaires sera donnée par un indice d'ensemble :

$$I_{st} = \frac{I_{sch} \times I_{str}}{100} \quad (4-3)$$

#### 4.1.3. Détermination de Ich, et de Itr « tissus simples »

##### 1er cas : Tissage à tension forte « chaîne tendue »

Le compte en chaîne réel étant connu, il suffit de déterminer le compte en chaîne maximal. Pour cela, il est nécessaire de faire préalablement deux hypothèses:

1 ère hypothèse: les filés utilisés, dont on connaît le titre, ont des sections cylindriques.

2ème hypothèse: dans le cas de la contexture la plus resserrée, les fils de chaîne sont jointifs sous les flottés de trame et ne sont écartés que d'une épaisseur de trame (donc de la valeur d'un diamètre, selon la 1ère hypothèse) lors des changements de face de celle-ci.

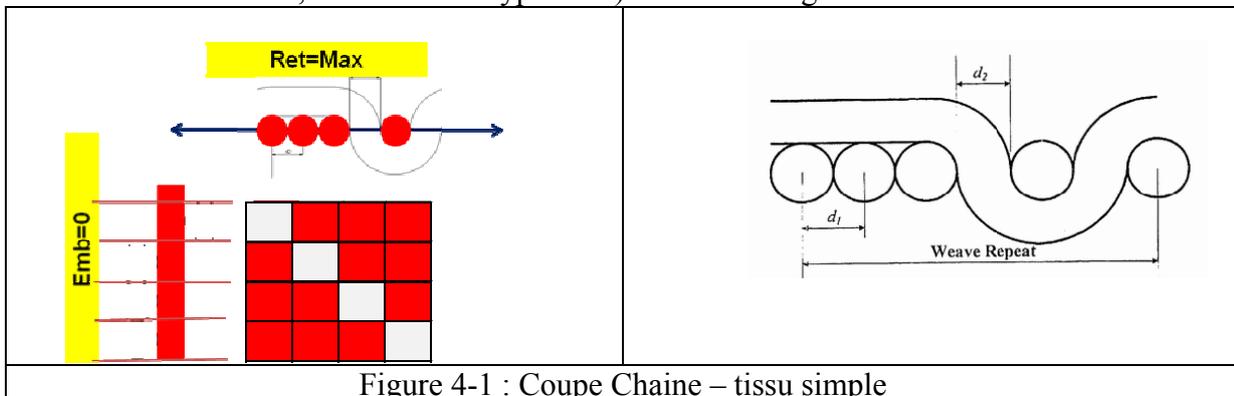


Figure 4-1 : Coupe Chaîne – tissu simple

La 2ème hypothèse correspond donc à un embuvage nul de la chaîne et un retrait maximal, ce dont vers quoi on tend dans le cas du tissage à fort duitage (Figure 4-1).

#### 4.1.3.1. Détermination de Ich :

Considérons l'ensemble des fils chaîne d'un rapport d'armure liant sur la duite faisant le plus d'évolutions. Ces fils chaîne occupent une largeur  $x$  telle que:

$$x = Rch.dch + ntr.dtr \quad (4-4)$$

Équation dans laquelle :

$Rch$  est le rapport d'armure en chaîne,

$ntr$  le nombre de changements de face de la duite,

$dch$  le diamètre de la chaîne

$dtr$  le diamètre de la trame.

Par ailleurs et à la condition que  $x$  soit exprimée dans la même unité que le compte en chaîne  $c$ 'est à dire en cm, on a:

$$x = \frac{1}{Cch \max} . Rch \quad (4-5)$$

$Cm$  étant le compte maximal en chaîne,

et  $1/Cchmax$  étant le "pas" moyen en chaîne.

En rapprochant les deux équations, on obtient:

$$Cch \max = \frac{Rch}{Rch.dch + ntr.dtr} \quad (4-6)$$

D'où:

$$Ich = \frac{Cch}{Rch} . (Rch.dch + ntr.dtr) . 100 \quad (4-7)$$

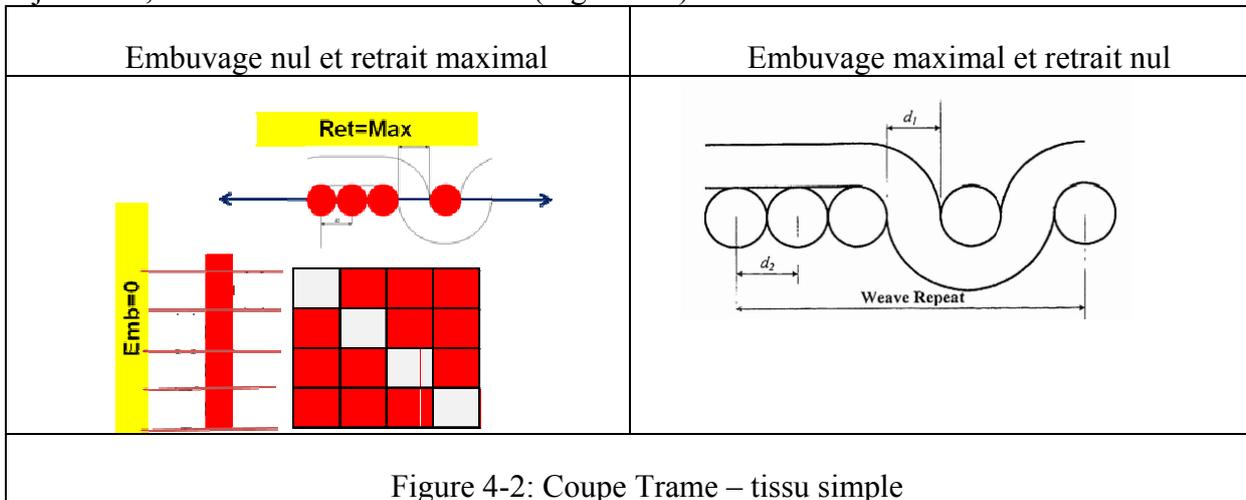
$Cch$  étant le compte en chaîne réel.

Sous une forme plus pratique :

$$Ich = Cch . \left( dch + \frac{ntr}{Rch} \right) . 100 \quad (4-8)$$

### 4.1.3.2. Détermination de Itr

En fait, si la chaîne est selon la structure étudiée (embuvage nul), alors la trame est à duites jointives, c'est à dire à retrait maximal (Figure 4-2).



Considérons donc l'ensemble des duites d'un rapport d'armure liant sur le fil chaîne. Ces duites occupent une largeur  $y$  telle que:

$$y = Rtr.dtr \tag{4-9}$$

Équation dans laquelle :

Rtr est le rapport d'armure en trame,

dtr le diamètre de la trame.

Par ailleurs et à la condition que  $y$  soit exprimée dans la même unité que le duitage c'est à dire en cm, on a:

$$y = \frac{1}{Ctr \max} .Rtr \tag{4-10}$$

Ctr max étant le compte maximal en trame et  $1/Ctrmax$  étant le "pas" moyen en trame.

En rapprochant les deux équations, on obtient:

$$Cm = \frac{1}{dtr} \tag{4-11}$$

D'où:

$$Itr = Ctr.dtr.100 \tag{4-12}$$

Ctr étant le compte en trame réel.

**Diamètre d'un fil :**

Le diamètre du fil est le premier élément géométrique nécessaire pour calculer les limites de tissabilité. La quasi-totalité des recherches faites dans ce domaine ont considéré que le fil a une forme cylindrique homogène donc une section circulaire et cela pour faciliter le calcul du diamètre. Le diamètre de fil peut être exprimé par la formule suivante

$$d = \frac{1}{100\pi} \sqrt{\frac{T}{\phi \rho_f}} \quad (3.1) \text{ et } (3.26) \quad (4-13)$$

Et que nous pouvons démontrer à l'aide d'une hypothèse supplémentaire :

3ème hypothèse: le titre T et la masse volumique  $\rho_y$  (g/cm<sup>3</sup>) du fil sont connus et homogènes.

Masse de 1 mètre de fil :

$$M = \frac{\rho_y \cdot d^2 \cdot \pi \cdot 100}{4} g \quad (4-14)$$

Connaissant le titre de ce M de fil:

$$T = M \cdot 1000 \text{ tex} \quad (4-15)$$

On en tire:

$$d = \frac{1}{100 \cdot \pi} \sqrt{\frac{T}{\rho_y}} \text{ cm} \quad (4-16)$$

avec d en cm

$\rho_y$  en g/cm<sup>3</sup>

T en tex

Où

d : Diamètre du fil (cm)

$\rho_f$  : Masse volumique de fibre (g/cm<sup>3</sup>)

T : Masse linéaire du fil (tex)

$\phi$  : Coefficient de tassement =  $\rho_y / \rho_f$

$\rho_y$  : Masse volumique du fil (g/cm<sup>3</sup>)

Avec la prise en compte du coefficient de tassement, ce calcul du diamètre est bien adapté pour tous les types de fil et tous les types de fibre. Le coefficient de tassement dépend des caractéristiques de la fibre (longueur, titre, ...) et des caractéristiques du fil (torsion, méthode de filature,...) et dépend également des paramètres du tissage (duitage, armure, frappe du peigne,...).

Le coefficient de tassement doit être calculé à partir de diamètre du fil dont la mesure est effectuée dans le tissu et non dans l'état libre du fil.

Pour un fil constitué de différentes matières, on remplace la masse volumique de fibre par la moyenne pondérée des masses volumiques des fibres constituant le fil. Le calcul se fait selon la formule:

$$\frac{1}{\rho_f} = \sum_{i=1}^n \frac{p_i}{\rho_{fi}} \quad (4-17)$$

Où :

$\rho_f$  : Masse volumique moyenne des fibres.

$p_i$  : Proportion du composant i dans le fil.

$\rho_{fi}$  : Masse volumique de fibre du composant i

n : Nombre de composants dans le fil mixte

Le Tableau 3.2 donne les masses volumiques des fibres les plus utilisées.

Les calculs du coefficient de tassement sont présents dans de nombreux travaux de recherche et sont mentionnés dans le tableau 3.1.

Le tableau Suivant présente le coefficient de tassement pour quelques types de fil.

#### 4.1.3.3. Expressions finales des indices de saturation :

$$Ich = \frac{Cch}{\pi} \cdot \left( \sqrt{\frac{Tch}{\phi \rho_{fch}}} + \frac{ntr}{Rch} \cdot \sqrt{\frac{Ttr}{\phi \rho_{ftr}}} \right) \quad (4-18)$$

$$Itr = \frac{Ctr}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{Ttr}{\rho_{ytr}}} \text{ cm} \quad (4-19)$$

$$Ist = \frac{Isch \times Istr}{100} \quad (4-20)$$

**2ème cas : Tissage à tension faible «Trames tendues»**

Par analogie :

Expressions finales des indices de saturation du 2eme cas deviennent :

$$Ich = \frac{Cch}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{Tch}{\rho_{ych}}} \text{ cm} \quad (4-21)$$

$$Itr = \frac{Ctr}{\pi} \cdot \left( \sqrt{\frac{Ttr}{\phi\rho_{fir}}} + \frac{nch}{Rtr} \cdot \sqrt{\frac{Tch}{\phi\rho_{ch}}} \right) \quad (4-22)$$

$$Ist = \frac{Isch \times Istr}{100} \quad (4-23)$$

Avec :

Rtr est le rapport d'armure en chaîne,

nch le nombre de changements de face de la chaîne,

**4.1.3.4. Expressions finales des indices généralisées**

La saturation peut être obtenue en tissant soit en chaîne tendue (embuvage nul et retrait max) ou en trame tendue (embuvage max et retrait nul) c'est pourquoi pour généraliser les équations de saturation, Nous avons introduit un paramètre supplémentaire «  $\alpha$  » qui prend en considération la tension de tissage (Figure 4-3 et Figure 4-4).

$$Embuvage = Embuvage \text{ "Max" } \cdot \alpha$$

$$Retrait = Retrait \text{ "Max" } \cdot (1 - \alpha)$$

Avec  $0 \leq \alpha \leq 1$

Et on obtient donc :

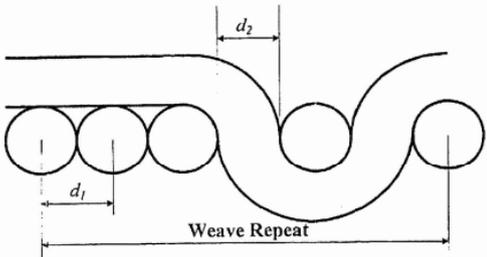
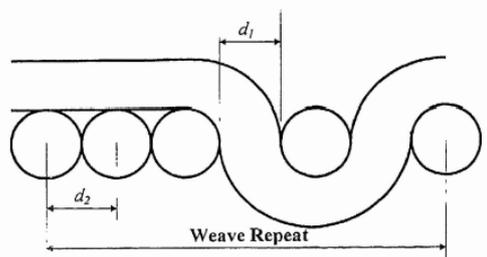
$$Ich = \frac{Cch}{\pi} \cdot \left( \sqrt{\frac{Tch}{\phi\rho_{fch}}} + (1 - \alpha) \cdot \frac{ntr}{Rch} \cdot \sqrt{\frac{Ttr}{\phi\rho_{fir}}} \right) \quad (4-24)$$

$$Itr = \frac{Ctr}{\pi} \cdot \left( \sqrt{\frac{Ttr}{\phi\rho_{fir}}} + \alpha \cdot \frac{nch}{Rtr} \cdot \sqrt{\frac{Tch}{\phi\rho_{ch}}} \right) \quad (4-25)$$

$$Ist = \frac{Isch \times Istr}{100} \quad (4-26)$$

Avec  $0 \leq \alpha \leq 1$

Et :

1ere cas : $\alpha = 0$	2eme cas : $\alpha = 1$
Embuage nul et retrait maximal	Embuage maximal et retrait nul
 <p>Figure 4-3: Coupe Chaîne Emb=0</p>	 <p>Figure 4-4: Coupe Trame Ret=0</p>
<p>Remarque: il est évident que la structure de ces deux coupes ne peut à la fois représenter la chaîne et la trame puisque cela supposerait que l'embuage et le retrait sont simultanément nuls, ce qu'est impossible.</p>	

#### 4.1.4. Détermination de Ich, et de Itr « tissus doubles faces»

Selon les même pas de démonstration pour les tissus simples et en considérant séparément chaque couche des tissus double faces, nous trouverons les équations rassemblées dans le tableau4.1:

##### 4.1.4.1. Expressions finales des indices généralisés

Tableau 4-1: Expressions finales des indices de saturation généralisés

Tissu et $\alpha$	Equations de saturation en chaîne et en trame	Indice
1 chaîne + 1 trame  $\alpha = 0$ or $\alpha = 1$	$I_{sch} = \frac{Cch}{\pi} \times \left( \sqrt{\frac{Tch}{\phi\rho_{fch}}} + (1 - \alpha) \frac{ntr}{Rch} \sqrt{\frac{Ttr}{\phi\rho_{ftr}}} \right)$ $I_{str} = \frac{Ctr}{\pi} \times \left( \sqrt{\frac{Ttr}{\phi\rho_{ftr}}} + \alpha \frac{nch}{Rtr} \sqrt{\frac{Tch}{\phi\rho_{fch}}} \right)$	$I_{sw} = \frac{I_{swpx} I_{swf}}{100}$
1 chaîne + n trames  $\alpha = 1$	$I_{sch} = \frac{Cch}{\pi} \times \left( \sqrt{\frac{Tch}{\phi\rho_{fch}}} + \alpha \sum_{i=1}^n \frac{ntr_n}{Rch} \cdot \sqrt{\frac{Ttr_n}{\phi\rho_{ftr_n}}} \right)$ $I_{str} = Sup_n \left\{ Ptr_n \times \frac{Ctr}{\pi} \times \left( \sqrt{\frac{Ttr}{\phi\rho_{ftr}}} + (1 - \alpha) \frac{nch}{Rtr_n} \sqrt{\frac{Tch}{\phi\rho_{fch}}} \right) \right\}$	
n chaînes + 1 trame  $\alpha = 0$	$I_{sch} = Sup_n \left\{ Pch_n \times \frac{Cch}{\pi} \times \left( \sqrt{\frac{Tch}{\phi\rho_{fch}}} + \alpha \frac{ntr}{Rch_n} \sqrt{\frac{Ttr}{\phi\rho_{ftr}}} \right) \right\}$ $I_{str} = \frac{Ctr}{\pi} \times \left( \sqrt{\frac{Ttr}{\phi\rho_{ftr}}} + (1 - \alpha) \sum_{i=1}^n \frac{nch_n}{Rtr} \times \sqrt{\frac{Tch_n}{\phi\rho_{fch_n}}} \right)$	

Paramètres:

$\rho_f$  : Masse volumique de fibre (g/cm<sup>3</sup>)

T : Masse linéaire du fil (tex)

$\phi$  : Coefficient de tassement =  $\rho_y / \rho_f$

$\rho_y$  : Masse volumique du fil (g/cm<sup>3</sup>)

P : Proportion chaîne ou trame

dch : Diamètre de la chaîne

dtr : Diamètre de la trame.

Rtr : Rapport d'armure en trame,

dtr : Diamètre de la trame.

Cch : Compte en chaîne réel.

Nch : Nombre de changements de face de la chaîne,

Rch : Rapport d'armure en chaîne,

ntr : Nombre de changements de face de la duite,

#### 4.1.5. Interprétation et Validation des indices de saturation numérique:

A partir des résultats précédents, il est possible de proposer une rectification aux indices de Botten. Ces indices modifiés sont présentés dans le tableau 4.2 .

Tableau 4-2: Indices de saturation « Booten » rectifiés

	Booten	Booten-Rectifiées
<u>Chaîne</u>	$I_{sch} = K \times Cch \left( \sqrt{\frac{Tch}{\rho ch}} + \frac{ntr}{rch} \sqrt{\frac{Ttr}{\rho tr}} \right)$	$I_{sch} = K \times Cch \left( \sqrt{\frac{Tch}{\phi \rho ch}} + \frac{ntr}{rch} \sqrt{\frac{Ttr}{\phi \rho tr}} \right)$
<u>Trame</u>	$I_{str} = K \times Ctr \left( \sqrt{\frac{Ttr}{\rho tr}} + \frac{nch}{rtr} \sqrt{\frac{Tch}{\rho ch}} \right)$	$I_{str} = K \times Ctr \left( \sqrt{\frac{Ttr}{\phi \rho tr}} \right)$
<u>Tissu</u>	$\frac{I_{sch} \cdot I_{str}}{100}$	

Booten [46] a proposé les interprétations suivantes :

Booten admet que l'on ne devrait pas dépasser les valeurs 80 à 85 pour IC et IT, ce qui correspond à un maximum de 64 à 72 pour Istissu. D'autres auteurs admettent que pour les tissus en filés de fibres:

- il faut que  $lc$  et  $lt \leq 94$  mais avec  $IE \leq 74$
- si  $94 \leq Isch$  ou  $Istr \leq 120$  mais avec  $Istissu \leq 74$  : on peut faire un essai.
- si  $Isch$  ou  $Istr > 120$  ou si  $Istissu > 74$  : l'article est réputé intissable.

Cette interprétation est contradictoire avec les résultats trouvés car d'après les calculs d'indices d'un ensemble représentatif de tissus rassemblés dans les tableaux 4.3 et 4.4:

- Tissus de commerce
- Tissus tissés à l'ESITH

sont intissables.

Par contre les calculs d'indices avec les nouvelles formules confirme que les tissus sont réalisables et tissables sans difficultés ce qui confirme la justesse des formules rectifiées.

Les indices d'ensembles avec les nouvelles formules sont logiques et parlantes :

Tableau 4-3: Interprétations des indices numériques

	Articles du commerce		Articles tissés dans l'atelier tissage de l'ESITH						
	jeans1	jeans2	tissu1	tissu2	tissu3	tissu4	tissu5	tissu6	
Tissu									
Compte Chaîne	29	28	47	47	47	47	47	47	
Titre Chaîne en denier	900	709	335	335	335	335	335	335	
Titre Chaîne en Tex	100	79	37	37	37	37	37	37	
Diamètre Chaîne en cm	0.029	0.026	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	
Matière Chaîne	coton	coton	PET	PET	PET	PET	PET	PET	
Densité Matière Chaîne	1.51	1.51	1.38	1.38	1.38	1	1.38	1.38	
Compte Trame	<b>21.7</b>	<b>19.0</b>	<b>7.0</b>	<b>8.0</b>	<b>10.0</b>	<b>12.0</b>	<b>12.0</b>	<b>14.0</b>	
Titre Trame en denier	<b>607.9</b>	<b>551.1</b>	<b>911</b>	<b>911</b>	<b>511</b>	511	<b>335</b>	<b>335</b>	
Titre Trame en Tex	68	61	101	101	57	57	37	37	
Diamètre Trame en cm	0.024	0.024	0.031	0.031	0.023	0.023	0.019	0.019	
Matière Trame	coton	PET	PET	PET	PET	PET	PET	PET	
Densité Matière Trame	1.51	1.38	1.38	1.38	1.38	1	1.38	1.38	
Armure	<b>sergé</b>	<b>sergé</b>	<b>toile</b>	<b>toile</b>	<b>toile</b>	<b>toile</b>	<b>toile</b>	<b>toile</b>	
Rapport chaîne	4	4	2	2	2	2	2	2	
Rapport trame	4	4	2	2	2	2	2	2	
n chg. Face Chaîne	2	2	2	2	2	2	2	2	
n chg. Face Trame	2	2	2	2	2	2	2	2	
Booten	Indice Chaîne en %	120.20	105.48	230.79	230.79	194.72	195	174.24	174.24
	Indice Trame en %	83.16	69.67	34.37	39.28	41.43	49.72	44.49	51.90
	Indice d'Ensemble en %	<b>100.0</b>	<b>73.5</b>	<b>79.3</b>	<b>90.7</b>	<b>80.7</b>	<b>96.8</b>	<b>77.5</b>	<b>90.4</b>
Rectification	Indice Chaîne en %	120.20	105.48	230.79	230.79	194.72	194.72	174.24	174.24
	Indice Trame en % (rectifié)	51.70	45.17	21.40	24.45	22.89	27.47	22.24	25.95
	Indice d'Ensemble en %	<b>62.1</b>	<b>47.6</b>	<b>49.4</b>	<b>56.4</b>	<b>44.6</b>	<b>53.5</b>	<b>38.8</b>	<b>45.2</b>

L'interprétation de Booten est aussi contradictoire avec les résultats rassemblés dans le tableau 4.4 car d'après les calculs d'indices de 13 échantillons en laine et mélange :

7 tissus sont intissables d'après les indices et interprétations de Booten et en réalité les tissus existent et leurs indices de saturation rectifiés confirment leurs tissabilités.

Tableau 4-4: Interprétations des indices numériques

N°	1	2	3	4	5	6	7
Matière	100% LAINE	100% LAINE	100% LAINE	55% POLYESTER 25% LAINE 20% VISCOSE	70% POLYESTER 30% LAINE	70% POLYESTER 30% LAINE	55% POLYESTER 45% LAINE
Armure	TOILE	CROISE2/2	CROISE2/2	CROISE2/2	SERGE3	TOILE	SERGE4
Densité g/cm3	1.31	1.31	1.31	1.39	1.36	1.36	1.35
Rch	2	4	4	4	3	2	4
Rtr	2	4	4	4	3	2	4
nch	2	2	2	2	2	2	2
ntr	2	2	2	2	2	2	2
masse g/m <sup>2</sup>	194	266	268	255	232	241	273
Compte chaîne	24.7	42.1	44.4	31.0	29.0	29.3	31.7
Compte Trame	20.8	22.1	23.0	25.8	32.8	34.5	26.6
Nech	15.0	15.0	16.0	13.0	17.0	18.0	13.0
Titre chaîne Tex	39.4	39.4	37.0	45.5	34.8	32.9	45.5
Netr	15.0	17.0	16.0	14.0	16.0	16.0	14.0
Titre Trame Tex	39.4	34.8	37.0	42.3	37.0	37.0	42.3
Embuvage	9.4	14.9	10.6	8.5	6.3	5.3	11.8
Retrait	8.2	2.7	5.7	5.1	13.2	9.6	8.3
<b>INDICE BOOTEN</b>	<b>78.8%</b>	<b>75.5%</b>	<b>82.6%</b>	<b>72.4%</b>	<b>88.9%</b>	<b>132.3%</b>	<b>78.6%</b>
<b>INDICE RECTIFIE</b>	<b>39.4%</b>	<b>49.3%</b>	<b>55.1%</b>	<b>47.7%</b>	<b>54.0%</b>	<b>68.1%</b>	<b>51.8%</b>
<b>Masse maximale g/m<sup>2</sup></b>	402.8	383.0	390.0	432.2	396.2	397.9	425.9
<b>INDICE MASSIQUE</b>	<b>48.2%</b>	<b>69.4%</b>	<b>68.7%</b>	<b>59.0%</b>	<b>58.6%</b>	<b>60.6%</b>	<b>64.1%</b>

#### 4.1.6. Expérimentation

Afin de vérifier les théories développées précédemment, nous avons réalisés les tissus suivants en laboratoire dont les caractéristiques sont rassemblées dans le tableau 4.5.

Tableau 4-5: Caractéristiques des machines et des trames utilisées

Machine Ratière à lances	CH	Compte chaîne	26 fils/cm
		Matière Textile	polyester
		Titre	300 dtex
	TR	Compte Trame	Variable
		Matière Textile	Coton and polyester
		Titre	variable
Empeignage		175 cm	
Machine Ratière à jet d'air	CH	Compte chaîne	24 fils/cm
		Matière Textile	polyester
		Titre	300 dtex
	TR	Compte Trame	Variable
		Matière Textile	Cotton and polyester
		Titre	variable
Empeignage		180 cm	
Machine Ratière à projectiles	CH	Compte chaîne	24 yarns per cm
		Matière Textile	coton
		Titre	50 tex
	TR	Compte Trame	Variable
		Matière Textile	Cotton and polyester
		Titre	variables
Empeignage		184 cm	
Machine jacquard à lances	CH	Compte chaîne	46 fils/cm
		Matière Textile	polyester
		Titre	300 dtex
	TR	Compte Trame	Variable
		Matière Textile	Coton et polyester
		Titre	variable
Empeignage		185 cm	

Qualités des trames:

Coton : 100, 71, 55, 45, 38, 30, 34, 40, 25 et 20 tex

Polyester : 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 et 600 dtex

Il a été tissé différentes armures simples, double faces et multiples

Et pour chaque armure, on tisse au minimum 3 duitages (duitage normal, duitage fort et duitage saturé) et ce pour différentes qualités de trame.

Paramètres :

Paramètres fixes : Les qualités chaînes et leurs caractéristiques

Paramètres Variables (Trame) : Duitage, titre et matière

Paramètres Variables (Chaîne) : Tension de tissage pour insérer les duitages saturés

Paramètres Variables (Armures) : Les armures simples et double faces

**4.1.7. Validation expérimentale des équations de saturation**

La figure 4-5 représente les limites de duitages insérables, pour un exemple de tissu simple, en fonction des grosseurs de trames et les graphiques sont par type de machine (lance, projectile et air) et par qualité de trame (trame polyester et trame coton)

(Voir annexe 2 : Indice de saturation numérique-tissu simple)

**Exemple de Tissu simple**

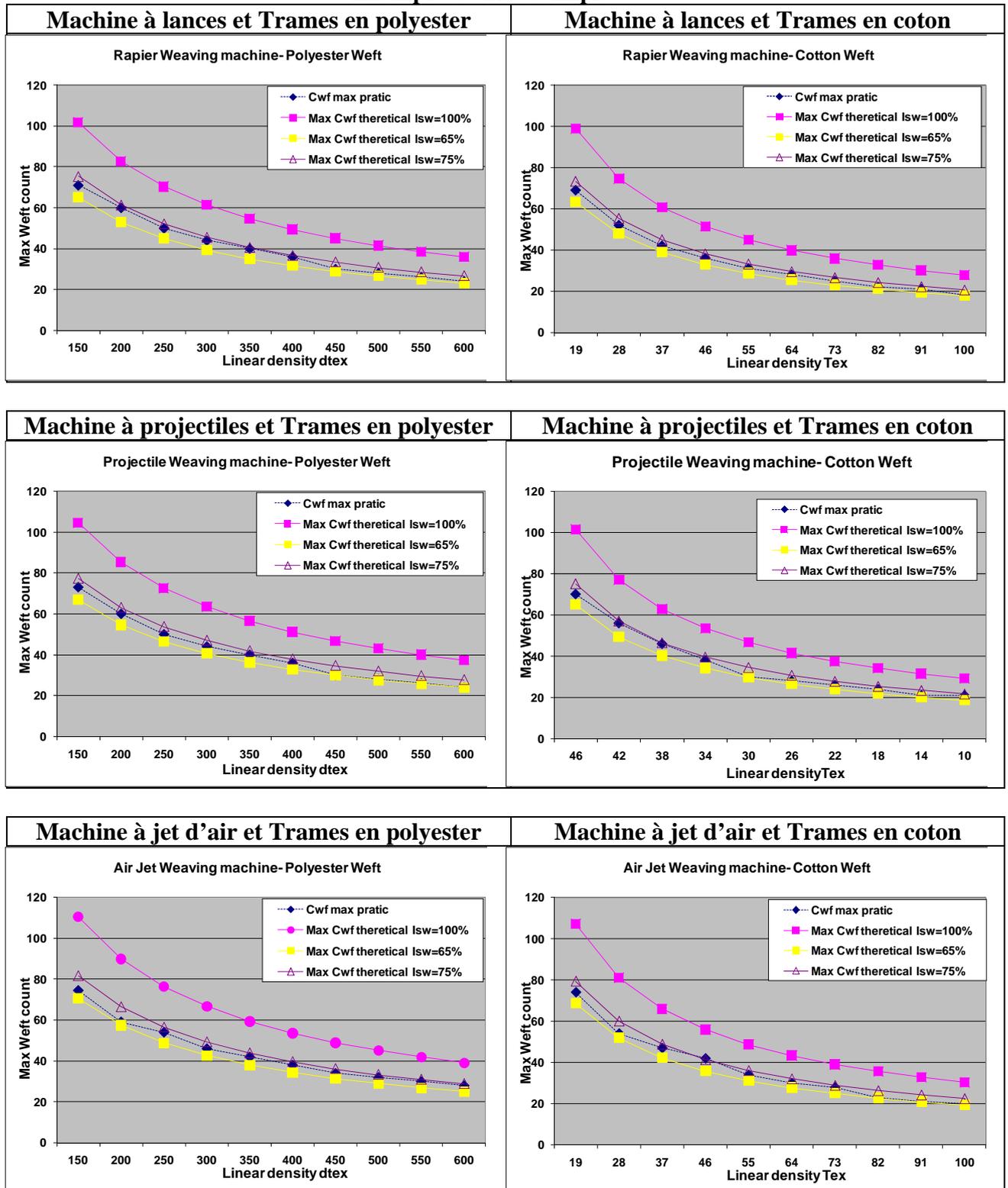


Figure 4-5: Graphiques de validation des indices numériques-tissu simple

La figure 4-5 représente les limites de duitages insérables, pour un exemple de tissu double faces, en fonction des grosseurs de trames et les graphiques sont par type de machine (lance, projectile et air) et par qualité de trame (trame polyester et trame coton)

(Voir annexe 2 : Indice de saturation numérique-tissu double face)

**Exemple de tissu double faces**

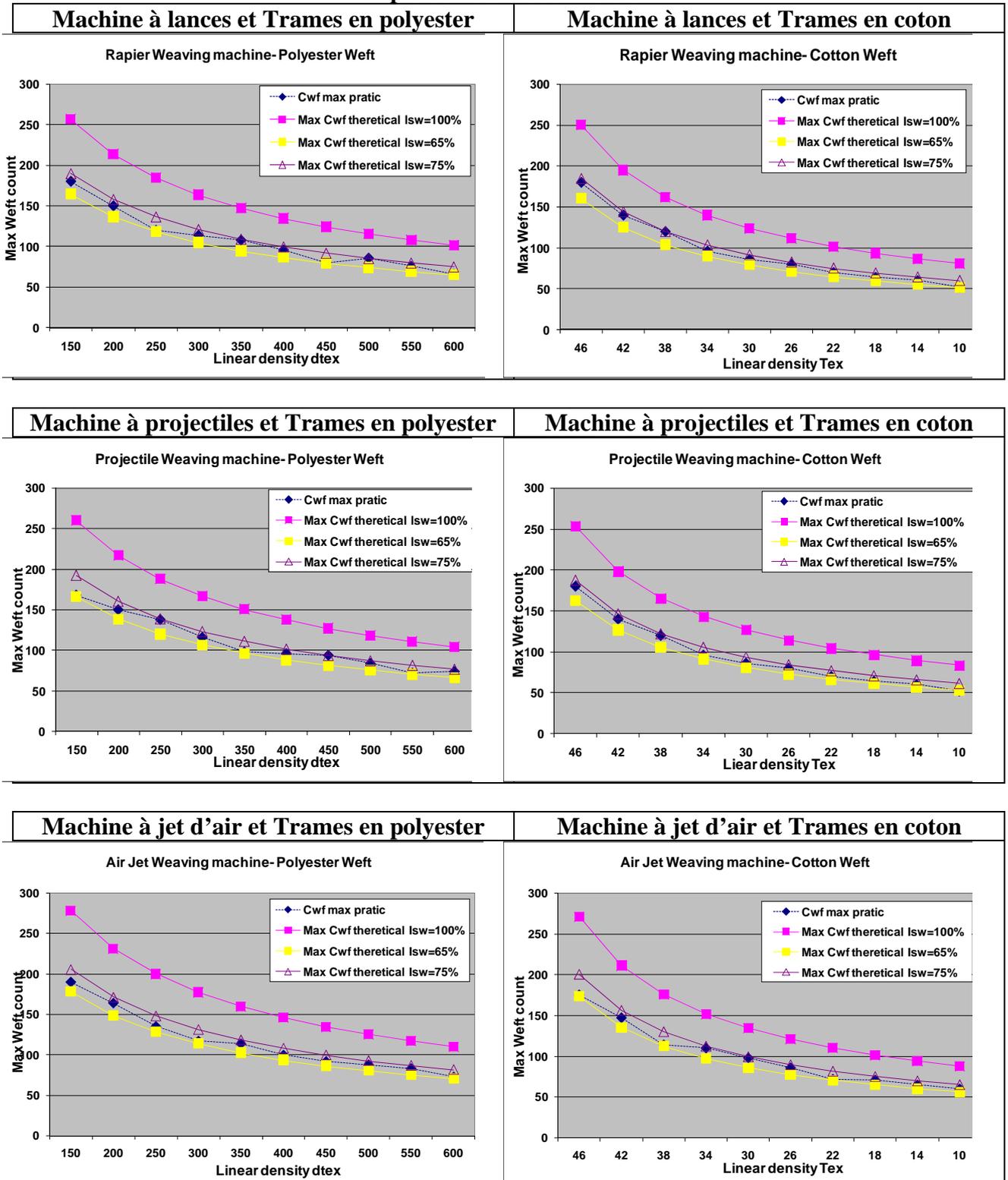


Figure 4-6: Graphiques de validation des indices numériques-tissu double face

Les expériences menées ont montrées que la limite pratique de tissabilité est égale 70% ( $\pm 5\%$ ) de l'indice de saturation tissu et que les contextures chaîne et trame peut être choisie en utilisant l'abaque de saturation figure 4.7

#### **4.1.8. Valeurs maximales théoriques et pratiques :**

Si les hypothèses formulées sont respectées et par définition, la saturation en chaîne ou en trame est atteinte lorsque le compte en chaîne ou le duitage réel est respectivement égal au compte en chaîne ou au duitage maximal. On a alors  $I_{ch}$  ou  $I_{tr}$  égal à 100.

Mais dans la réalité les hypothèses émises ne sont pas entièrement vérifiées.

En effet :

- Le diamètre des fils n'est pas toujours cylindrique, en particulier, les fils s'aplatissent partiellement lors des entrecroisements,
- Dans la contexture la plus resserrée, il peut arriver qu'il y ait superposition partielle des fils et déformation de ceux-ci (modification du diamètre apparent),
- L'embuvage et le retrait ne sont pratiquement jamais nuls sur les tissus écrus,

Il est donc tout à fait normal que les limites pratiques de tissabilité diffèrent des limites théoriques.

Il a été démontré que la saturation est obtenue lorsque l'indice de saturation d'ensemble est égal à 70% ( $\pm 5\%$ )

Et si l'indice de saturation d'ensemble est supérieur à 70% ( $\pm 5\%$ ), l'article est réputé intissable.

#### 4.1.9. Abaque de saturation

L'abaque ci-dessous (Figure 4-7) nous permet de juger la tssabilité d'une contexture en passant par le calcul des indices chaîne et trame

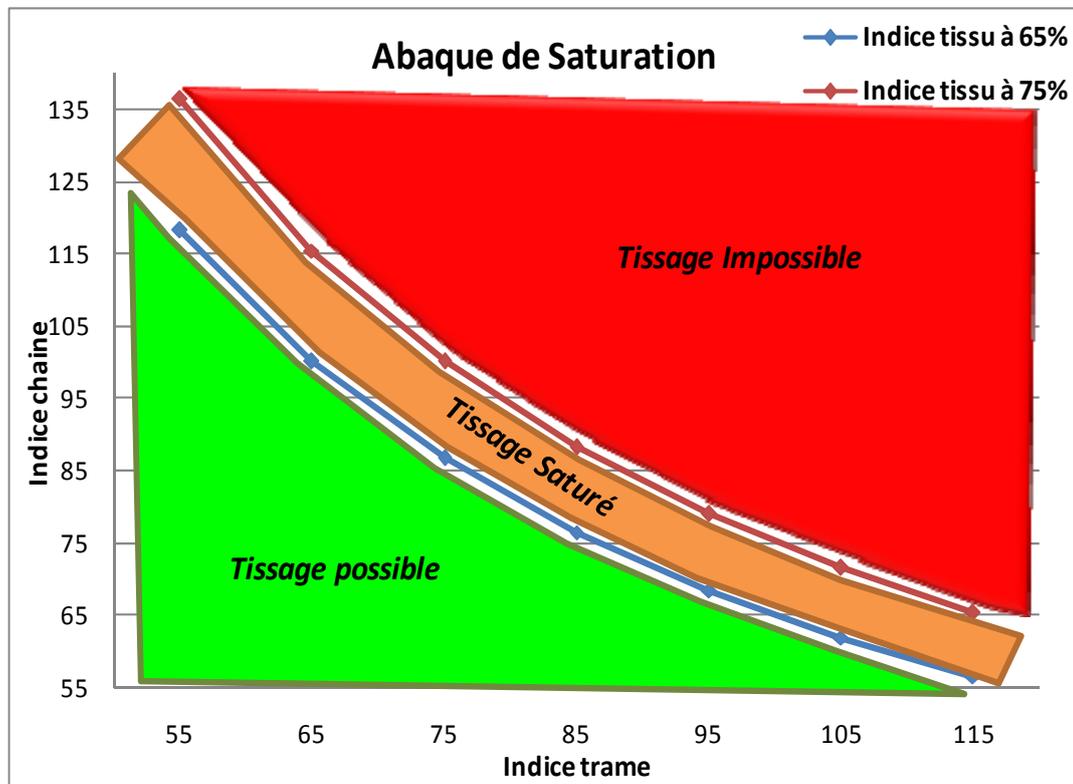


Figure 4-7: Abaque de saturation – Indice numérique

Zone 1 : Tissage impossible « contexture impossible »

Zone 2 : Tissage possible « contexture saturée = Articles textile à usage technique »

Zone 3 : Tissage possible « contexture normale = articles textile à usage traditionnel »

#### 4.1.10. Exemple d'application

A titre d'exemple prenant le cas concret d'une armure diagonale et vérifions les indices de saturations

Armure : diagonale 3/2 décochement 2 en chaîne

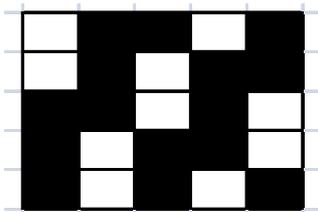


Figure 4-8: Armure diagonale

Contexture :

28/24 en (tex) 36/30  
Polyester-coton 75/25

Masse volumique :

Coton: = 1,50 g/cm<sup>3</sup>  
Polyester: = 1,38 g/cm<sup>3</sup>  
Mélange: = 1,41 g/cm<sup>3</sup>  
Evolutions : de la chaîne : nc = 2/5  
de la trame : nr = 4/5

Indices numériques de saturation sont résumés dans le tableau 4.6:

Tableau 4-6: Indices de saturation de l'armure diagonale

Cas	Tissage à tension faible (Emb=max) 1er Cas : $\alpha = 0$ Chaîne tendue Embuvage = 0 et Trame ondulée Retrait = max	Tissage à tension forte (ret=max) 2ème Cas : $\alpha = 1$ Chaîne ondulée Embuvage = max et Trame tendue Retrait = 0
Ich	$I_{sch} = K \times C_{ch} \left( \sqrt{\frac{T_{ch}}{\phi \rho_{ch}}} \right)$ $I_{sch} = 0.36 \times 24 \left( \sqrt{\frac{30}{1.41}} \right) = 50.50\%$	$I_{sch} = K \times C_{ch} \left( \sqrt{\frac{T_{ch}}{\phi \rho_{ch}}} + \frac{n_{tr}}{r_{ch}} \sqrt{\frac{T_{tr}}{\phi \rho_{tr}}} \right)$ $I_{sch} = 0.36 \times 28 \left( \sqrt{\frac{36}{0.41}} + \frac{4}{5} \sqrt{\frac{30}{1.41}} \right) = 87.37\%$
Itr	$I_{str} = K \times C_{tr} \left( \sqrt{\frac{T_{tr}}{\phi \rho_{tr}}} + \frac{n_{ch}}{r_{tr}} \sqrt{\frac{T_{ch}}{\phi \rho_{ch}}} \right)$ $I_{str} = 0.36 \times 24 \left( \sqrt{\frac{30}{1.41}} + \frac{2}{5} \sqrt{\frac{36}{1.41}} \right) = 56.83\%$	$I_{str} = K \times C_{tr} \left( \sqrt{\frac{T_{tr}}{\phi \rho_{tr}}} \right)$ $I_{str} = 0.36 \times 24 \left( \sqrt{\frac{30}{1.41}} \right) = 39.65\%$
Ist	$I_{st} = \frac{50.50 \times 56.83}{100} = 28.69\%$	$I_{st} = \frac{87.37 \times 39.51}{100} = 34.52\%$

Commentaire : article ne présentant aucune difficulté en ce qui concerne la contexture et à tension très faible le tissu sera saturé à 28,69% et à tension très forte le tissu sera saturé à 34,52%.

#### 4.1.11. Conclusion

Les indices qui viennent d'être définis présentent un certain nombre d'avantages appréciables:

- ils sont d'un emploi universel quelque soit l'armure simples ou complexes ;
- ils sont indépendants du type de machine à tisser utilisé;
- ils permettent la comparaison a priori d'articles différents. En particulier, ils permettent d'adapter facilement les caractéristiques des lisières (armure et contexture) à celles du tissu de fond;
- ils permettent un choix optimal des contextures, compte-tenu des utilisations envisagées, en particulier pour les tissus techniques.

## 4.2. INDICES DE SATURATION MASSIQUE

### 4.2.1. Introduction :

La limite de tissabilité massique est la masse surfacique exprimée en  $g/m^2$  maximale qui peut être tissé dans les conditions de tissage de saturation pour une armure et fils chaîne et trame donnés.

Cette limite ne peut être déterminée qu'empiriquement et elle est fondée sur des structures simplifiées de tissus, permettant de chiffrer a priori la difficulté que l'on éprouvera à tisser un article dont on connaît la contexture et l'armure

Et on note que:

- Cette limite ne peut être déterminée qu'empiriquement. Elle nécessite donc pour chaque article un essai préliminaire;
- Elle est propre à une machine donnée et son extrapolation à d'autres machines sont sujettes à caution;
- La limite économique de tissabilité, c'est-à-dire celle correspondant à un taux de casses, à une présentation et à une qualité acceptable, est bien inférieure à la limite technique ainsi définie.

Pour ces raisons, il peut être intéressant de disposer d'un modèle mathématique qui, bien que fondé sur des structures simplifiées de tissus, permette de chiffrer à priori la difficulté que l'on éprouvera à tisser un article dont on connaît la contexture et l'armure.

La limite de l'indice massique de saturation ainsi défini constituera la limite de tissabilité quelque soit la machine utilisée.

### 4.2.2. Définition des indices massique de saturation.

La difficulté de tisser un tissu d'armure donnée peut provenir:

- De la contexture en chaîne,
- De la contexture en trame,
- De la conjugaison des deux contextures.

Il est donc nécessaire de considérer isolément chacun de ces facteurs.

A la condition de pouvoir définir clairement la masse surfacique chaîne (respectivement trame) maximale correspondant à un titre donné, l'indice massique de saturation peut être exprimé:

- pour la chaîne par le rapport de la masse surfacique chaîne réelle sur la masse surfacique chaîne maximale,
- pour la trame par le rapport de la masse surfacique trame réelle sur la masse surfacique trame maximale,

Afin d'en faciliter l'expression, ces valeurs seront données en %

$$Ismch = \frac{masse\_chaîne}{masse\_max\_chaîne} .100 \quad (4-27)$$

$$Ismtr = \frac{masse\_trame}{masse\_max\_trame} .100 \quad (4-28)$$

La difficulté de tissage liée à la conjugaison de ces deux difficultés primaires sera donnée par un indice d'ensemble :

$$Ismt = \frac{masse\_tissu}{masse\_max\_tissu} .100 \quad (4-29)$$

$$Ismt = Ismch + Ismtr$$

### 4.2.3. Détermination de l'indice massique tissu « tissus simples »

#### 4.2.3.1. Hypothèses de la modélisation des tissus simples:

La masse surfacique réelle (chaîne+trame) étant connue, il suffit de déterminer la masse surfacique (chaîne+trame) maximale. Pour cela, il est nécessaire de faire préalablement les hypothèses suivantes:

1 ère hypothèse: les filés utilisés, dont on connaît le titre, ont des sections cylindriques.

$$\phi = k \sqrt{\frac{Tex}{\rho fibre}} \quad (3.1)$$

2ème hypothèse: dans le cas de la contexture la plus resserrée, les fils de chaîne sont jointifs sous les flottés de trame et ne sont écartés que d'une épaisseur de trame lors des changements de face de celle-ci tandis que les fils trames sont jointifs.

3ème hypothèse : pour tisser aux conditions de saturation, la chaîne est très tendue ce qui correspond donc à un embuvage nul (Retrait maximal) et ce dont vers quoi on tend dans le cas du tissage à fort duitage.

4ème hypothèse : changement de face de la trame

La matière trame entre les fils de chaîne lors des changements de face est assimilée à un fil de trame continu incorporé dans le sens chaîne (parallèle aux fils de chaîne) et son titre est fonction de l'espace occupé.

La figure 4.9 illustre les coupes chaîne et trame en fonction des hypothèses 1,2 ,3 et 4.

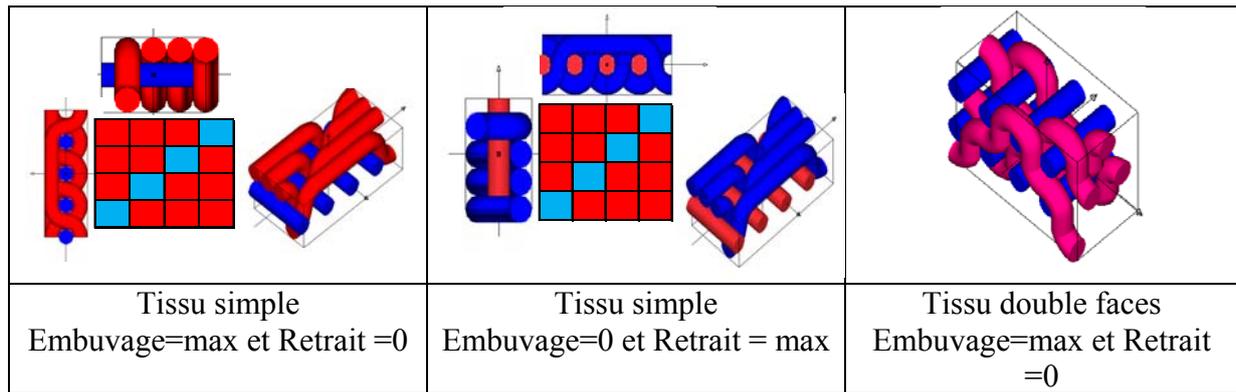


Figure 4-9 : Exemples d'armures

#### 4.2.3.2. La modélisation des tissus simples:

Pour la modélisation des tissus simples, il a été supposé que dans le cas de la contexture la plus resserrée, les fils de chaîne sont jointifs sous les flottés de trame et ne sont écartés que d'une épaisseur de trame lors des changements de face de celle-ci tandis que les fils trames sont jointifs et pour tisser aux conditions de saturation, la chaîne est supposée très tendue ce qui correspond donc à un embuvage nul et un retrait maximal. la matière trame entre les fils de chaîne lors des changements de face est assimilée à un fil de trame continu incorporé dans le sens chaîne et son titre est fonction de l'espace occupé.

La figure 4.10 présente les étapes de base pour la modélisation finale d'un tissu saturé dans le but de calculer sa masse surfacique maximale ;

Etape1 : La coupe chaîne et la coupe Trame sont représentés, pour une contexture saturée et pour l'armure sergé comme exemple, et ce selon les hypothèses 1, 2 et 3.

Etape2 : La coupe chaîne est placée dans un quadrillage dont les dimensions sont fonction des diamètres chaîne et trame.

Etape3 : La trame est découpée selon sa répartition dans la coupe: matière sur l'endroit pour les pris, matière sur l'envers pour les laissés et matière entre les fils de chaîne pour les changements de face.

Etape4 : Les flèches indiquent la façon de regroupement de la matière trame situées sur l'endroit, sur l'envers et entre les fils de chaîne de la coupe chaîne.

Etape5 : La matière trame d'envers a été regroupée avec la matière trame d'endroit selon l'hypothèse 4.

Etape6 : Modélisation finale selon les hypothèses 1 et 4, une trame droite sur l'endroit et 2 trames parallèles aux fils de chaîne.

Modélisation pour calculer la masse surfacique maximale : Etapes 1 à 6

Base : Coupe chaîne et Condition de saturation « Emb=0 »

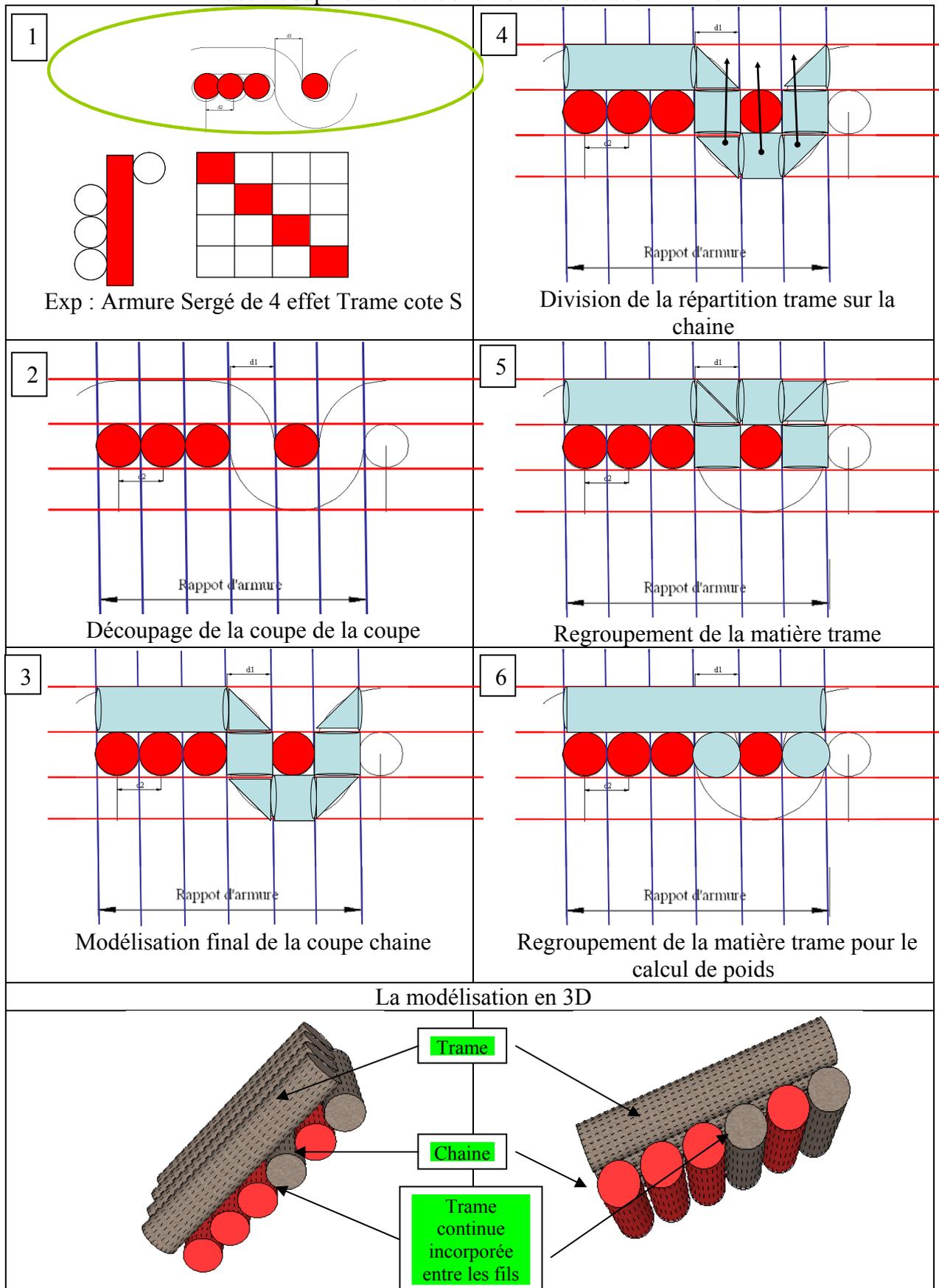


Figure 4-10 : Modélisation pour calculer la masse surfacique maximale

A partir du Regroupement de la matière trame basé sur la modélisation finale de la coupe en chaîne, on peut démontrer facilement que la masse surfacique du tissu (chaîne + trame) maximale est égale à :

$$masse\ max\_g / m^2 = k.(\sqrt{Ttr.\rho_{tr}} + \frac{Rch.Tch + ntr.\sqrt{\frac{Tch}{\rho_{ch}}}\sqrt{\frac{\rho_{tr}}{Ttr}}.Ttr}{Rch\sqrt{\frac{Tch}{\rho_{ch}}} + ntr\sqrt{\frac{Ttr}{\rho_{tr}}}}) \quad (4-30)$$

Rch et Rtr : respectivement rapport chaîne et rapport trame de l'armure  
 ntr et nch : respectivement nombre de changement de face chaîne et trame  
 Tch et Ttr : respectivement titre chaîne et titre trame  
 pch et ptr : respectivement densité chaîne et densité trame

Le tableau 4.7 Et on peut exprimer l'indice massique pour la chaîne et pour la trame :

Tableau 4-7: Indices de saturation massique Chaîne, Trame et Tissu

Indice	Indice de Saturation Massique	Masse Surfaccique Maximale g/m <sup>2</sup>
Chaîne	$Is_{mch} = \frac{masse\_chaîne}{masse\_max\_chaîne} .100$	$M_{chaîne\ max}(g/m^2) = \frac{Rch \times Tch}{10.k \times (Rch.\sqrt{\frac{Tch}{\phi\rho_{fch}}} + Ntr.\sqrt{\frac{Ttr}{\phi\rho_{ftr}}})}$
Trame	$Is_{mtr} = \frac{masse\_trame}{masse\_max\_trame} .100$	$M_{trame\ max}(g/m^2) = \frac{1}{10.k} \left\{ \sqrt{Tch \times \phi\rho_{fch}} + \frac{Ntr \times (\sqrt{\frac{Tch}{\phi\rho_{fch}}} / \sqrt{\frac{Ttr}{\phi\rho_{ftr}}}) Ttr}{(Rch \times \sqrt{\frac{Tch}{\phi\rho_{fch}}} + Ntr \times \sqrt{\frac{Ttr}{\phi\rho_{ftr}}})} \right\}$
Tissu	$Is_{mt} = \frac{masse\_tissu}{masse\_max\_tissu} .100$	$M_{tissu\ max}(g/m^2)(g/m^2) = \frac{1}{10.k} \left\{ \sqrt{Tch \times \phi\rho_{fch}} + \frac{Rch \times Tch + Ntr \times (\sqrt{\frac{Tch}{\phi\rho_{fch}}} / \sqrt{\frac{Ttr}{\phi\rho_{ftr}}}) Ttr}{(Rch \times \sqrt{\frac{Tch}{\phi\rho_{fch}}} + Ntr \times \sqrt{\frac{Ttr}{\phi\rho_{ftr}}})} \right\}$

### 4.2.3.3.Expression des indices pour les tissus simples

A partir des coupes chaîne et trame et de la modélisation des coupes à la saturation en fonction des quatre hypothèses, on peut déterminer les comptes maximaux chaîne et trames et par la suite calculer les masses surfacciques chaîne, trame et tissu.

La saturation peut être obtenue en tissant soit en chaîne tendue (embuvage nul et retrait maximum) ou en trame tendue (embuvage maximum et retrait nul) c'est pourquoi pour généraliser les équations de saturation, Nous avons introduit un paramètre supplémentaire «  $\alpha$  » qui prend en considération la tension de tissage.

$$Embuvage = Embuvage"Max".\alpha$$

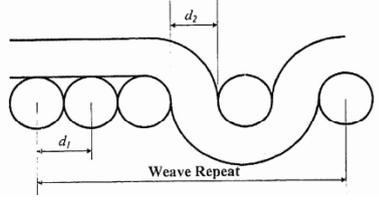
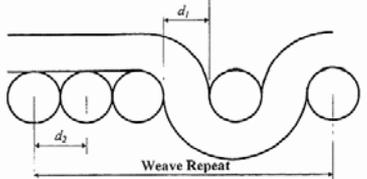
$$Retrait = Retrait"Max".(1 - \alpha)$$

Les figures 4.11 et 4.12 représentent les deux cas pour tisser à la saturation :

1<sup>er</sup> cas : Tissage à tension forte ce qui correspond à un embuvage nul et un retrait maximal

2<sup>ème</sup> cas : Tissage à tension faible ce qui correspond à un embuvage maximal et un retrait nul

Avec  $0 \leq \alpha \leq 1$

1er cas : $\alpha = 0$	2eme cas : $\alpha = 1$
Embuvage nul et retrait maximal	Embuvage maximal et retrait nul
 <p>Figure 4-11: Coupe Chaîne <math>\alpha = 0</math></p>	 <p>Figure 4-12: Coupe Trame <math>\alpha = 1</math></p>

Remarque: il est évident que la structure de ces deux coupes ne peut à la fois représenter la chaîne et la trame puisque cela supposerait que l'embuvage et le retrait soient simultanément nuls, ce qu'est impossible.

On obtient donc :

$$C_{chaîne_{max}} = \frac{Rch}{Rch.d_1 + (1 - \alpha).Ntr.d_2} \quad (4-31)$$

$$C_{trame_{max}} = \frac{Rtr}{\alpha.Nch.d_1 + Rtr.d_2} \quad (4-32)$$

Masse chaîne :

$$M_{chaîne_{max}} (g/m^2) = \frac{Cch_{max} \times Tch}{10} + \alpha \cdot \frac{CNch_{max} \times (d_2/d_1) Tch}{10} \quad (4-33)$$

Masse trame :

$$M_{trame_{max}} (g/m^2) = \frac{Ctr_{max} \times Ttr}{10} + (1 - \alpha) \frac{CNtr_{max} \times (d_1/d_2) Ttr}{10} \quad (4-34)$$

$$CNtrame_{max} = \frac{(1 - \alpha).tr}{Rch \times d_1 + Ntr \times d_2} \quad (4-35)$$

$$CNchaîne_{max} = \frac{\alpha.Nch}{Rtr \times d_2 + Nch \times d_1} \quad (4-36)$$

En utilisant les équations (31) à (36) on peut exprimer les masses chaîne et trame maximales par :

Masse surfacique chaîne maximale g/m<sup>2</sup>

$$M_{chaîne_{max}} (g / m^2) = \frac{Cch_{max} \times Tch}{10} + \alpha \cdot \frac{CNch_{max} \times (d_2 / d_1) Tch}{10} \quad (4-37)$$

$$M_{chaîne_{max}} (g/m^2) = \frac{Rch \times Tch}{10 \times (Rch \cdot d_1 + (1 - \alpha) \cdot Ntr \cdot d_2)} + \alpha \cdot \frac{Nc \times (d_2 / d_1) Tch}{10 \times (Rtr \times d_2 + Nch \times d_1)} \quad (4-38)$$

$$M_{chaîne_{max}} (g/m^2) = \frac{Rch \times Tch}{10 \cdot k \times (Rch \cdot \sqrt{\frac{Tch}{\phi \rho_{fch}}} + (1 - \alpha) \cdot Ntr \cdot \sqrt{\frac{Ttr}{\phi \rho_{ftr}}})} + \alpha \cdot \frac{Nch \times (\sqrt{\frac{Ttr}{\phi \rho_{ftr}}} / \sqrt{\frac{Tch}{\phi \rho_{fch}}}) Tch}{10 \cdot k \times (Rtr \times \sqrt{\frac{Ttr}{\phi \rho_{ftr}}} + Nch \times \sqrt{\frac{Tch}{\phi \rho_{fch}}})} \quad (4-39)$$

Masse surfacique trame maximale g/m<sup>2</sup>

$$M_{trame_{max}} (g / m^2) = \frac{Ctr_{max} \times Ttr}{10} + (1 - \alpha) \frac{CNtr_{max} \times (d_1 / d_2) Ttr}{10} \quad (4-40)$$

$$M_{trame_{max}} (g/m^2) = \frac{Rtr \times Ttr}{10 \times (\alpha \cdot Nch \cdot d_1 + Rtr \cdot d_2)} + (1 - \alpha) \frac{Ntr \times (d_1 / d_2) Ttr}{10 \times (Rch \times d_1 + Ntr \times d_2)} \quad (4-41)$$

$$M_{trame_{max}} (g / m^2) = \frac{Rtr \times Ttr}{10 \cdot k \times (\alpha \cdot Nch \cdot \sqrt{\frac{Tch}{\phi \rho_{fch}}} + Rtr \cdot \sqrt{\frac{Ttr}{\phi \rho_{ftr}}})} + (1 - \alpha) \frac{Ntr \times (\sqrt{\frac{Tch}{\phi \rho_{fch}}} / \sqrt{\frac{Ttr}{\phi \rho_{ftr}}}) Ttr}{10 \cdot k \times (Rch \times \sqrt{\frac{Tch}{\phi \rho_{fch}}} + Ntr \times \sqrt{\frac{Ttr}{\phi \rho_{ftr}}})} \quad (4-42)$$

Masse surfacique tissu maximale g/m<sup>2</sup>

$$M_{tissu_{max}} (g / m^2) = M_{chaîne_{max}} (g / m^2) + M_{trame_{max}} (g / m^2) \quad (32)$$

$$M_{chaîne_{max}} (g/m^2) = \frac{Rch \times Tch}{10 \cdot k \times (Rch \cdot \sqrt{\frac{Tch}{\phi \rho_{fch}}} + (1 - \alpha) \cdot Ntr \cdot \sqrt{\frac{Ttr}{\phi \rho_{ftr}}})} + \alpha \cdot \frac{Nch \times (\sqrt{\frac{Ttr}{\phi \rho_{ftr}}} / \sqrt{\frac{Tch}{\phi \rho_{fch}}}) Tch}{10 \cdot k \times (Rtr \times \sqrt{\frac{Ttr}{\phi \rho_{ftr}}} + Nch \times \sqrt{\frac{Tch}{\phi \rho_{fch}}})} \quad (4-43)$$

$$M_{trame_{max}} (g / m^2) = \frac{Rtr \times Ttr}{10 \cdot k \times (\alpha \cdot Nch \cdot \sqrt{\frac{Tch}{\phi \rho_{fch}}} + Rtr \cdot \sqrt{\frac{Ttr}{\phi \rho_{ftr}}})} + (1 - \alpha) \frac{Ntr \times (\sqrt{\frac{Tch}{\phi \rho_{fch}}} / \sqrt{\frac{Ttr}{\phi \rho_{ftr}}}) Ttr}{10 \cdot k \times (Rch \times \sqrt{\frac{Tch}{\phi \rho_{fch}}} + Ntr \times \sqrt{\frac{Ttr}{\phi \rho_{ftr}}})} \quad (4-44)$$

Paramètres:

- d1 : Diamètre du fil chaîne
- d2 : Diamètre du fil trame,
- Cch : Compte chaîne par cm
- Ctr : Compte trame
- Tch : Titre du fil chaîne en Tex
- Ttr : Titre du fil trame en Tex
- Ntr : Nombre de changement de face trame
- Nch : Nombre de changement de face chaîne
- CNch : Compte de changements de face chaîne
- CNtr : Compte de changements de face trame
- Rch : Rapport d'armure chaîne
- Rtr : Rapport d'armure trame
- $\rho_f$  : Densité fibre (g/cm<sup>3</sup>)
- $\phi$  : Coefficient de tassement fil

Tableau 4-8: Expression des indices pour les tissus simples

1er Cas : $\alpha = 0$ Chaîne tendue Embuvage = 0 et Trame ondulée Retrait = max	
	$M_{chaîne_{max}}(g/m^2) = \frac{Rch \times Tch}{10.k \times (Rch \cdot \sqrt{\frac{Tch}{\phi \rho_{fch}}} + Ntr \cdot \sqrt{\frac{Ttr}{\phi \rho_{ftr}}})} \quad (35)$
	$M_{trame_{max}}(g/m^2) = \frac{1}{10.k} \left\{ \sqrt{Tch \times \phi \rho_{fch}} + \frac{Ntr \times (\sqrt{\frac{Tch}{\phi \rho_{fch}}} / \sqrt{\frac{Ttr}{\phi \rho_{ftr}}}) Ttr}{(Rch \times \sqrt{\frac{Tch}{\phi \rho_{fch}}} + Ntr \times \sqrt{\frac{Ttr}{\phi \rho_{ftr}}})} \right\} \quad (36)$
2 <sup>ème</sup> Cas : $\alpha = 1$ Chaîne ondulée Embuvage = max et Trame tendue Retrait = 0	
	$M_{chaîne_{max}}(g/m^2) = \frac{1}{10.k} \left\{ \sqrt{Tch \times \phi \rho_{fch}} + \frac{Nch \times (\sqrt{\frac{Ttr}{\phi \rho_{ftr}}} / \sqrt{\frac{Tch}{\phi \rho_{fch}}}) Tch}{10 \times (Rtr \times \sqrt{\frac{Ttr}{\phi \rho_{ftr}}} + Nch \times \sqrt{\frac{Tch}{\phi \rho_{fch}}})} \right\} \quad (37)$
	$W_{trame_{max}}(g/m^2) = \frac{Rtr \times Ttr}{10.k \times (Nch \sqrt{\frac{Tch}{\phi \rho_{fch}}} + Rtr \sqrt{\frac{Ttr}{\phi \rho_{ftr}}})} \quad (38)$

4.2.3.4. Expression des indices pour les tissus doubles faces

En se fondant sur le même raisonnement, le tableau 4.9 rassemble les calculs des indices massiques et les limites de tissabilité.

Tableau 4-9: Indices massiques et limite de tissabilité

Tissu et $\alpha$		Maximum Warp and Weft Weight g/m <sup>2</sup>
1 Ch +1Tr	$\alpha = 0$ or $\alpha = 1$	$M_{chaîne_{max}}(g/m^2) = \frac{Rch \times Tch}{10.k \times (Rch \sqrt{\frac{Tch}{\phi_{fch}}} + (1-\alpha).Ntr. \sqrt{\frac{Ttr}{\phi_{ftr}}})} + \alpha \frac{Nwp \times (\sqrt{\frac{Ttr}{\phi_{jwf}}} / \sqrt{\frac{Tch}{\phi_{jwp}}}) Tch}{10.k \times (Rtr \times \sqrt{\frac{Ttr}{\phi_{ftr}}} + Nch \times \sqrt{\frac{Tch}{\phi_{fch}}})}$
		$M_{trame_{max}}(g/m^2) = \frac{Rtr \times Ttr}{10.k \times (\alpha.Nch \sqrt{\frac{Tch}{\phi_{fch}}} + Rtr \sqrt{\frac{Ttr}{\phi_{ftr}}})} + (1-\alpha) \frac{Ntr \times (\sqrt{\frac{Tch}{\phi_{fch}}} / \sqrt{\frac{Ttr}{\phi_{ftr}}}) Ttr}{10.k \times (Rch \times \sqrt{\frac{Tch}{\phi_{fch}}} + Ntr \times \sqrt{\frac{Ttr}{\phi_{ftr}}})}$
1 Ch +n Tr	$\alpha = 1$	$M_{chaîne_{max}}(g/m^2) = \frac{Rch \times Tch}{10.k \times (Rch \sqrt{\frac{Tch}{\phi_{fch}}} + (1-\alpha) \sum_i^n Ntri. \sqrt{\frac{Ttri}{\phi_{ftri}}})} + \alpha \sum_i^n \frac{Nch \times (\sqrt{\frac{Ttri}{\phi_{ftri}}} / \sqrt{\frac{Tch}{\phi_{fch}}}) Tch}{10.k \times (Rtri \times \sqrt{\frac{Ttri}{\phi_{ftri}}} + Nch \times \sqrt{\frac{Tch}{\phi_{fch}}})}$
		$M_{trame_{max}}(g/m^2) = \sum_i^n \frac{Rtri \times Ttri}{10.k \times (\alpha.Nch \sqrt{\frac{Tch}{\phi_{fch}}} + Rtri \times \sqrt{\frac{Ttri}{\phi_{ftri}}})} + (1-\alpha) \sum_i^n \frac{Ntri \times (\sqrt{\frac{Tch}{\phi_{fch}}} / \sqrt{\frac{Ttri}{\phi_{ftri}}}) Ttri}{10.k \times (Rch \times \sqrt{\frac{Tch}{\phi_{fch}}} + Ntri \times \sqrt{\frac{Ttri}{\phi_{ftri}}})}$
n Ch + 1 Tr	$\alpha = 0$	$M_{chaîne_{max}}(g/m^2) = \sum_i^n \frac{Rch_i \times Tch_i}{10.k \times (Rch_i \sqrt{\frac{Tch_i}{\phi_{fchi}}} + (1-\alpha).Ntr. \sqrt{\frac{Ttr}{\phi_{ftr}}})} + \alpha \sum_i^n \frac{Nch \times (\sqrt{\frac{Ttr}{\phi_{ftr}}} / \sqrt{\frac{Tch_i}{\phi_{fchi}}}) Tch_i}{10.k \times (Rtr \times \sqrt{\frac{Ttr}{\phi_{ftr}}} + Nch_i \times \sqrt{\frac{Tch_i}{\phi_{fchi}}})}$
		$M_{trame_{max}}(g/m^2) = \frac{Rtr \times Ttr}{10.k \times (\alpha \sum_i^n Nch_i \sqrt{\frac{Tch_i}{\phi_{fchi}}} + Rtr \sqrt{\frac{Ttr}{\phi_{ftr}}})} + (1-\alpha) \sum_i^n \frac{Ntr \times (\sqrt{\frac{Tch_i}{\phi_{fchi}}} / \sqrt{\frac{Ttr}{\phi_{ftr}}}) Ttr}{10.k \times (Rch_i \times \sqrt{\frac{Tch_i}{\phi_{fchi}}} + Ntr \times \sqrt{\frac{Ttr}{\phi_{ftr}}})}$

#### 4.2.4. Validation et interprétation des indices de saturation massique

L'interprétation de Booten est contradictoire avec les résultats trouvés car d'après les calculs d'indices des tissus rassemblés dans le tableau 4.10, ces tissus intissables or ils ont été tissés.

En revanche les calculs d'indices avec les nouvelles formules confirment que les tissus sont réalisables et tissables sans difficultés ce qui confirme la validité des formules proposées.

Tableau 4-10: Interprétations des indices massiques

		Articles du commerce		Articles tissés dans l'atelier tissage de l'ESITH						
Tissu		jeans1	jeans2	tissu1	tissu2	tissu3	tissu4	tissu5	tissu6	
Compte Chaîne		29	28	47	47	47	47	47	47	
Titre Chaîne en denier		900	709	335	335	335	335	335	335	
Titre Chaîne en Tex		100	79	37	37	37	37	37	37	
Diamètre Chaîne en cm		0.029	0.026	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	
Matière Chaîne		coton	coton	PET	PET	PET	PET	PET	PET	
Densité Matière Chaîne		1.51	1.51	1.38	1.38	1.38	1	1.38	1.38	
Compte Trame		<b>21.7</b>	<b>19.0</b>	<b>7.0</b>	<b>8.0</b>	<b>10.0</b>	<b>12.0</b>	<b>12.0</b>	<b>14.0</b>	
Titre Trame en denier		<b>607.9</b>	<b>551.1</b>	<b>911</b>	<b>911</b>	<b>511</b>	511	<b>335</b>	<b>335</b>	
Titre Trame en Tex		68	61	101	101	57	57	37	37	
Diamètre Trame en cm		0.024	0.024	0.031	0.031	0.023	0.023	0.019	0.019	
Matière Trame		coton	PET	PET	PET	PET	PET	PET	PET	
Densité Matière Trame		1.51	1.38	1.38	1.38	1.38	1	1.38	1.38	
Armure		<b>sergé</b>	<b>sergé</b>	<b>toile</b>	<b>toile</b>	<b>toile</b>	<b>toile</b>	<b>toile</b>	<b>toile</b>	
Rapport chaîne		4	4	2	2	2	2	2	2	
Rapport trame		4	4	2	2	2	2	2	2	
n chg. Face Chaîne		2	2	2	2	2	2	2	2	
n chg. Face Trame		2	2	2	2	2	2	2	2	
<b>Booten</b>	Indice Chaîne en %	120.20	105.48	230.79	230.79	194.72	195	174.24	174.24	
	Indice Trame en %	83.16	69.67	34.37	39.28	41.43	49.72	44.49	51.90	
	Indice d'Ensemble en %	<b>100.0</b>	<b>73.5</b>	<b>79.3</b>	<b>90.7</b>	<b>80.7</b>	<b>96.8</b>	<b>77.5</b>	<b>90.4</b>	
<b>Réctification</b>	Indice Chaîne en %	120.20	105.48	230.79	230.79	194.72	194.72	174.24	174.24	
	Indice Trame en % (réctifié)	51.70	45.17	21.40	24.45	22.89	27.47	22.24	25.95	
	Indice d'Ensemble en %	<b>62.1</b>	<b>47.6</b>	<b>49.4</b>	<b>56.4</b>	<b>44.6</b>	<b>53.5</b>	<b>38.8</b>	<b>45.2</b>	
<b>Indice Massique</b>	Masse surfacique/Réelle	345	235	256	306	294	300	247	255	
	Masse surfacique Max/Emb=0	627.24	554.88	531.95	531.95	448.81	448.81	401.61	401.61	
	Indice de saturation massique	<b>55.0</b>	<b>42.4</b>	<b>48.1</b>	<b>57.5</b>	<b>65.5</b>	<b>66.8</b>	<b>61.5</b>	<b>63.5</b>	
	Masse surfacique Max/Ret=0	627.24	571.71	531.95	531.95	448.81	448.81	401.61	401.61	
Indice de saturation massique	<b>55.0</b>	<b>41.1</b>	<b>48.1</b>	<b>57.5</b>	<b>65.5</b>	<b>66.8</b>	<b>61.5</b>	<b>63.5</b>		

L'interprétation de Booten est aussi contradictoire avec les résultats rassemblés dans le tableau 4.11 car d'après les calculs d'indices de 13 échantillons en laine et mélange :  
 7 Tissus sont intissables d'après les indices et interprétations de Booten et en réalité les tissus existent et leurs indices de saturation massique confirment leurs tissabilités.

(Voir annexes 5 : indices de saturations des tissus en laine et mélange)

Tableau 4-11: Interprétations des indices massiques

N°	1	2	3	4	5	6	7
Matiere	100% LAINE	100% LAINE	100% LAINE	55% POLYESTER 25% LAINE 20% VISCOSE	70% POLYESTER 30% LAINE	70% POLYESTER 30% LAINE	55% POLYESTER 45% LAINE
Armure	TOILE	CROISE2/2	CROISE2/2	CROISE2/2	SERGE3	TOILE	SERGE4
Densité g/cm3	1.31	1.31	1.31	1.39	1.36	1.36	1.35
Rch	2	4	4	4	3	2	4
Rtr	2	4	4	4	3	2	4
nch	2	2	2	2	2	2	2
ntr	2	2	2	2	2	2	2
masse g/m <sup>2</sup>	194	266	268	255	232	241	273
Compte chaine	24.7	42.1	44.4	31.0	29.0	29.3	31.7
Compte Trame	20.8	22.1	23.0	25.8	32.8	34.5	26.6
Nech	15.0	15.0	16.0	13.0	17.0	18.0	13.0
Titre chaine Tex	39.4	39.4	37.0	45.5	34.8	32.9	45.5
Netr	15.0	17.0	16.0	14.0	16.0	16.0	14.0
Titre Trame Tex	39.4	34.8	37.0	42.3	37.0	37.0	42.3
Embuvage	9.4	14.9	10.6	8.5	6.3	5.3	11.8
Retrait	8.2	2.7	5.7	5.1	13.2	9.6	8.3
<b>INDICE BOOTEN</b>	<b>78.8%</b>	<b>75.5%</b>	<b>82.6%</b>	<b>72.4%</b>	<b>88.9%</b>	<b>132.3%</b>	<b>78.6%</b>
<b>INDICE RECTIFIE</b>	<b>39.4%</b>	<b>49.3%</b>	<b>55.1%</b>	<b>47.7%</b>	<b>54.0%</b>	<b>68.1%</b>	<b>51.8%</b>
<i>Masse maximale g/m<sup>2</sup></i>	402.8	383.0	390.0	432.2	396.2	397.9	425.9
<b>INDICE MASSIQUE</b>	<b>48.2%</b>	<b>69.4%</b>	<b>68.7%</b>	<b>59.0%</b>	<b>58.6%</b>	<b>60.6%</b>	<b>64.1%</b>

#### 4.2.5. Expérimentation

Afin de vérifier les théories développées précédemment, nous avons réalisés les tissus suivants en laboratoire dont les caractéristiques sont rassemblées dans le tableau 4.12.

Tableau 4-12: Caractéristiques des machines et trames utilisées

Machine Ratière à lances	CH	Compte chaîne	26 fils/cm
		Matière Textile	polyester
		Titre	300 dtex
	TR	Compte Trame	Variable
		Matière Textile	Coton and polyester
		Titre	variable
Empeignage		175 cm	

Machine Ratière à jet d'air	CH	Compte chaîne	24 fils/cm
		Matière Textile	polyester
		Titre	300 dtex
	TR	Compte Trame	Variable
		Matière Textile	Cotton and polyester
		Titre	variable
Empeignage		180 cm	

Machine Ratière à projectiles	CH	Compte chaîne	24 yarns per cm
		Matière Textile	coton
		Titre	50 tex
	TR	Compte Trame	Variable
		Matière Textile	Cotton and polyester
		Titre	variables
Empeignage		184 cm	

Machine jacquard à lances	CH	Compte chaîne	46 fils/cm
		Matière Textile	polyester
		Titre	300 dtex
	TR	Compte Trame	Variable
		Matière Textile	Coton et polyester
		Titre	variable
Empeignage		185 cm	

Les qualités des trames:

Coton : 100, 71, 55, 45, 38, 30, 34, 40, 25 et 20 tex

Polyester : 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 et 600 dtex

Il a été tissé différentes armures simples, double faces et multiples

Et pour chaque armure on tisse minimum 3 duitages (duitage normale, duitage fort et duitage saturé) et ce pour différentes qualités de trame.

Paramètre :

Paramètres fixes : Les qualités chaînes et leurs caractéristiques

Paramètres Variables (Trame) : Duitage, titre et matière

Paramètres Variables (Chaîne) : Tension de tissage pour insérer les duitages saturés

Paramètres Variables (Armures): les armures simples et double faces

4.2.6. Validation expérimentale des équations de saturation

La figure 4-13 représente les masses surfaciques maximales tissables, pour un exemple de tissu simple, en fonction des grosseurs de trames et les graphiques sont par type de machine (lance, projectile et air) et par qualité de trame (trame polyester et trame coton)

(Voir annexe 3 : Indice de saturation massique-tissu simple)

Exemple de tissu simple

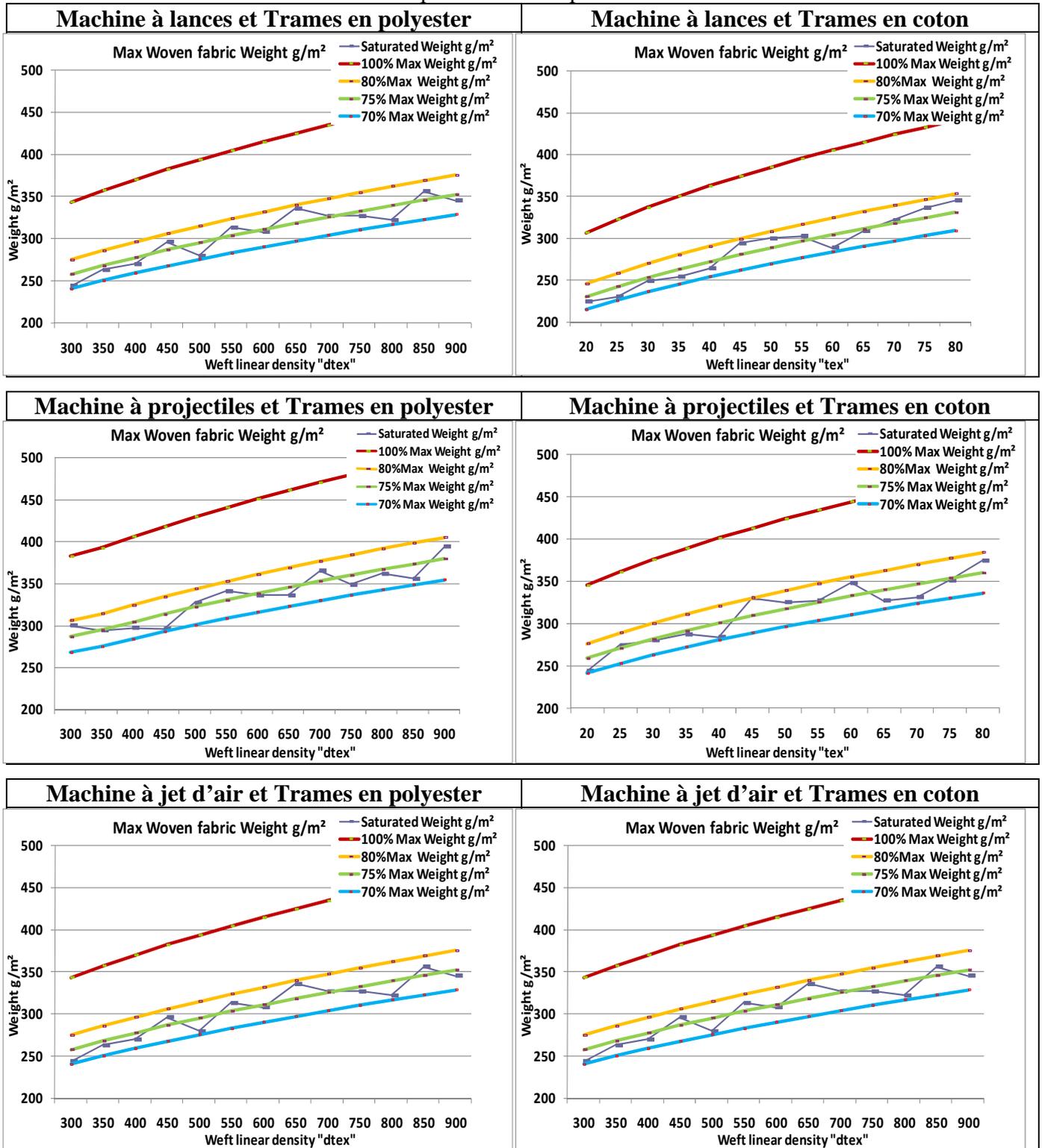


Figure 4-13 : Graphiques de validation des indices massiques-tissu simple

La figure 4-14 représente les masses surfaciques maximales tissables, pour un exemple de tissu double faces, en fonction des grosseurs de trames et les graphiques sont par type de machine (lance, projectile et air) et par qualité de trame (trame polyester et trame coton)

(Voir annexe 3 : Indice de saturation massique – tissu double face)

Exemple de Tissu double faces

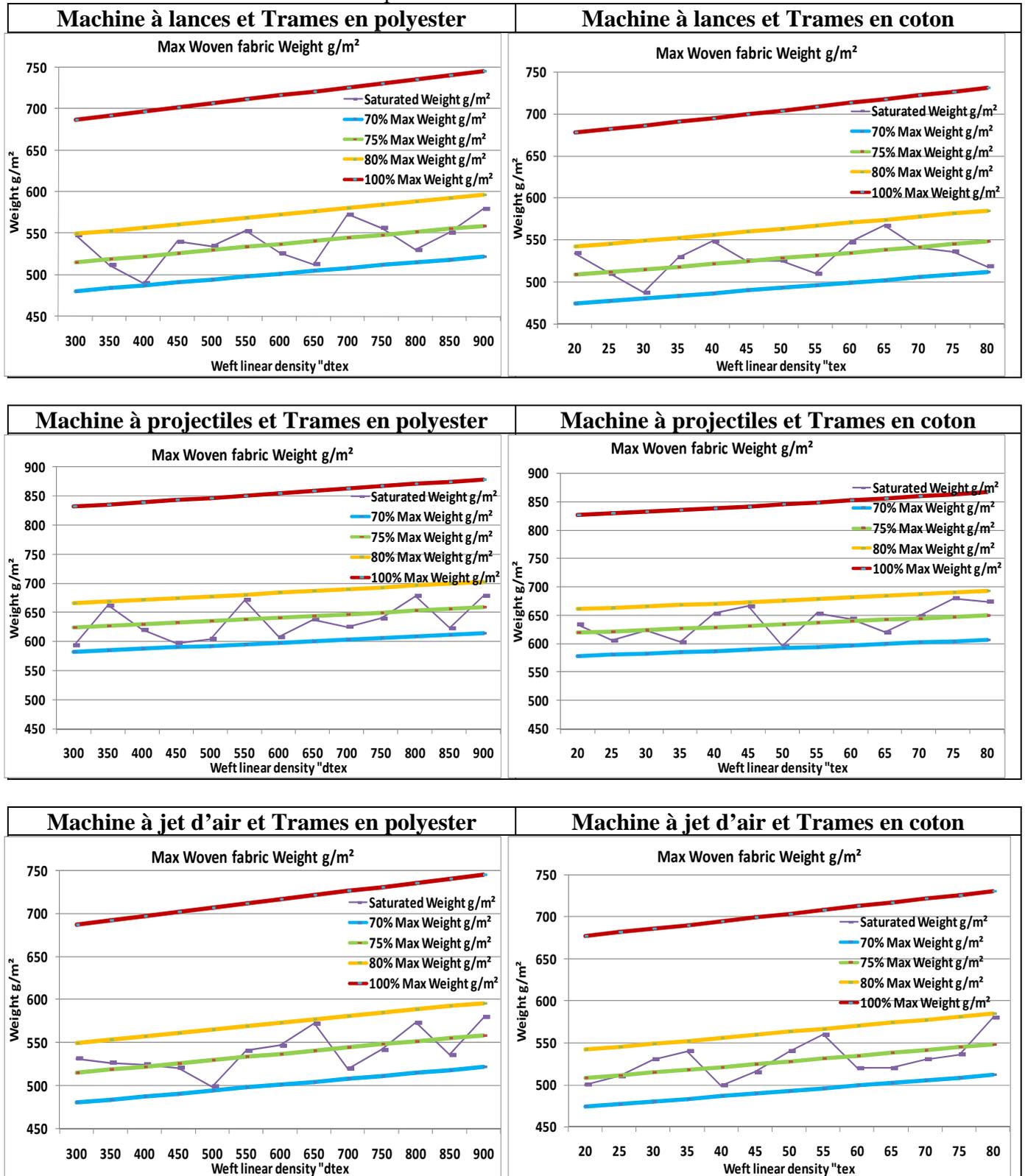


Figure 4-14 : Graphiques de validation des indices massiques-double face

Les expériences menées ont montrées que la limite pratique de tissabilité est égale 70% ( $\pm 5\%$ ) de l'indice de saturation tissu.

$$I_{smt} = \frac{\text{masse tissu}_{réelle}}{\text{masse tiss}_{\max}} \times 100 = 70\% \pm 5$$

#### 4.2.7. Valeurs maximales théoriques et pratiques

Si les hypothèses formulées sont respectées et par définition, la saturation en chaîne ou en trame est atteinte lorsque le compte en chaîne ou le duitage réel est respectivement égal au compte en chaîne ou au duitage maximal. On a alors lch ou Itr égal à 100.

Mais dans la réalité les hypothèses émises ne sont pas entièrement vérifiées.

En effet :

- Le diamètre des fils n'est pas toujours cylindrique, en particulier, les fils s'aplatissent partiellement lors des entrecroisements,
- Dans la contexture la plus resserrée, il peut arriver qu'il y ait superposition partielle des fils et déformation de ceux-ci (modification du diamètre apparent),
- L'embuvage et le retrait ne sont pratiquement jamais nuls sur les tissus écrus,

Il est donc tout à fait normal que les limites pratiques de tissabilité diffèrent des limites théoriques.

Il a été démontré que la saturation est obtenue lorsque l'indice de saturation d'ensemble est égal à 70% ( $\pm 5\%$ )

Et si l'indice de saturation d'ensemble est supérieur à 70% ( $\pm 5\%$ ), l'article est réputé intissable.

#### 4.2.8. Exemple d'application

Armure : diagonale 3/2 décochement 2 en chaîne (Figure 4-15)

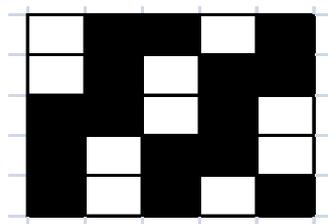


Figure 4-15: Armure diagonale

Contexture :

28/24 en (tex) 36/30

Polyester-coton 75/25

Masse surfacique 205.73 g/m<sup>2</sup>

Masse volumique :

Coton: = 1,50 g/cm<sup>3</sup>

Polyester: = 1,38 g/cm<sup>3</sup>

Mélange: = 1,41 g/cm<sup>3</sup>

Evolutions : de la chaîne : nc = 2/5

de la trame : nr = 4/5

**Tissage à tension forte (Ret=max)**

1er Cas :  $\alpha = 0$

Chaîne tendue Embuvage = 0 et Trame ondulée Retrait = max

$$M_{chaîne}(g / m^2) = \frac{Rch \times Tch}{10 \times 0.36 \cdot (Rch \cdot \sqrt{\frac{Tch}{\phi \rho_{fch}}} + Ntr \cdot \sqrt{\frac{Ttr}{\phi \rho_{ftr}}})}$$

$$M_{chaîne}(g / m^2) = \frac{5 \times 36}{10 \times 0.36 \cdot (5 \cdot \sqrt{\frac{36}{1.41}} + 4 \cdot \sqrt{\frac{30}{1.41}})} = 115.37$$

$$M_{trame}(g / m^2) = \frac{1}{10 \cdot 0.36} \left\{ \sqrt{Tch \cdot \phi \rho_{fch}} + \frac{Ntr \cdot \left( \sqrt{\frac{Tch}{\phi \rho_{fch}}} / \sqrt{\frac{Ttr}{\phi \rho_{ftr}}} \right) Ttr}{Rch \cdot \sqrt{\frac{Tch}{\phi \rho_{fch}}} + Ntr \cdot \sqrt{\frac{Ttr}{\phi \rho_{ftr}}}} \right\}$$

$$M_{trame}(g / m^2) = \frac{1}{10 \cdot 0.36} \left\{ \sqrt{36 \cdot 1.41} + \frac{4 \cdot \left( \sqrt{\frac{36}{1.41}} / \sqrt{\frac{30}{1.41}} \right) 30}{5 \sqrt{\frac{36}{1.41}} + Ntr \cdot \sqrt{\frac{30}{1.41}}} \right\} = 266.47$$

Masse surfacique maximale = 381.84 g/m<sup>2</sup>

**Tissage à tension faible (Emb=max)**

2<sup>ème</sup> Cas :  $\alpha = 1$

Chaîne ondulée Embuvage = max et Trame tendue Retrait = 0

$$M_{chaîne}(g / m^2) = \frac{1}{10 \cdot 0.36} \left\{ \sqrt{Tch \cdot \phi \rho_{fch}} + \frac{Nch \cdot \left( \sqrt{\frac{Ttr}{\phi \rho_{ftr}}} / \sqrt{\frac{Tch}{\phi \rho_{fch}}} \right) Tch}{Rch \cdot \sqrt{\frac{Ttr}{\phi \rho_{ftr}}} + Ntr \cdot \sqrt{\frac{Tch}{\phi \rho_{fch}}}} \right\}$$

$$M_{chaîne}(g / m^2) = \frac{1}{10 \cdot 0.36} \left\{ \sqrt{36 \cdot 1.41} + \frac{2 \cdot \left( \sqrt{\frac{30}{1.41}} / \sqrt{\frac{36}{1.41}} \right) 36}{Rch \cdot \sqrt{\frac{30}{1.41}} + Ntr \cdot \sqrt{\frac{36}{1.41}}} \right\} = 255.14$$

$$M_{trame}(g / m^2) = \frac{Rtr \times Ttr}{10 \times 0.36 \cdot (Nch \cdot \sqrt{\frac{Tch}{\phi \rho_{fch}}} + Ntr \cdot \sqrt{\frac{Ttr}{\phi \rho_{ftr}}})}$$

$$M_{trame}(g / m^2) = \frac{5 \times 30}{10 \times 0.36 \cdot (2 \cdot \sqrt{\frac{36}{1.41}} + 4 \cdot \sqrt{\frac{30}{1.41}})} = 126.70$$

Masse surfacique maximale = 381.84 g/m<sup>2</sup>

<u>Indice tissus</u>	$I_{smt} = \frac{\text{masse tissu}_{réelle}}{\text{masse tissu}_{max}} \times 100$	$I_{smt} = \frac{205.73}{381.84} \times 100 = 53.88\%$
----------------------	---	--

Commentaire : Article ne présentant aucune difficulté en ce qui concerne la contexture et à quelque soit la tension de tissage le tissu sera saturé à 53.88%.

#### 4.2.9. Conclusion

Les indices qui viennent d'être définis présentent un certain nombre d'avantages appréciables:

- ils sont d'un emploi universel quelque soit l'armure simples ou complexes ;
- ils sont indépendants du type de machine à tisser utilisé;
- ils permettent la comparaison a priori d'articles différents. En particulier, ils permettent d'adapter facilement les caractéristiques des lisières (armure et contexture) à celles du tissu de fond;
- ils permettent un choix optimal des contextures, compte-tenu des utilisations envisagées, en particulier pour les tissus techniques.

# **CHAPITRE 5: TESTS ET CONTROLES**

## 5. TESTS ET CONTROLES

### 5.1 Introduction

La saturation peut être définie comme étant la quantité maximale de fil pouvant être insérée dans un tissu donné. Beaucoup de recherches ont été faites dans ce sens pour traiter les problèmes de la limite de tissabilité d'un article donné ainsi que le nombre maximal de fils ou de duites par unité de longueur qui peuvent être tissés avec une armure et un fil prédéterminé.

Ces recherches ont été menées dans le but, d'une part, d'éviter un surcout de production en essayant de tisser des articles impossibles à tisser et d'autre part de déterminer l'influence de la saturation sur les machines surtout en ce qui concerne les casses fils et l'usure des éléments du métier à tisser lors de l'opération de tissage.

Les calculs de la géométrie des tissus en général sont très compliqués à cause des paramètres qui influencent les positionnements des fils dans le tissu (le titre de fil de chaîne et de trame, le type de fil, la matière du fil, le compte (nombre de fils/cm), le duitage (nombre de duites/cm), type d'armure, le type de métier à tisser, la vitesse de tissage, la force de frappe du peigne, la tension des fils...) ce qui amplifie la difficulté de définir un modèle géométrique général. Les difficultés sont beaucoup plus importantes lorsqu'il s'agit d'un tissu complexe surtout quand on ajoute aux paramètres précédents la complexité de l'armure et les réglages spécifiques du métier.

### 5.2 Les objectifs:

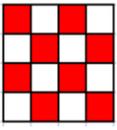
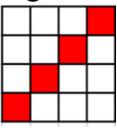
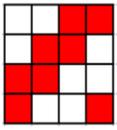
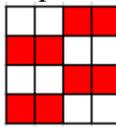
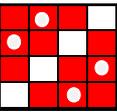
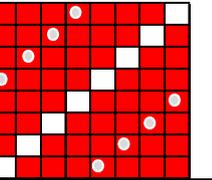
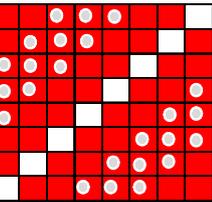
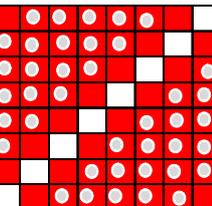
Cette étude a pour but de décrire l'évolution des propriétés mécaniques et physiques des étoffes en fonction de l'indice de saturation. On va s'intéresser aux propriétés suivantes :

- **Mécaniques** : le cisaillement et la compression.
- **Physiques** : la perméabilité à l'air.

**5.3 Armures et tissus**

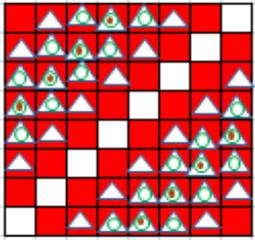
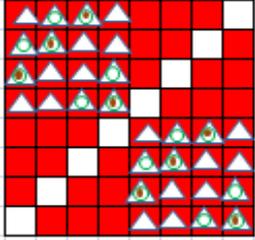
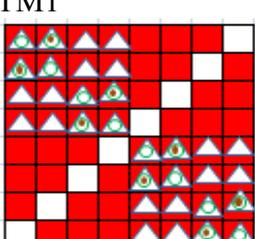
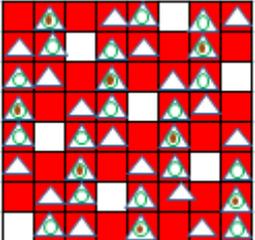
L'étude porte sur des tissus simples, doubles faces et multiples, les tableaux 5.1 et 5.2 rassemblent les armures utilisées.

Tableau 5-1: Armures simples

<p>Toile</p> 	<p>Sergé de 4</p>  <p>Effet trame cote Z</p>	<p>Croisé 2/2</p>  <p>Croisé 2/2 cote Z</p>	<p>Reps 2/2</p>  <p>Reps chaîne 2/2</p>
<p>DFS4</p> 	<p>Double face chaîne : proportion 1Endroit/1envers                  Armure endroit : Sergé de 4 effet chaîne cote Z                  Armure d'envers : Sergé de 4 effet chaîne visible cote S</p>		
<p>DFS8</p> 	<p>Double face chaîne : proportion 1Endroit/1envers                  Armure endroit : Sergé de 8 effet chaîne cote Z                  Armure d'envers : Sergé de 8 effet chaîne visible cote S</p>		
<p>DFR8A</p> 	<p>Double face chaîne : proportion 1Endroit/1envers                  Armure endroit : Sergé de 8 effet chaîne cote Z                  Armure d'envers : Sergé 5pris - 3 laissés effet chaîne visible cote S</p>		
<p>DFR8B</p> 	<p>Double face chaîne : proportion 1Endroit/1envers                  Armure endroit : Sergé de 8 effet chaîne cote Z                  Armure d'envers : Sergé 3pris - 5 laissés visible cote S</p>		

-  laissé
-  pris d'envers
-  pris d'endroit

Tableau 5-2: Armures double faces et multicouches

<p>TM1R</p> 	<p>Double face chaîne :</p> <p>Proportion : 1Endroit/1 intermédiaire 1/1 intermédiaire 2/1envers</p> <p>Armure endroit : Sergé de 8 effet chaîne cote Z</p> <p>Armure Intermed1 : Sergé 5 pris - 3laissés cote Z</p> <p>Armure Intermed2 : Sergé 3 pris - 5laissés cote Z</p> <p>Armure d'envers : Sergé de 8 effet chaîne visible cote S</p>
<p>TM2R</p> 	<p>Double face chaîne :</p> <p>Proportion : 1Endroit/1 intermédiaire 1/1 intermédiaire 2/1envers</p> <p>Armure endroit : Sergé de 8 effet chaîne cote Z</p> <p>Armure Intermédiaire 1 : Sergé 5 pris - 3laissés cote Z</p> <p>Armure Intermédiaire 2 : Sergé 3 pris - 5laissés cote Z</p> <p>Armure d'envers : Sergé de 8 effet chaîne visible cote S</p>
<p>TM1</p> 	<p>Double face chaîne :</p> <p>Proportion : 1Endroit/1 intermédiaire 1/1 intermédiaire 2/1envers</p> <p>Armure endroit : Sergé de 8 effet chaîne cote Z</p> <p>Armure Intermédiaire 1 : Natté de 8</p> <p>Armure Intermédiaire 2 : Natté de 4</p> <p>Armure d'envers : Sergé de 4 effet chaîne visible cote S</p>
<p>TM2</p> 	<p>Double face chaîne :</p> <p>Proportion : 1Endroit/1 intermédiaire 1/1 intermédiaire 2/1envers</p> <p>Armure endroit : Satin de 8 effet chaîne décochement 3</p> <p>Armure Intermédiaire 1 : Satin à répétition de 8</p> <p>Armure Intermédiaire 2 : Satin à répétition de 8</p> <p>Armure d'envers : Sergé de 8 effet chaîne visible cote S</p>

-  laissé
-  pris intermediaire 2
-  pris intermediaire 1
-  pris d'envers
-  pris endroit

Les tableaux 5.3, 5.4, et 5.5 donnent les caractéristiques de constructions des différents tissus.

Tableau 5-3: Tissus simples

Toile									
TRAME	104 tex	104 tex	104 tex	58 tex	58 tex	58 tex	38 tex	38 tex	38 tex
Duitage	9	11	12	11	15	16	13	17	18
Sergé 4									
TRAME	104 tex	104 tex	104 tex	58 tex	58 tex	58 tex	38 tex	38 tex	38 tex
Duitage	14	15	17	R20S	R21S	R23S	22	26	28
Croisé2/2									
TRAME	104 tex	104 tex	104 tex	58 tex	58 tex	58 tex	38 tex	38 tex	38 tex
Duitage	14	15	17	20	21	23	22	26	28
Reps2/2									
TRAME	104 tex	104 tex	104 tex	58 tex	58 tex	58 tex	38 tex	38 tex	38 tex
Duitage	7	9	12	13	15	19	16	17	18

Tableau 5-4: Armures doubles face

DFS4									
TRAME	104 tex	104 tex	104 tex	58 tex	58 tex	58 tex	38 tex	38 tex	38 tex
Duitage	16	18	20	24	26	28	26	27	28
DFS8									
TRAME	104 tex	104 tex	104 tex	58 tex	58 tex	58 tex	38 tex	38 tex	38 tex
Duitage	20	22	24	28	30	32	38	40	42
DFR8A									
TRAME	104 tex	104 tex	104 tex	58 tex	58 tex	58 tex	38 tex	38 tex	38 tex
Duitage	17	19	23	25	29	33	33	37	41
DFR8B									
TRAME	104 tex	104 tex	104 tex	58 tex	58 tex	58 tex	38 tex	38 tex	38 tex
Duitage	17	19	23	25	29	33	33	37	41

Tableau 5-5: Armures Multicouches

TMR1									
TRAME	104 tex	104 tex	104 tex	58 tex	58 tex	58 tex	38 tex	38 tex	38 tex
Duitage	23	25	27	35	37	39	48	50	52
TMR2									
TRAME	104 tex	104 tex	104 tex	58 tex	58 tex	58 tex	38 tex	38 tex	38 tex
Duitage	TMR2-CISA								
	23	25	27	35	37	39	48	50	52
TM1									
TRAME	104 tex	104 tex	104 tex	58 tex	58 tex	58 tex	38 tex	38 tex	38 tex
Duitage	TM1-CISA								
	23	25	27	31	33	35	42	44	46
TM2									
TRAME	104 tex	104 tex	104 tex	58 tex	58 tex	58 tex	38 tex	38 tex	38 tex
Duitage	TM2-CISA								
	23	25	27	31	33	35	44	46	48

Les échantillons ont été tissés, préparé et découpé au département de tissage à l’ESITH « Ecole Supérieure des Industries de Textile et de l’Habillement de Casablanca/Maroc » en utilisant la machine SMIT équipée d’une mécanique jacquard BONAS.

Selon les tableaux précédents, on a préparé 144 tissus différents à raison de 2m par tissu. Ces tissus ont ensuite été découpés pour les différents essais puis conditionnés.

## 5.4 Matériel de production et création

### 5.4.1 Machine de tissage et caractéristiques

Tous les échantillons ont été réalisés dans l'atelier tissage de l'Ecole Supérieure des Industries de Textile et de l'Habillement de Casablanca/Maroc et la machine, figure 5.1, utilisée a pour caractéristiques :



Figure 5-1: Machine de tissage

Métier à tisser SMIT équipé d'une mécanique Jacquard BONAS modèle CJ250 - 1344 crochets avec un contrôleur série 250.

Système d'insertion de trame : Lance bilatérales et pinces négatives.

Empoutage : suivi sur une planche de 24 trous/rangée et de 1,92 rangée/cm.

### 5.4.2 Montage sur métier :

1 chaîne 300 dtex Polyester couleur tabac

#### Les trames :

4 trames 300, 450, 600 et 900 dtex

Peigne de 1150 dents/m

Piquage de 4 fils/dent

Largeur du peigne : 180 cm

Réduction chaîne sur métier = 46 fils/cm

Nombre de fils du dessin /chemin : 1200 fils

Nombre de chemins : 7

Réduction chaîne tissu tombé de métier = 48 fils/cm

Réduction trame tissu tombé de métier = Variable en duites/cm.

**5.4.3 Répartition des crochets :**

La répartition des crochets de la mécanique jacquard est représentée dans le tableau 5.6

Tableau 5-6: Répartition des crochets

1	25		33	57	81	105	129	153	...	177	1209	1233	1257	1281	1305	1329	1353
2	26		34	58	82	106	130	154	...	178	1210	1234	1258	1282	1306	1330	1354
3	27		35	59	83	107	131	155	...	179	1211	1235	1259	1283	1307	1331	1355
4	28		36	60	84	108	132	156	...	180	1212	1236	1260	1284	1308	1332	1356
5	29		37	61	85	109	133	157	...	181	1213	1237	1261	1285	1309	1333	1357
6	30		38	62	86	110	134	158	...	182	1214	1238	1262	1286	1310	1334	1358
7	31		39	63	87	111	135	159	...	183	1215	1239	1263	1287	1311	1335	1359
8	32		40	64	88	112	136	160	...	184	1216	1240	1264	1288	1312	1336	1360
9			41	65	89	113	137	161	...	185	1217	1241	1265	1289	1313	1337	1361
10			42	66	90	114	138	162	...	186	1218	1242	1266	1290	1314	1338	1362
11			43	67	91	115	139	163	...	187	1219	1243	1267	1291	1315	1339	1363
12			44	68	92	116	140	164	...	188	1220	1244	1268	1292	1316	1340	1364
13			45	69	93	117	141	165	...	189	1221	1245	1269	1293	1317	1341	1365
14			46	70	94	118	142	166	...	190	1222	1246	1270	1294	1318	1342	1366
15			47	71	95	119	143	167	...	191	1223	1247	1271	1295	1319	1343	1367
16			48	72	96	120	144	168	...	192	1224	1248	1272	1296	1320	1344	1368
17			49	73	97	121	145	169	...	193	1225	1249	1273	1297	1321	1345	1369
18			50	74	98	122	146	170	...	194	1226	1250	1274	1298	1322	1346	1370
19			51	75	99	123	147	171	...	195	1227	1251	1275	1299	1323	1347	1371
20			52	76	100	124	148	172	...	196	1228	1252	1276	1300	1324	1348	1372
21			53	77	101	125	149	173	...	197	1229	1253	1277	1301	1325	1349	1373
22			54	78	102	126	150	174	...	198	1230	1254	1278	1302	1326	1350	1374
23			55	79	103	127	151	175	...	199	1231	1255	1279	1303	1327	1351	1375
24			56	80	104	128	152	176	...	200	1232	1256	1280	1304	1328	1352	1376

	Crochets Sélecteurs trames		Crochets Vides		Crochets fond
	Crochets fonctions annexes		Crochets lisière gauche		Crochets lisière droite

Colletage de la mécanique Jacquard (1344 crochets).

- ⇒ Crochets 1 à 4 : sélecteurs trame
- ⇒ Crochets 5 à 80 : vides
- ⇒ Crochets 81 à 104 : lisière gauche
- ⇒ Crochets 105 à 1304 : fond
- ⇒ Crochets 1305 à 1328 (dessin) : lisière droite
- ⇒ Crochets 1329 à 1376 : vides

⇒ Crochets 1317 à 1320 : lisière droite

⇒ Crochets 1321 à 1341 : vides

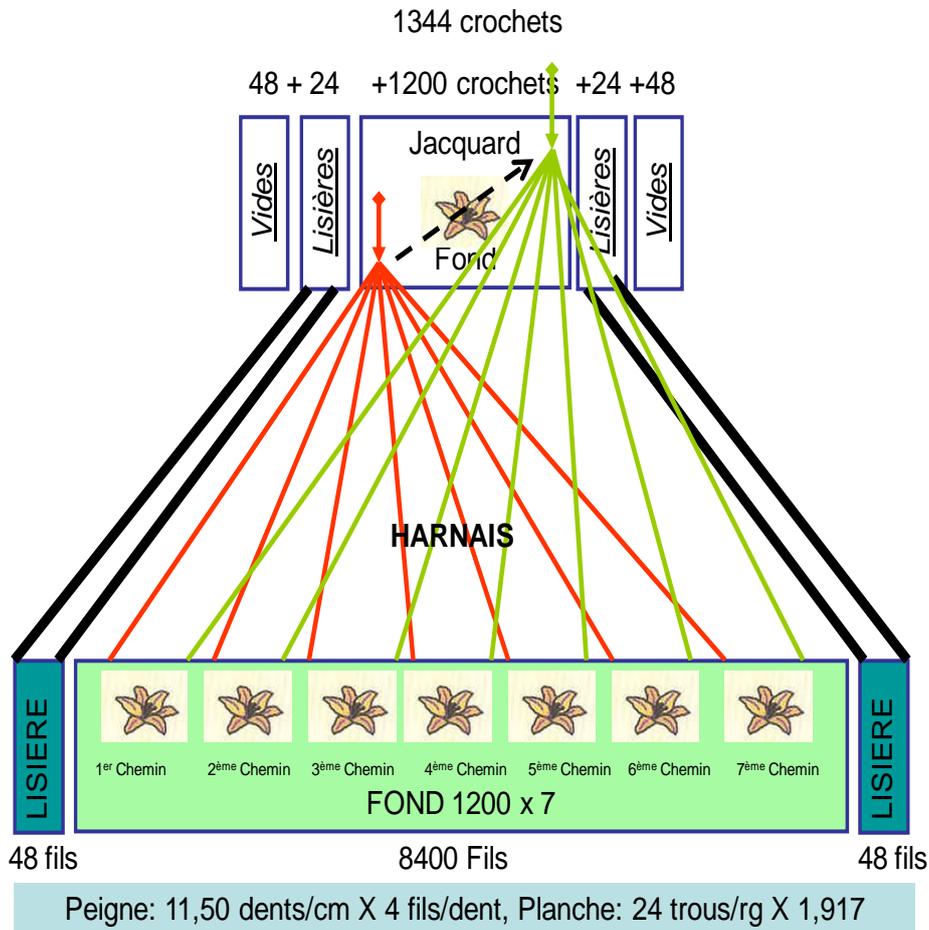


Figure 5-2: Montage jacquard

#### 5.4.4 Méthodologie de construction des armures étudiées :

Mise en carte pour la production des échantillons est effectuée selon le tableau 5.7

Tableau 5-7: Mise encarte

TISSU SIMPLE	DOUBLE FACE CHAÎNE	DOUBLE FACE CHAÎNE
1 corde = 1 crochet	1 corde = 2 crochets	1 corde = 4 crochets
1 coup = 1 duite	1 coup = 1 duite	1 coup = 1 duite

**Création des armures à l'aide du logiciel Pointcarré de CAO:**

Application au montage Jacquard (1 chaîne / 1 trame) (figure 5.3).

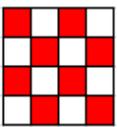
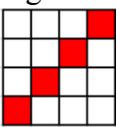
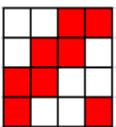
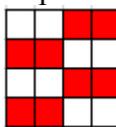
<p>Toile</p> 	<p>Sergé de 4</p>  <p>Effet trame cote Z</p>	<p>Croisé 2/2</p>  <p>Croisé 2/2 cote Z</p>	<p>Reps 2/2</p>  <p>Reps chaîne 2/2</p>
--	---	--	--

Figure 5-3: Montage jacquard (1 chaîne / 1 trame)

Application au montage Jacquard (2 chaînes / 1 trame) ( figure 5.4).

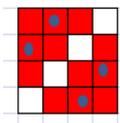
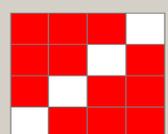
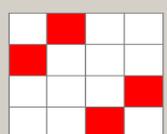
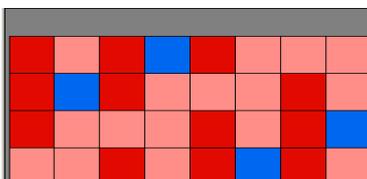
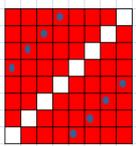
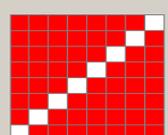
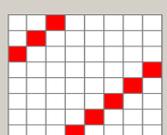
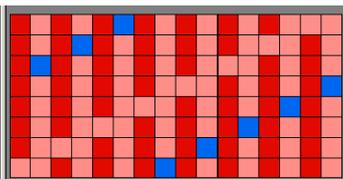
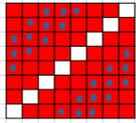
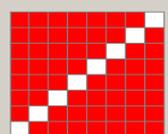
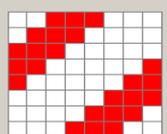
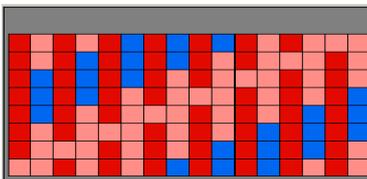
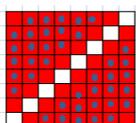
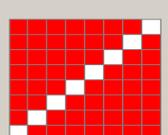
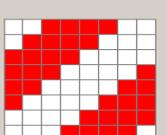
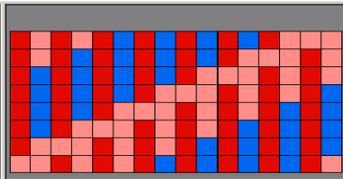
Armure	Représentation Matricielle		Représentation en éclatée
<p>DFS4</p> 	<p>II<sup>1</sup></p> 	<p>II<sup>2</sup></p> 	
<p>DFS8</p> 	<p>II<sup>1</sup></p> 	<p>II<sup>2</sup></p> 	
<p>DFR8A</p> 	<p>II<sup>1</sup></p> 	<p>II<sup>2</sup></p> 	
<p>DFR8B</p> 	<p>II<sup>1</sup></p> 	<p>II<sup>2</sup></p> 	

Figure 5-4: Montage jacquard (2 chaînes / 1 trame)

Application au montage Jacquard (4 chaînes / 1 trame) (figure 5.5).

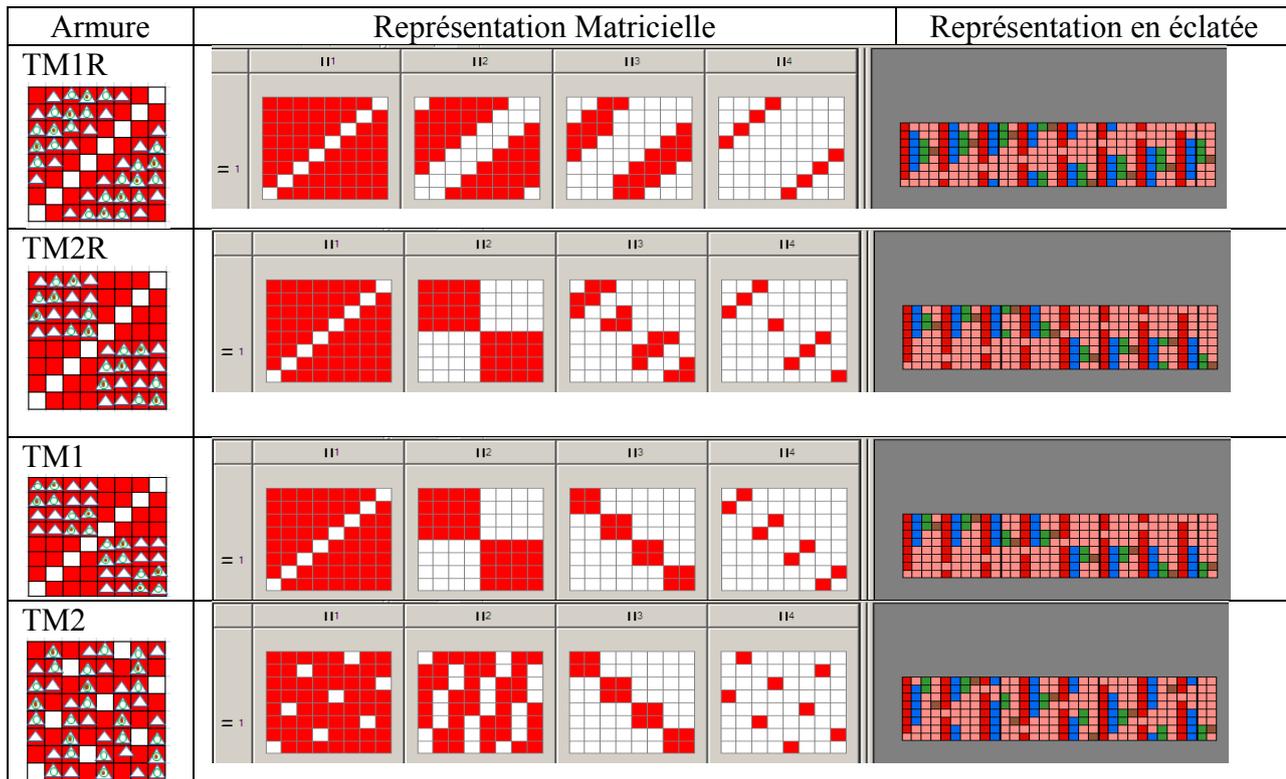


Figure 5-5: Montage jacquard (4 chaînes / 1 trame)

## 5.5 Tests et contrôles

Les tests ont été effectués au Laboratoire de Physique et Mécanique Textiles **LPMT** de Mulhouse à l'ENSISA en France et au laboratoire de Recherche en Matériaux TEXTile **REMTEX** de l'Ecole Supérieure des Industries de Textile et de l'Habillement **ESITH** de Casablanca au Maroc.

- ✓ Les propriétés mécaniques ont été mesurées au LPMT
- ✓ Les propriétés physiques ont été mesurées à REMTEX

### 5.5.1 Conditions du laboratoire pendant les tests :

L'étude des caractéristiques du tissu a été réalisée dans les conditions atmosphériques (température et humidité) acceptables car assez proches des conditions standards. Elles ne dépassaient jamais la norme qui est  $T = 20 \pm 2^\circ\text{C}$  et  $\text{HR}\% = 65 \pm 2\%$ .

**5.5.2 Embuvage et retrait :**

L'embuvage est la différence entre la longueur de fils de chaîne extrait du tissu à l'état tendu et la longueur de ce même fil inséré dans le tissu (Figure 5.6).

Le retrait est la différence entre la longueur de fils de trame extrait du tissu à l'état tendu et la longueur de ce même fil inséré dans le tissu figure (Figure 5.6).

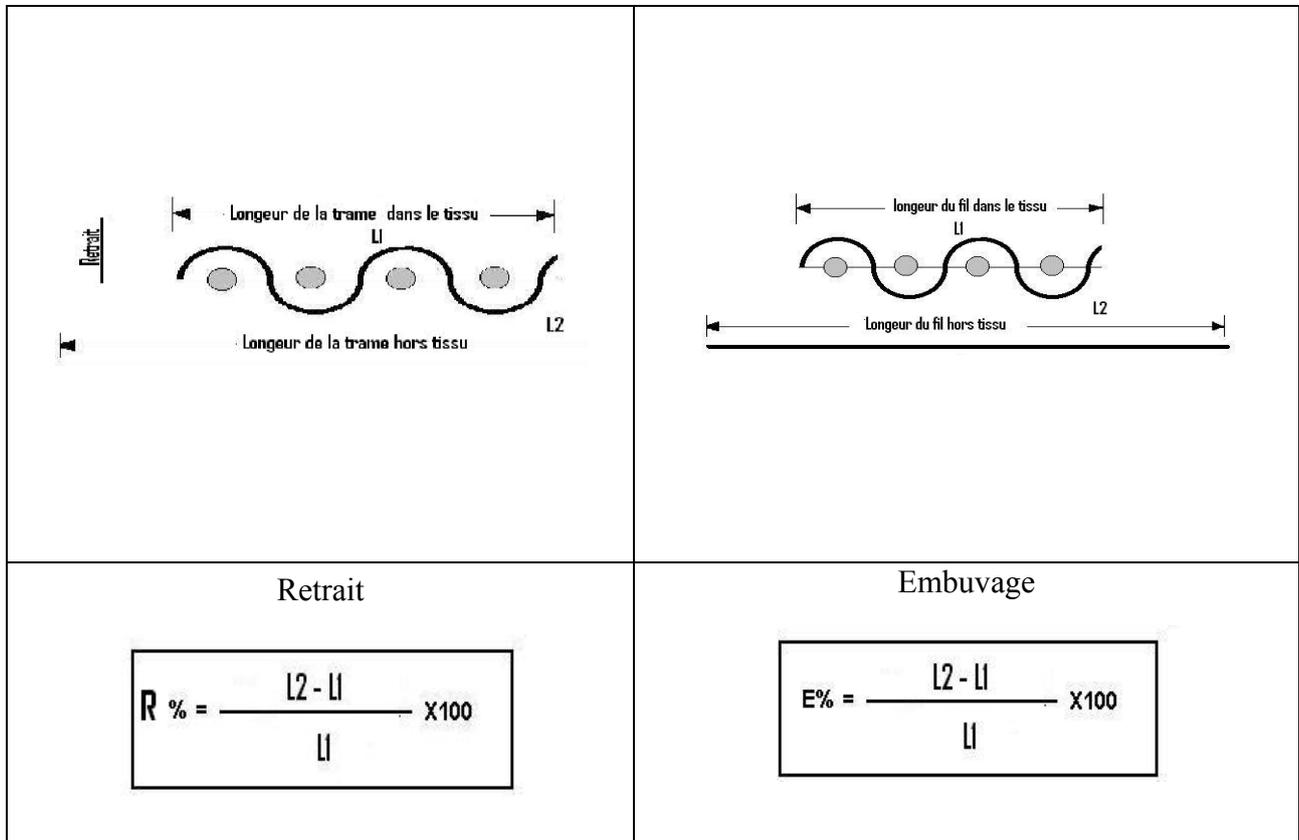


Figure 5-6: Expression de l'embuvage et du retrait

On utilise la norme NF G 07-156. Il s'agit de prélever des fils dans une bande de tissu de longueur connue, et d'utiliser un maillemètre pour mesurer la longueur réelle des fils.



Figure 5-7: Maille mètre

**5.5.3 Masse surfacique :**

Pour déterminer la masse surfacique de notre tissu, nous avons appliqué la norme NF 07-150 (NEQ ISO 3801).

La norme différencie la masse surfacique en atmosphère normale et la masse surfacique anhydre. Par manque de temps, nous avons préféré évaluer seulement la première puisque elle nous semblait la plus importante.

**5.5.4 Analyse de la matière et propriétés mécaniques des fils**

Les tissus se composent de trois fils (100% polyester):

- fil de chaîne : 38 tex
- fil de trame : 38, 58 et 104 tex

**Titre :**

Il a été prélevé 100m pour effectuer le calcul de titre sur le dévidoir à notre disposition, le tableau suivant récapitule les résultats des titres trouvés (inter bobines).

Tableau 5-8: Titre de fils

Longueur fil = 100 m	Masse (en g)	Titre du fil (en tex)
Fil Tabac	3,8322	38,32
Fil Rouge	5,7976	57,97
Fil Blanc	10,3724	103,72

**Remarque:** Les valeurs de masse sur le tableau sont les moyennes de 5 mesures effectuées sur chaque fil.

Les propriétés mécaniques ont été testées au moyen d'un dynamomètre UT R3 (Uster Tensorapid 3) selon la norme NF903.

Tableau 5-9: les propriétés des différents fils.

Fils (tex)	38,32	57,97	103,72
Force max. (N)	11.50	16.68	33.95
CV%	3,54	1,99	1,87
Allongement (%)	22.36	29.00	20.39
CV%	6,46	4,66	7,59
Ténacité (cN/tex)	30.00	28.77	32.73
CV%	3,54	1,99	1,87
Travail max. (N.cm)	72.11	145.47	222.01
CV%	11,19	7,92	11,92

### 5.5.5 Détermination de la perméabilité à l'air

La perméabilité est une caractéristique physique qui représente la facilité qu'a un matériau à permettre le transfert de fluide au travers d'un réseau connecté. La Loi de Darcy permet de relier un débit à un gradient de pression appliqué au fluide grâce à un paramètre caractéristique du milieu traversé : la perméabilité  $k$ .

La loi de Darcy (Henry Darcy, 1856) [47] s'exprime par :

$$\frac{Q}{S} = \frac{k}{\eta} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta x} \quad (5-1)$$

Avec  $Q$  le débit,  $S$  la section de l'éprouvette qui pour une éprouvette cylindrique est  $\pi R^2$  avec  $R$  le rayon de l'éprouvette,  $k$  la perméabilité,  $\eta$  la viscosité dynamique du fluide et  $\Delta P/\Delta x$ , le gradient de pression.

La perméabilité  $k$  est donc :

$$k = \frac{Q}{S} \cdot \frac{\Delta x}{\Delta P} \cdot \eta \quad (5-2)$$

$$\frac{m^3 \cdot s^{-1}}{m^2} \cdot \frac{m}{Pa} \cdot Pa \cdot s = m^2 \quad (5-3)$$

La perméabilité  $k$  s'exprime en  $m^2$ . Lorsque les unités suivantes sont utilisées :  $Q$  en  $cm \cdot s^{-1}$ ,  $S$  en  $cm^2$ ,  $\Delta P/\Delta x$  en  $atm \cdot cm^{-1}$  et  $\eta$  en poises, la perméabilité  $k$  s'exprime également en Darcy. Ainsi, 1 Darcy =  $0,97 \cdot 10^{-12} m^2$ . Le darcy est couramment utilisé par les hydrogéologues et le  $m^2$  est plutôt utilisé par les physiciens des matériaux.

#### 5.5.5.1 Principe

On mesure un débit d'air passant perpendiculairement à l'étoffe à travers la surface d'essai d'une éprouvette, avec une pression différentielle définie, pendant un temps donné.

Appareillage : MESDAN Thickness-Lab-1880 (Figure 5.8)



Figure 5-8: MESDAN Thickness-Lab-1880

- Porte éprouvette circulaire (5cm<sup>2</sup>, 20cm<sup>2</sup>, 50cm<sup>2</sup>, 100cm<sup>2</sup> ; Δ±0,5%)
- Indicateur de pression ou manomètre (50Pa, 100Pa, 200Pa ou 500Pa ; ±0.02%)
- Dispositif permettant de faire passer un écoulement d'air stable
- Débitmètre, compteurs volumétriques ou diaphragme de mesure

### 5.5.5.2 Mode opératoire de la machine Thickness-Lab-code 1880.

Les échantillons destinés à être testés sont préparés selon le norme ISO9237.

Puis la mesure est effectuée selon la même norme avec les paramètres suivants :

- Aire de la surface d'essai : 20cm<sup>2</sup>.
- Perte de charge : 100 Pa pour les étoffes d'habillement.
- Perte de charge : 200 Pa pour les étoffes industrielles

L'essai est répété 1à fois à différents endroits de l'échantillon afin que la mesure soit représentative.

### 5.5.5.3 Calcul, expression des résultats :

Les moyennes arithmétiques des relevés individuels et le coefficient de variation (à 0,01% près) en indiquant l'intervalle de confiance à 95% sont calculées.

La perméabilité à l'air **R** exprimée en millimètre par seconde est calculée à l'aide de l'équation :

$$R = \frac{q_v}{A} \cdot 167$$

$q_v$  : Moyenne arithmétique an débit d'air (dm<sup>3</sup>/min)

**A** : Aire, en cm<sup>2</sup> de la surface d'essai de l'éprouvette

167 : Facteur de conversion du dm<sup>3</sup>(ou L)/min.cm<sup>2</sup> en mm /s

## 5.6 Mesures des propriétés mécaniques sur la chaîne de mesure KAWABATA

### 5.6.1 Généralités sur la chaîne KAWABATA

Pour palier le manque d'éléments objectifs servant à caractériser les qualités d'une étoffe, notamment au travers de la « main », un système d'appareillage a été mis au point par Kawabata [47], [48], [49], [50], [51], [52] pour tenter d'établir des sollicitations mécaniques élémentaires, de caractériser la capacité de l'étoffe à remplir sa fonction de confort mécanique à l'aide d'expressions typiques et d'évaluer la qualité globale de l'étoffe.

### 5.6.2 Appareillages :

Kawabata a pu finalement créer, au Japon, une série d'appareils (4 appareils connus sous le nom KES-F "Kawabata Evaluation System for Fabrics") et définir six groupes de propriétés mécaniques et physiques:

Groupe 1: traction.

Groupe 2: cisaillement.

Groupe 3: flexion,

Groupe 4: compression,

Groupe 5: état de surface,

Groupe 6: masse surfacique et épaisseur.

Ces six groupes sont définis par 16 paramètres "paramètres de Kawabata" qui sont mesurés dans les conditions standards d'atmosphères: 20°C ( $\pm 2^\circ\text{C}$ ) de température et 65 HR ( $\pm 2\text{HR}$ ) d'humidité.

Concernant l'appareillage, chaque module mécanique est associé à son module électronique. Les capteurs utilisés sur les modules sont tous des capteurs fonctionnant à partir d'une variation de tension sauf pour le capteur du module de traction. Celui-ci est un capteur utilisant un noyau inducteur pour mesurer des variations de champ magnétique.

Concernant les dimensions des éprouvettes en mm (Figure 5.9), celles-ci sont les mêmes pour les quatre modules.

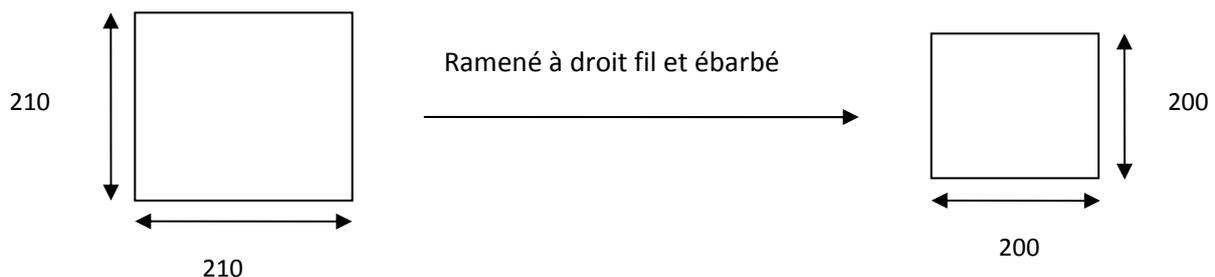


Figure 5-9: Dimensions des éprouvettes

### 5.6.3 Mesure des paramètres mécaniques des tissus par le KES-F

#### 5.6.3.1 But du module

Le module KES FB1 est un module double puisqu'il permet de solliciter l'étoffe sous de faibles contraintes à la fois en traction et en cisaillement.

Pour éviter d'utiliser la même portion d'éprouvette pour les deux types de sollicitations dans le cas où on possède un seul échantillon, chaque échantillon sera monté de façon à ce que les zones de couleur indiquées sur la figure 5.10 ci-après soient placées entre les pinces de l'appareil pour le test approprié.

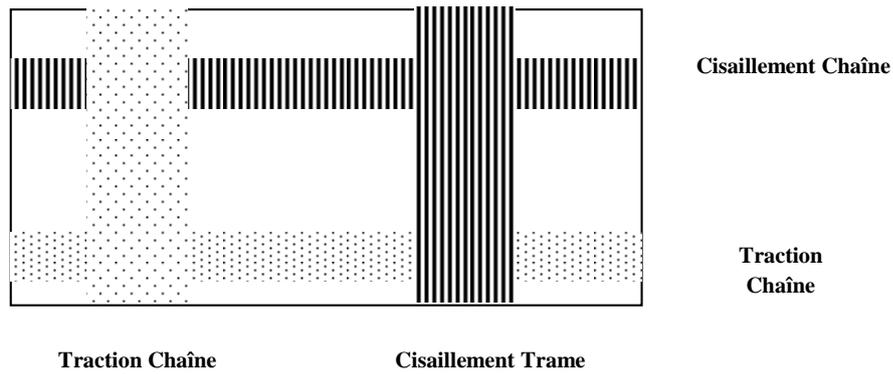


Figure 5-10: Dimensions des éprouvettes

Dans notre cas, nous avons réalisé des éprouvettes supplémentaires, donc chaque partie testée n'avait jamais été sollicitée auparavant.

### 5.6.3.2 Essai de cisaillement

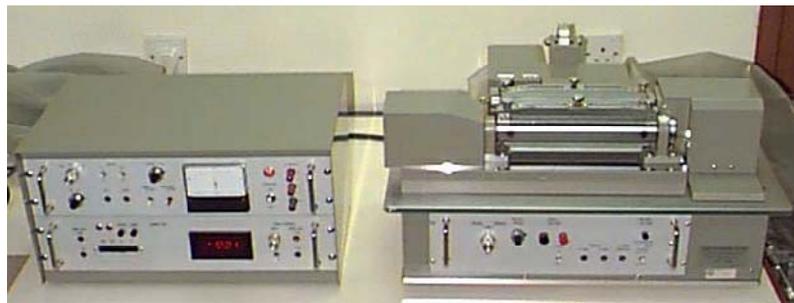


Figure 5-11: cisaillement de l'appareil KES

L'essai de cisaillement est réalisé sur le même appareil KES que celui de traction.

L'éprouvette est de forme rectangulaire de 5cm de longueur et 20cm de largeur.

Lors de l'essai de cisaillement, elle est déposée à plat entre deux pinces horizontales distantes de 5cm l'une de l'autre et toutes les deux mobiles. La première en translation suivant son axe central et la seconde en rotation autour de son axe.

La première pince se déplace parallèlement à la seconde qu'un mécanisme libère pour quelle puisse tourner librement autour d'un axe longitudinal afin de favoriser une tension constante de l'éprouvette (tout le long de l'essai) dans la direction perpendiculaire à celle du cisaillement, lorsque un barreau pesant est accroché à la seconde pince. La vitesse de déplacement de la première pince (vitesse de cisaillement) est de 0,417 mm/s et en déformation et en recouvrement. L'angle de cisaillement varie de +8° à -8°.

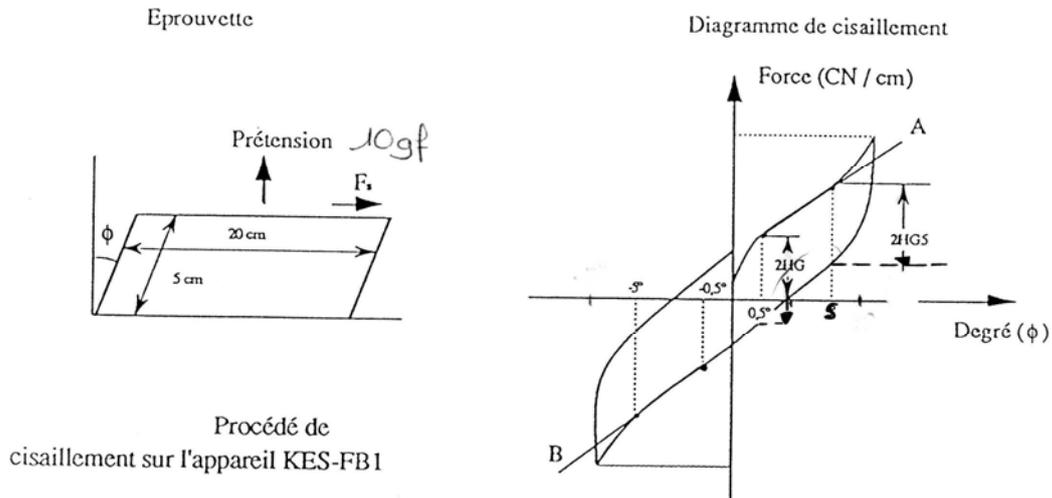


Figure 5-12: Procédé de cisaillement sur l'appareil KES

Au cours de l'essai, la courbe : force de cisaillement par unité de longueur en fonction de l'angle de cisaillement est tracée.

A partir de la courbe force-angle de cisaillement obtenue via l'essai de cisaillement, il est possible de mesurer les trois paramètres de Kawabata suivants:

G : Raideur de cisaillement à 2,5 degrés (gf/cm. degré)

2HG : Hystérésis de cisaillement à 0,5 degrés (gf/cm)

2HG5 : Hystérésis de cisaillement à 5 degrés (gf/cm).

L'hystérésis à un angle de cisaillement donné est la différence des efforts de cisaillement à cet angle.

Il est à noter que G est différent de la définition du module de cisaillement. Dans ce cas, G est défini comme le rapport de la force de cisaillement et l'angle de cisaillement. Ce rapport est la pente de la courbe entre  $\varphi = 0,5^\circ$  et  $\varphi = 5^\circ$ . Dans le cas où la courbe est non linéaire dans cette région, la pente moyenne est prise comme valeur de G.

Les valeurs retenues pour G, 2HG et 2HG5 sont les moyennes des valeurs mesurées lors des déformations positives et négatives.

L'essai de cisaillement est réalisé suivant les deux directions orthogonales de l'éprouvette (Chaîne et trame).

**5.6.3.3 Essai de traction :**

L'éprouvette est de forme rectangulaire de 5cm de longueur et 20cm de largeur. Lors d'un essai de traction, elle est déposée à plat entre deux pinces horizontales distantes de 5cm l'une de l'autre. La déformation de traction est appliquée le long de la direction de la longueur de l'éprouvette.

Le déplacement de la pince mobile se fait à vitesse constante (0,2mm/s) jusqu'à atteindre un seuil maximum de force de traction de 500 gf/cm puis le processus de recouvrement est mesuré à la même vitesse jusqu'à ce que la pince mobile revienne à sa position initiale. Du fait de la largeur importante de l'éprouvette, l'allongement dans la direction de la largeur est presque nul. Ce qui fait que la forme de déformation peut être considéré comme une traction biaxiale avec direction fixée.

Le diagramme contrainte-déformation (Figure 5.13) est souvent obtenu suivant les deux directions orthogonales chaîne et trame

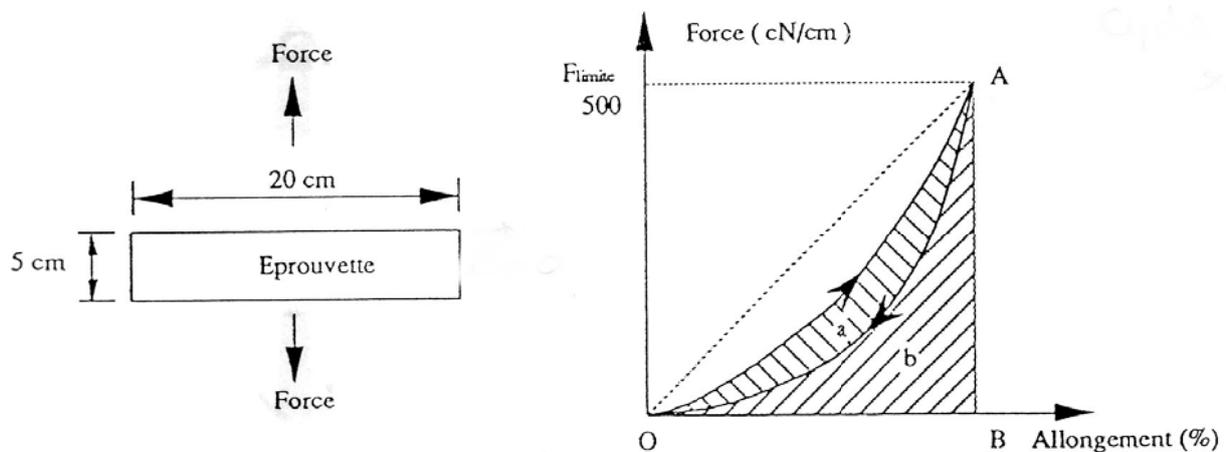


Figure 5-13: Diagramme de contrainte-déformation de la mesure de traction KES

A partir de la courbe contrainte-déformation obtenue via l'essai de traction, il est possible de mesurer les 3 paramètres de Kawabata suivants:

WT: Energie de traction par unité de surface (gf.cm/cm<sup>2</sup>),

LT : Linéarité (sans dimension),

RT : Résilience (%)

Ces caractéristiques sont définis par:

WT : Energie de traction par unité de surface, soit la somme des surfaces S1 et S2:

$$WT = \int_0^{EMT} f(\varepsilon) d\varepsilon \text{ (gf.cm/cm}^2\text{)}$$

Où f : Force d'extension par unité de longueur (gf/cm).

$\varepsilon$  : Déformation en traction (quantité sans dimension).

**LT** : Linéarité, est un nombre sans dimension, caractéristique du comportement à la traction de l'éprouvette. Si ce nombre vaut 1 le comportement est linéaire. S'il est inférieur (respectivement supérieur) à 1, le comportement est non linéaire et la courbe de traction est concave (respectivement convexe). Cette grandeur n'est que le rapport des surfaces WT (S1+S2) et WOT (surface du triangle OAB).

$$LT = \frac{WT}{WOT}$$

Où, WOT : représente l'énergie théorique de traction d'un matériau à comportement linéaire.

$$WOT = \frac{Fm \times EMT}{2} \text{ (gf.cm/cm}^2\text{)}$$

où, Fm : est la force maximale de traction (gf/cm),  
EMT : est la déformation maximale correspondante à la force Fm.

**RT** : résilience, la capacité de restitution de l'énergie de traction lors du recouvrement, l'unité de la grandeur est le pourcentage qui n'est que le rapport des surfaces S2 et WT (S1+S2).

$$RT \% = \frac{WT'}{WT} \cdot 100$$

Où, f' : force de recouvrement par unité de longueur (gf/cm).

L'essai de traction est réalisé suivant les deux directions orthogonales de l'éprouvette (chaîne et trame).

#### 5.6.3.4 Essai de compression :



Figure 5-14: Compression de l'appareil KES

L'éprouvette est de 25cm de longueur et 20cm de largeur. La surface comprimée est un cercle de 2 cm<sup>2</sup>.

Lors du test de compression, le piston descend sur l'éprouvette en exerçant une pression continûment croissante jusqu'à une pression maximale seuil fixée ( $50\text{gf/cm}^2$ ), puis revient à sa position initiale. La vitesse de compression et pour la déformation et pour le recouvrement, est constante ( $20\mu\text{m/s}$ ) en cas des tissus d'épaisseur faible, la vitesse est réduite à  $6,60\mu\text{m/s}$ .

Au cours de l'essai de compression, est tracée la courbe pression en fonction de l'épaisseur (Figure 5-16).

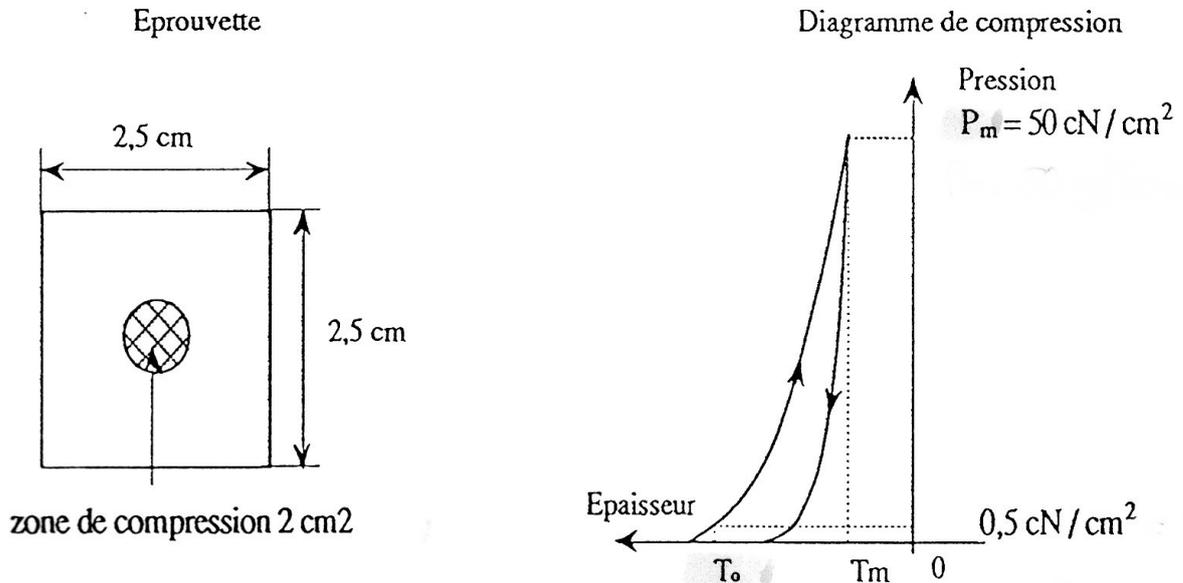


Figure 5-15: Diagramme de compression de KES-FB3

**Remarque :**

Sur la Figure 5-15, on remarque que les dimensions de l'éprouvette sont de  $2,5 \times 2,5\text{ cm}$ , or pour notre cas nous utilisons une éprouvette de  $200 \times 200\text{ mm}$ .

A partir de la courbe pression-épaisseur obtenue via l'essai de compression, il est possible de mesurer les trois paramètres de Kawabata suivants:

WC : énergie de compression ( $\text{gf.cm/cm}^2$ ).

LC : linéarité de compression (sans dimension).

RC: résilience (%).

Ces caractéristiques sont définies de la manière suivante:

**WC** : Energie de compression, soit le travail de compression durant le temps de compression.

$$WC = \int_{T_m}^{T_0} P(T)dT \text{ (gf.cm/cm}^2\text{)}.$$

Où, T : Epaisseur de l'éprouvette (cm),

T<sub>0</sub> : Epaisseur de l'éprouvette à une pression maximale de 0,5 gf/cm<sup>2</sup> (0,05 Kpa).

Notons que cette valeur est aussi utilisée comme la valeur caractéristique qui exprime l'épaisseur de l'éprouvette (mm).

T<sub>m</sub> : Epaisseur de l'éprouvette à la pression maximale P<sub>m</sub> = 50 gf/cm<sup>2</sup> (5 Kpa),

P : Pression exercée sur l'éprouvette (gf/cm<sup>2</sup>) lors de la compression.

**LC** : Linéarité de compression, est un nombre sans dimension caractéristique du comportement de l'éprouvette à la compression. Si ce nombre vaut 1 le comportement est linéaire. S'il est inférieur (respectivement supérieur) à 1, le comportement est non linéaire et la courbe de compression est concave (respectivement convexe).

$$LC = \frac{WC}{WOC}$$

Où,

WOC : représente l'énergie théorique de compression d'un matériau à comportement linéaire, autrement dit, représente la surface du triangle (TOT<sub>m</sub>P<sub>m</sub>):

$$WOC = \frac{P_m (T_0 - T_m)}{2} \text{ (gf.cm/cm}^2\text{)}.$$

**RC** : Résilience de compression, soit la capacité de restitution de l'énergie de compression lors du recouvrement.

$$RT \% = \frac{WC'}{WC} \cdot 100$$

Où, WC' est l'énergie de recouvrement par unité de surface :

$$WOC = \frac{WC'}{WC} \cdot 100\% \text{ (gf.cm/cm}^2\text{)}.$$

Où, P' : Pression exercée sur l'éprouvette lors du recouvrement (gf/cm<sup>2</sup>).

**5.7 Résultats et discussion : (annexe 1)**

**5.7.1 Tests de perméabilité et constitution**

Les résultats des tests concernant la perméabilité, masse surfacique, laize, embuvage et retrait des tissus simples sont rassemblés dans le tableau 5.10

Tableau 5-10: caractéristiques de perméabilité, masse surfacique, laize, embuvage et retrait :

TRAME	ARMURES	REF	Duitage	Laize	Embuvage	Retrait	Epaisseur	Titre Chaîne	Titre Trame
Couleur			duites/cm	cm	%	%	mm	dtex	dtex
104 tex	TOILE	B5T	5	182	5,0	0,549	1,19	345	933
104 tex	TOILE	B7T	7	182,5	6,0	0,274	0,96	345	933
104 tex	TOILE	B9T	9	182	10,0	0,549	0,8	345	933
104 tex	TOILE	B11T	11	182	12,0	0,549	0,69	345	933
104 tex	TOILE	B12T	12	182	12,0	0,549	0,69	345	933
58 tex	TOILE	R9T	9	182	6,0	0,549	0,76	345	522
58 tex	TOILE	R11T	11	182,5	8,0	0,274	0,72	345	522
58 tex	TOILE	R15T	15	182	11,0	0,549	0,66	345	522
58 tex	TOILE	R16T	16	182	11,0	0,549	0,66	345	522
38 tex	TOILE	T7T	8	180	2,0	1,667	0,91	345	345
38 tex	TOILE	T13T	13	181	7,0	1,105	0,63	345	345
38 tex	TOILE	T16T	16	181	9,0	1,105	0,61	345	345
38 tex	TOILE	T17T	17	182	10,0	0,549	0,6	345	345
38 tex	TOILE	T18T	18	182	10,0	0,549	0,62	345	345
104 tex	SERGE4	B11S	11	182	12,0	0,549	1,14	345	933
104 tex	SERGE4	B14S	14	182	11,0	0,549	0,98	345	933
104 tex	SERGE4	B15S	15	182	12,0	0,549	0,98	345	933
104 tex	SERGE4	B17S	17	182	15,0	0,549	0,96	345	933
58 tex	SERGE4	R20S	20	181	12,0	1,105	0,79	345	522
58 tex	SERGE4	R21S	21	180,5	13,0	1,385	0,75	345	522
58 tex	SERGE4	R23S	23	181	14,0	1,105	0,78	345	522
38 tex	SERGE4	T21S	22	178	5,0	2,809	0,76	345	345
38 tex	SERGE4	T26S	26	178	5,0	2,809	0,69	345	345
38 tex	SERGE4	T28S	28	178	7,0	2,809	0,68	345	345
104 tex	CROISE	B11C	11	182	12,0	0,549	1,14	345	933
104 tex	CROISE	B14C	14	182	11,0	0,549	0,98	345	933
104 tex	CROISE	B15C	15	182	12,0	0,549	0,98	345	933
104 tex	CROISE	B17C	17	182	15,0	0,549	0,96	345	933
58 tex	CROISE	R20C	20	181	12,0	1,105	0,79	345	522
58 tex	CROISE	R21C	21	180,5	13,0	1,385	0,75	345	522
58 tex	CROISE	R23C	23	181	14,0	1,105	0,78	345	522
38 tex	CROISE	T21C	22	178	5,0	2,809	0,76	345	345
38 tex	CROISE	T26C	26	178	5,0	2,809	0,69	345	345
38 tex	CROISE	T28C	28	178	7,0	2,809	0,68	345	345
104 tex	REPS	B9R	7	181	6,0	1,105	1,18	345	933
104 tex	REPS	B11R	9	181	3,5	3,473	3,473	345	3,473
104 tex	REPS	B13R	12	181	3,5	3,473	3,473	345	3,473
58 tex	REPS	R15R	15	182	10,0	0,549	0,76	345	522
58 tex	REPS	R19R	19	181	12,0	1,105	0,75	345	522
38 tex	REPS	T14R	14	178	5,0	2,809	0,76	345	345
38 tex	REPS	T16R	16	178	5,0	2,809	0,69	345	345
38 tex	REPS	T17R	17	178	7,0	2,809	0,68	345	345
38 tex	REPS	T1R	18	178	9,0	2,809	0,67	345	345

Les résultats des tests concernant la perméabilité, masse surfacique, laize, embuvage et retrait des tissus double face sont rassemblés dans le tableau 5.11

Tableau 5-11: caractéristiques de perméabilité, masse surfacique, laize, embuvage et retrait :

TRAME	ARMURES	REF	Duitage	Laize	Embuvage	Retrait	Epaisseur	Titre Chaine	Titre Trame
Couleur			duites/cm	cm	%	%	mm	dtex	dtex
104 tex	DFS4	B16	16	177	9,0	3,390	0,95	345	933
104 tex	DFS4	B18	18	177	10,0	3,390	0,93	345	933
104 tex	DFS4	B20	20	177	10,0	3,390	0,92	345	933
58 tex	DFS4	R20	20	174	5,0	5,172	0,85	345	522
58 tex	DFS4	R22	22	174	5,0	5,172	0,86	345	522
58 tex	DFS4	R24	24	174	5,0	5,172	0,82	345	522
58 tex	DFS4	R26	26	174	7,0	5,172	0,83	345	522
38 tex	DFS4	T26	26	172	4,0	6,395	0,73	345	345
38 tex	DFS4	T28	27	171	4,0	7,018	0,75	345	345
38 tex	DFS4	T29	28	171	4,0	7,018	0,75	345	345
104 tex	DFS8	B18	18	177	8,0	3,390	1,35	345	933
104 tex	DFS8	B20	20	177	6,0	3,390	1,31	345	933
104 tex	DFS8	B22	22	176	9,0	3,977	1,29	345	933
104 tex	DFS8	B24	24	175	10,0	4,571	1,28	345	933
58 tex	DFS8	R28	28	171	5,0	7,018	1,17	345	522
58 tex	DFS8	R30	30	171	8,0	7,018	1,18	345	522
58 tex	DFS8	R32	32	168	5,0	8,929	1,14	345	522
38 tex	DFS8	T36	36	167,5	1,0	9,254	1,13	345	345
38 tex	DFS8	T38	38	167,5	2,0	9,254	1,08	345	345
38 tex	DFS8	T40	40	167,5	1,0	9,254	1,1	345	345
38 tex	DFS8	T42	42	167,5	1,0	9,254	1,08	345	345
104 tex	DFR8A	B17	17	176	10,0	3,977	1,41	345	933
104 tex	DFR8A	B19	19	176	3,0	3,977	1,45	345	933
104 tex	DFR8A	B23	23	176	10,0	3,977	1,5	345	933
58 tex	DFR8A	R25	25	172	8,0	6,395	1,2	345	522
58 tex	DFR8A	R29	29	172	5,0	6,395	1,17	345	522
58 tex	DFR8A	R33	33	171	1,0	7,018	1,16	345	522
38 tex	DFR8A	T33	33	164	3,0	11,585	1,18	345	345
38 tex	DFR8A	T37	37	163	5,0	12,270	1,13	345	345
38 tex	DFR8A	T41	41	163,5	4,0	11,927	1,1	345	345
104 tex	DFR8B	B17	17	176	7,0	3,977	1,42	345	933
104 tex	DFR8B	B19	19	176	6,0	3,977	1,35	345	933
104 tex	DFR8B	B23	23	174	7,0	5,172	1,29	345	933
58 tex	DFR8B	R25	25	172	3,0	6,395	1,16	345	522
58 tex	DFR8B	R29	29	171	5,0	7,018	1,16	345	522
58 tex	DFR8B	R33	33	171	7,0	7,018	1,17	345	522
38 tex	DFR8B	T33	33	172	2,0	6,395	1,13	345	345
38 tex	DFR8B	T37	37	172	3,0	6,395	1,08	345	345
38 tex	DFR8B	T41	41	169	3,0	8,284	1,09	345	345

Les résultats des tests concernant la perméabilité, masse surfacique, laize, embuvage et retrait des tissus multiples sont rassemblés dans le tableau 5.12

Tableau 5-12: caractéristiques de perméabilité, masse surfacique, laize, embuvage et retrait :

TRAME	ARMURES	REF	Duitage	Laize	Embuvage	Retrait	Epaisseur	Titre Chaine	Titre Trame
Couleur			duites/cm	cm	%	%	mm	dtex	dtex
104 tex	TM1R	B23	23	172,5	6,0	6,087	1,98	345	933
104 tex	TM1R	B25	25	172,5	7,0	6,087	1,92	345	933
104 tex	TM1R	B27	27	174	8,0	5,172	1,91	345	933
58 tex	TM1R	R35	35	171,5	5,0	6,706	1,75	345	522
58 tex	TM1R	R37	37	172	6,0	6,395	1,74	345	522
58 tex	TM1R	R39	39	173	7,0	5,780	1,71	345	522
38 tex	TM1R	T48	48	172	4,0	6,395	1,68	345	345
38 tex	TM1R	T50	50	172	5,0	6,395	1,67	345	345
38 tex	TM1R	T52	52	172	6,0	6,395	1,62	345	345
104 tex	TM2R	B23	23	167	0,0	9,581	1,75	345	933
104 tex	TM2R	B25	25	167	1,0	9,581	1,82	345	933
104 tex	TM2R	B27	27	167	0,0	9,581	1,92	345	933
58 tex	TM2R	R35	35	166	0,0	10,241	1,69	345	522
58 tex	TM2R	R37	37	166	0,0	10,241	1,72	345	522
58 tex	TM2R	R39	39	166	0,0	10,241	1,77	345	522
38 tex	TM2R	T48	48	164	2,0	11,585	1,75	345	345
38 tex	TM2R	T50	50	164	3,0	11,585	1,76	345	345
38 tex	TM2R	T52	52	164	3,0	11,585	1,8	345	345
104 tex	TM1	B23	23	179	8,0	2,235	1,39	345	933
104 tex	TM1	B25	25	179	10,0	2,235	1,38	345	933
104 tex	TM1	B27	27	179	5,0	2,235	1,33	345	933
58 tex	TM1	R31	31	177	8,0	3,390	1,15	345	522
58 tex	TM1	R33	33	177	9,0	3,390	1,19	345	522
58 tex	TM1	R35	35	177	9,0	3,390	1,21	345	522
38 tex	TM1	T42	42	177	8,0	3,390	1,02	345	345
38 tex	TM1	T44	44	177	9,0	3,390	1,03	345	345
38 tex	TM1	T46	46	177	11,0	3,390	1	345	345
104 tex	TM2	B23	23	180	10,0	1,667	1,55	345	933
104 tex	TM2	B25	25	180	10,0	1,667	1,55	345	933
104 tex	TM2	B27	27	180	13,0	1,667	1,47	345	933
58 tex	TM2	R31	31	178	8,0	2,809	1,26	345	522
58 tex	TM2	R33	33	178	9,0	2,809	1,29	345	522
58 tex	TM2	R35	35	178	10,0	2,809	1,3	345	522
38 tex	TM2	T44	44	177	10,0	3,390	1,12	345	345
38 tex	TM2	T46	46	177	11,0	3,390	1,13	345	345
38 tex	TM2	T48	48	177	13,0	3,390	1,04	345	345

Pour la représentation des graphiques, nous avons subdivisé les duitages en trois classes :

- 1 : Duitage normale qui correspond à un indice de saturation compris entre 45% et 55%
- 2 : Duitage moyen qui correspond à un indice de saturation compris entre 55% et 65%
- 3 : Duitage fort (saturé) qui correspond à un indice de saturation compris entre 65% et 75%

Les graphiques de la perméabilité à l'air en fonction des duitages normale, moyen et à la saturation (duitage fort) sont rassemblées dans les Figures 5.15 et 5.1:

La perméabilité en  $g/cm^3/s$  = fonction (1=duitage normale, 2=duitage moyen et 3=duitage fort)

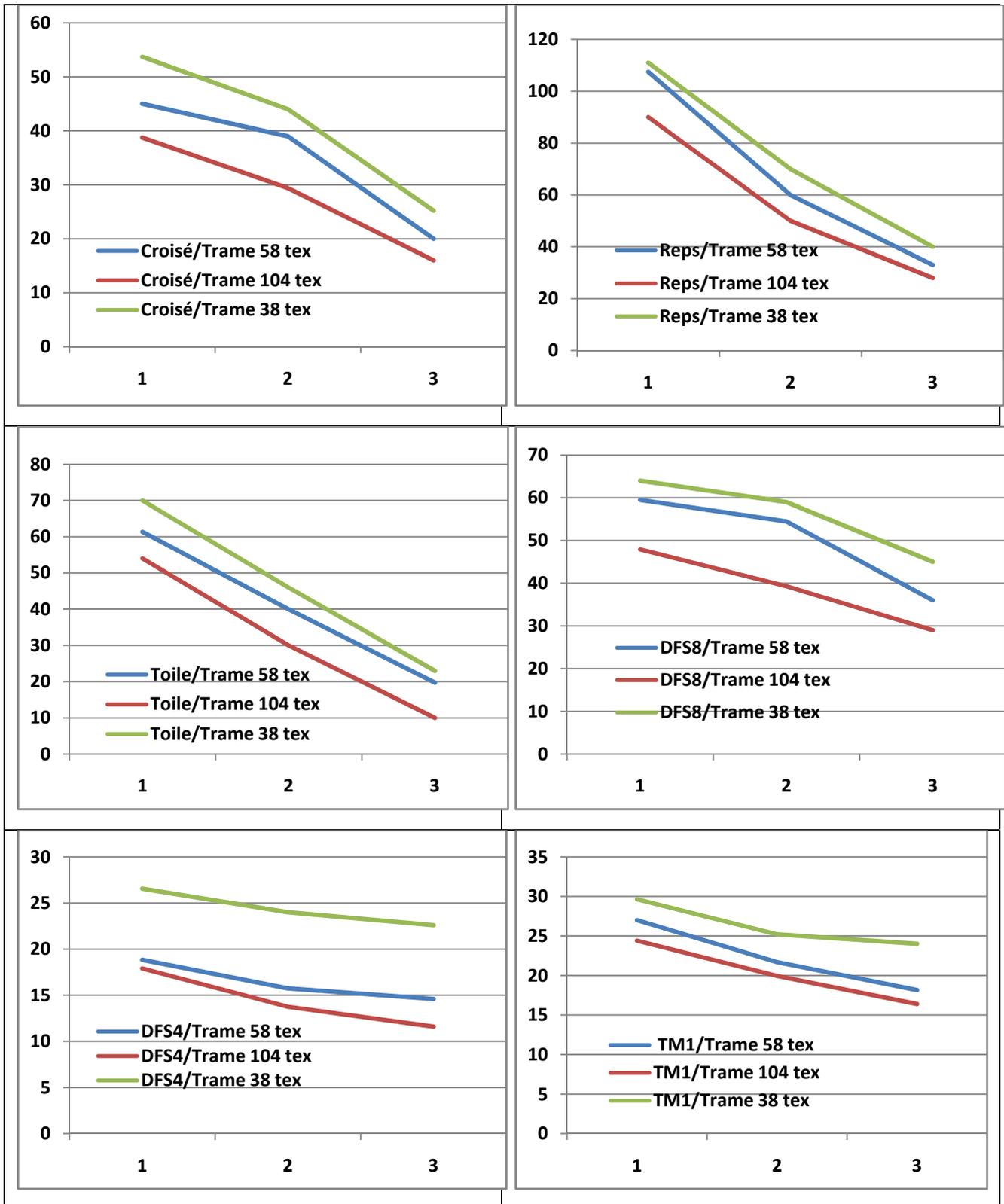


Figure 5-16: Graphiques perméabilité 1

La perméabilité en  $g/cm^3/s$  = fonction (1=duitage normale, 2=duitage moyen et 3=duitage fort)

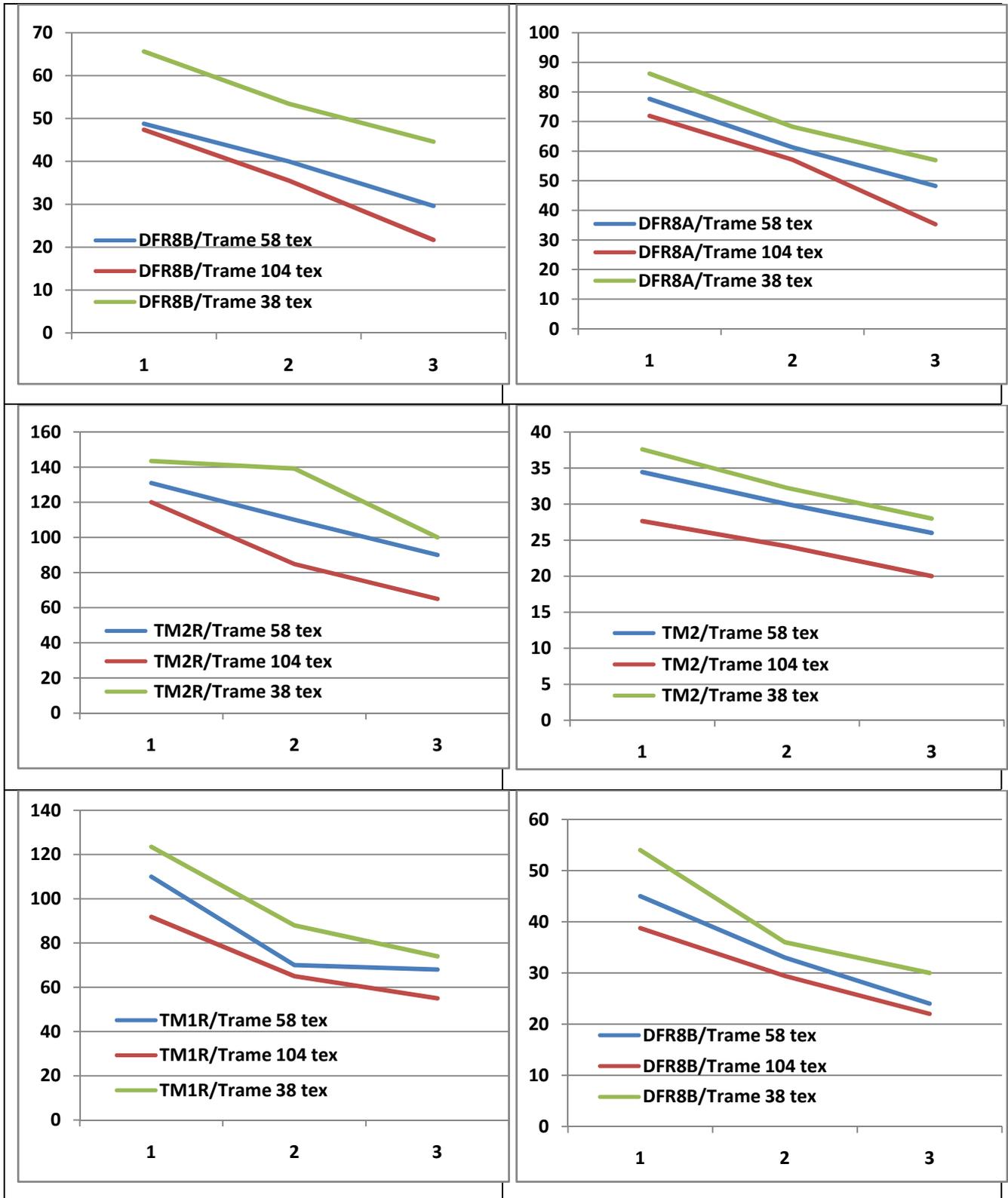


Figure 5-17: Graphiques perméabilité 2

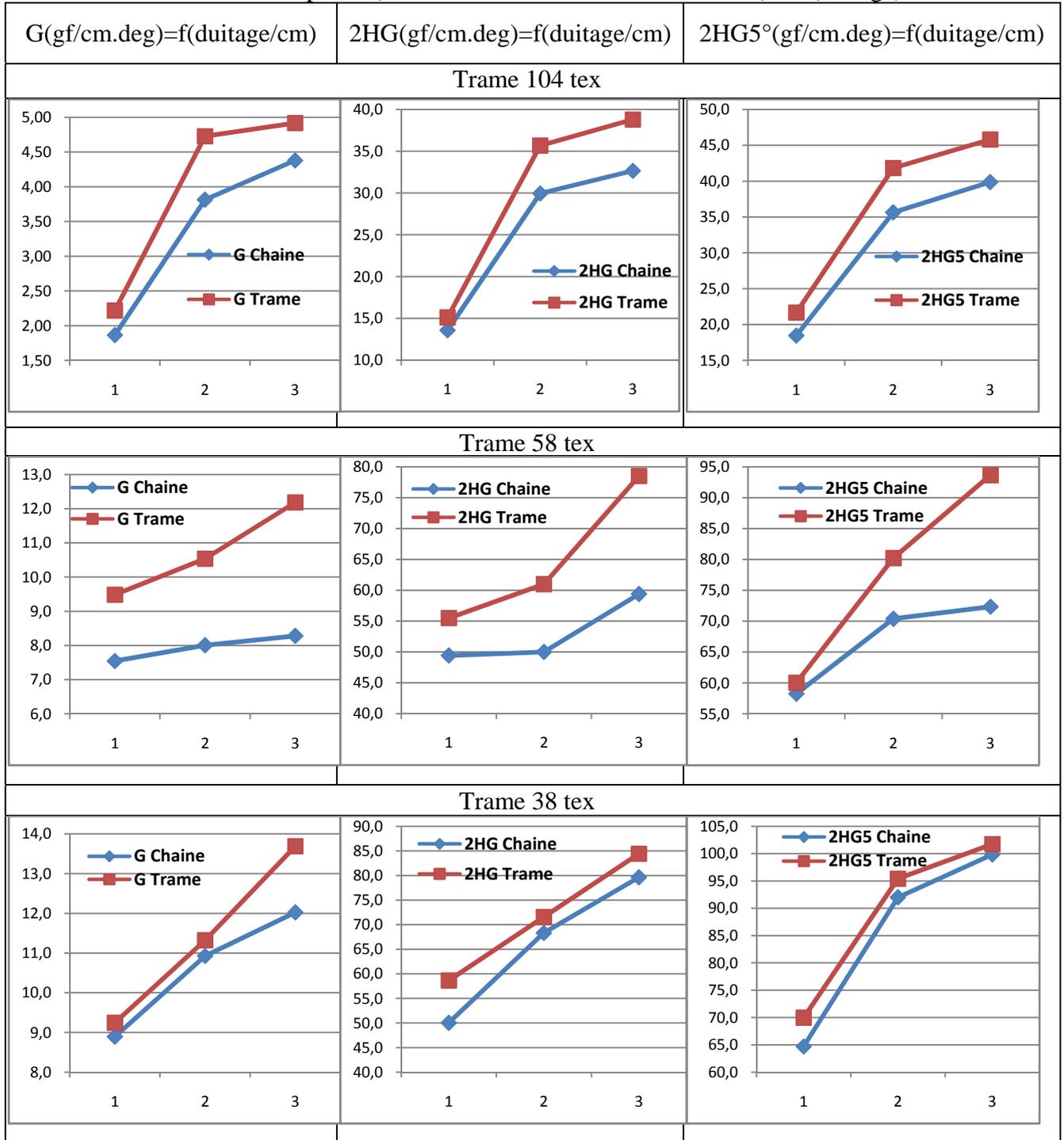
5.7.2 Les tests kawabata

5.7.2.1 Analyses et interprétations des résultats « tissus simples »

5.7.2.1.1 Cisaillement « tissus simples »:

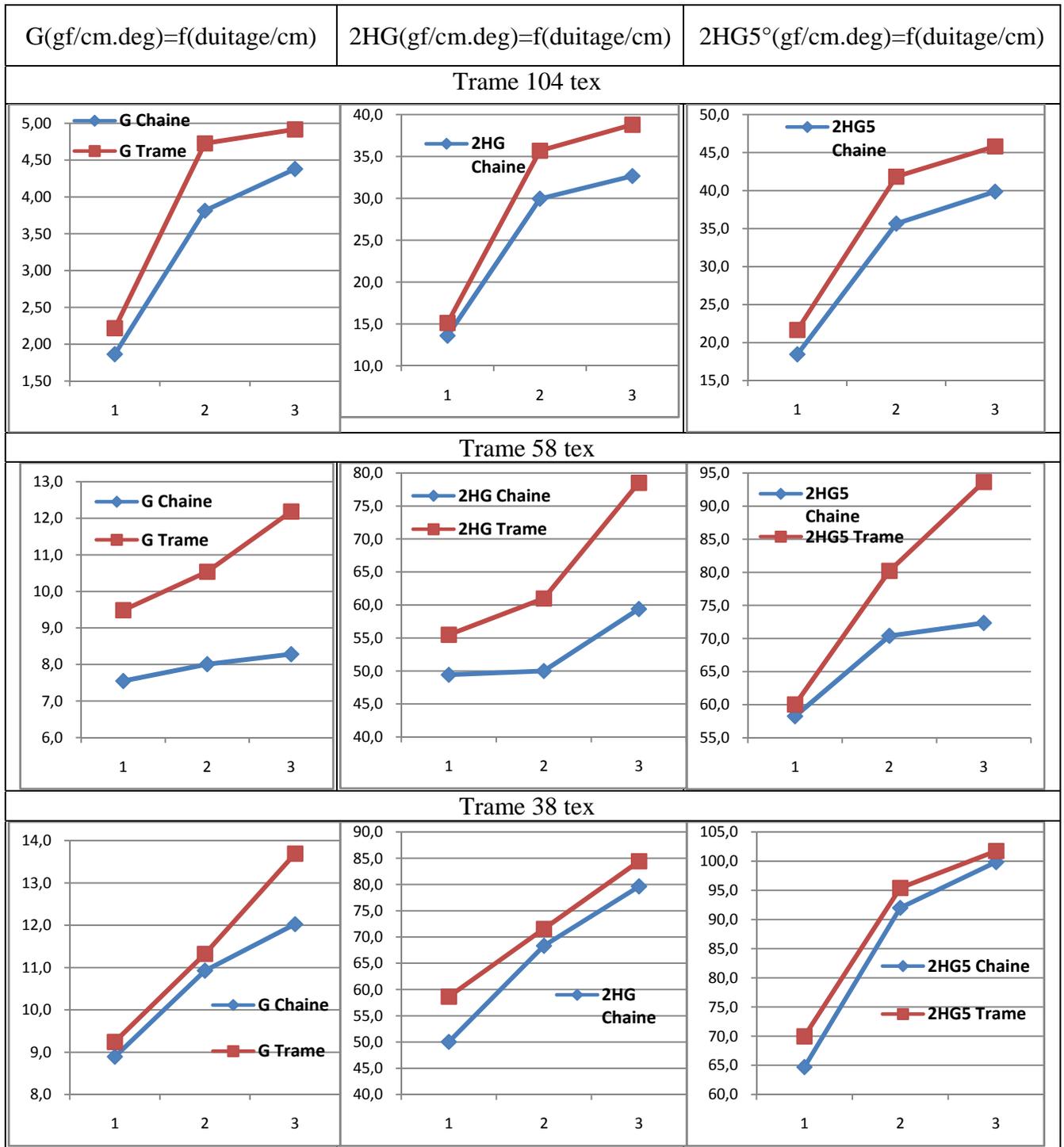
Les graphiques des tests de cisaillement en fonction des duitages normal, moyen et fort (duitage à la saturation) sont rassemblés dans les Figures 5.9 à 5.11:

Tableau 5-9: Graphes : (G, 2HG et 2HG5 / Armure Croisé2/2) = f (duitage)



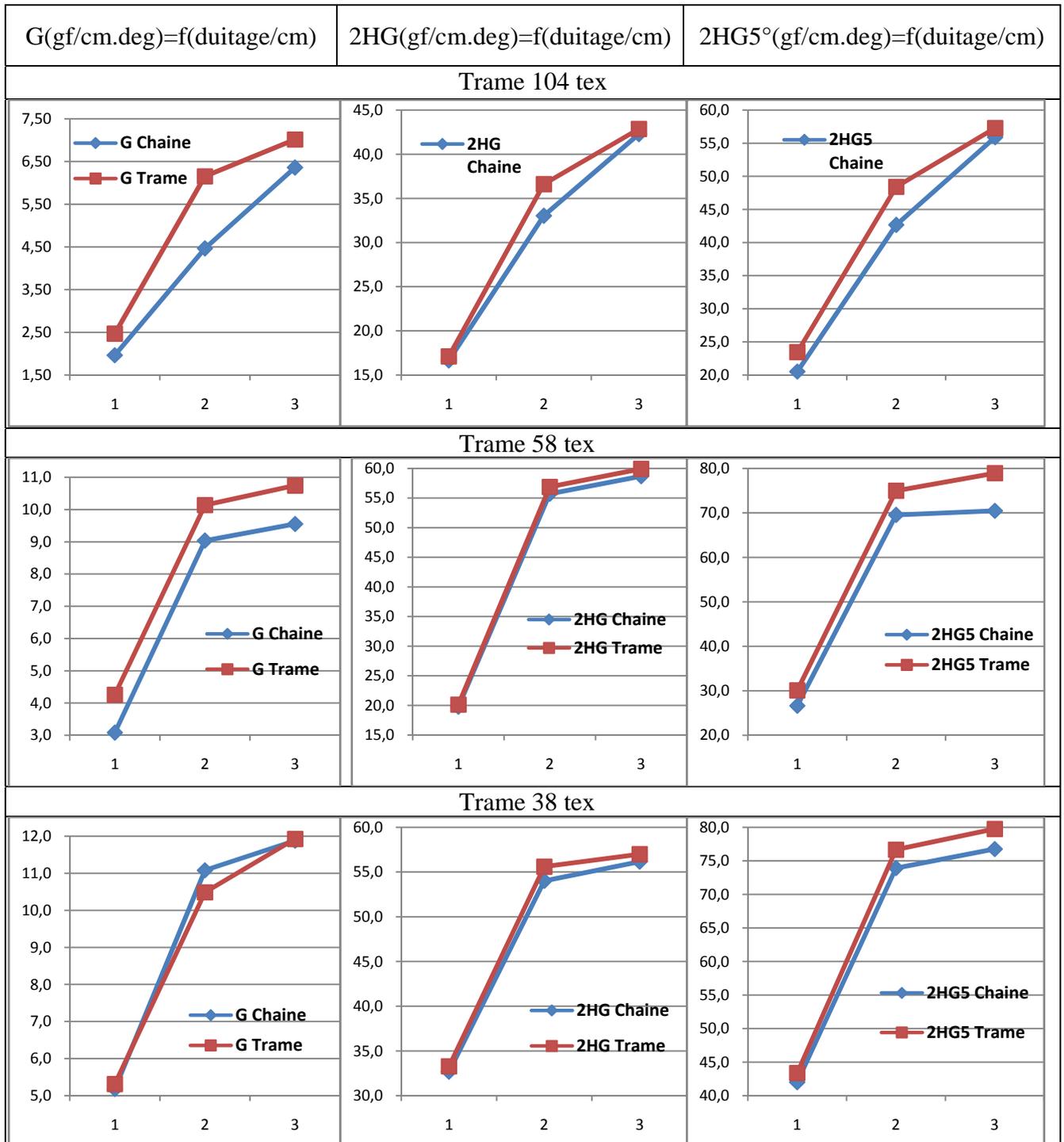
Analyses et interprétations des résultats (Annexe 4):

Tableau 5-10: Graphes : (G, 2HG et 2HG5 / Armure Reps2/2) = f (duitage)



Analyses et interprétations des résultats (Annexe 4):

Tableau 5-11: Graphes : (G, 2HG et 2HG5 / Armure Toile) = f (duitage)



Analyses et interprétations des résultats (Annexe 4):

### **Rigidité de cisaillement :**

Ce qu'on remarque d'après notre première analyse des résultats, c'est que lorsqu'on augmente le duitage vers la saturation  $G$  augmente pour toutes les armures étudiées.

Aussi lors de l'opération de cisaillement, il existe plusieurs interactions entre les fils de chaîne et les fils de trame et ceci est dû à la structure serrée et saturée des tissus étudiés.

Si on procède à une comparaison entre les armures, on trouve que la toile a la valeur de  $G$  la plus grande par rapport au croisé et au reps, donc ce qu'on peut dire que la toile est l'armure qui a le plus grand nombre des points de liage à la saturation, c'est-à-dire un nombre faible de flotté, ce qui engendre des faibles interactions entre les fils de chaîne et de trame ce qui explique que la toile a la plus grande valeur de  $G$ .

### **Hystérésis 2HG et 2HG5**

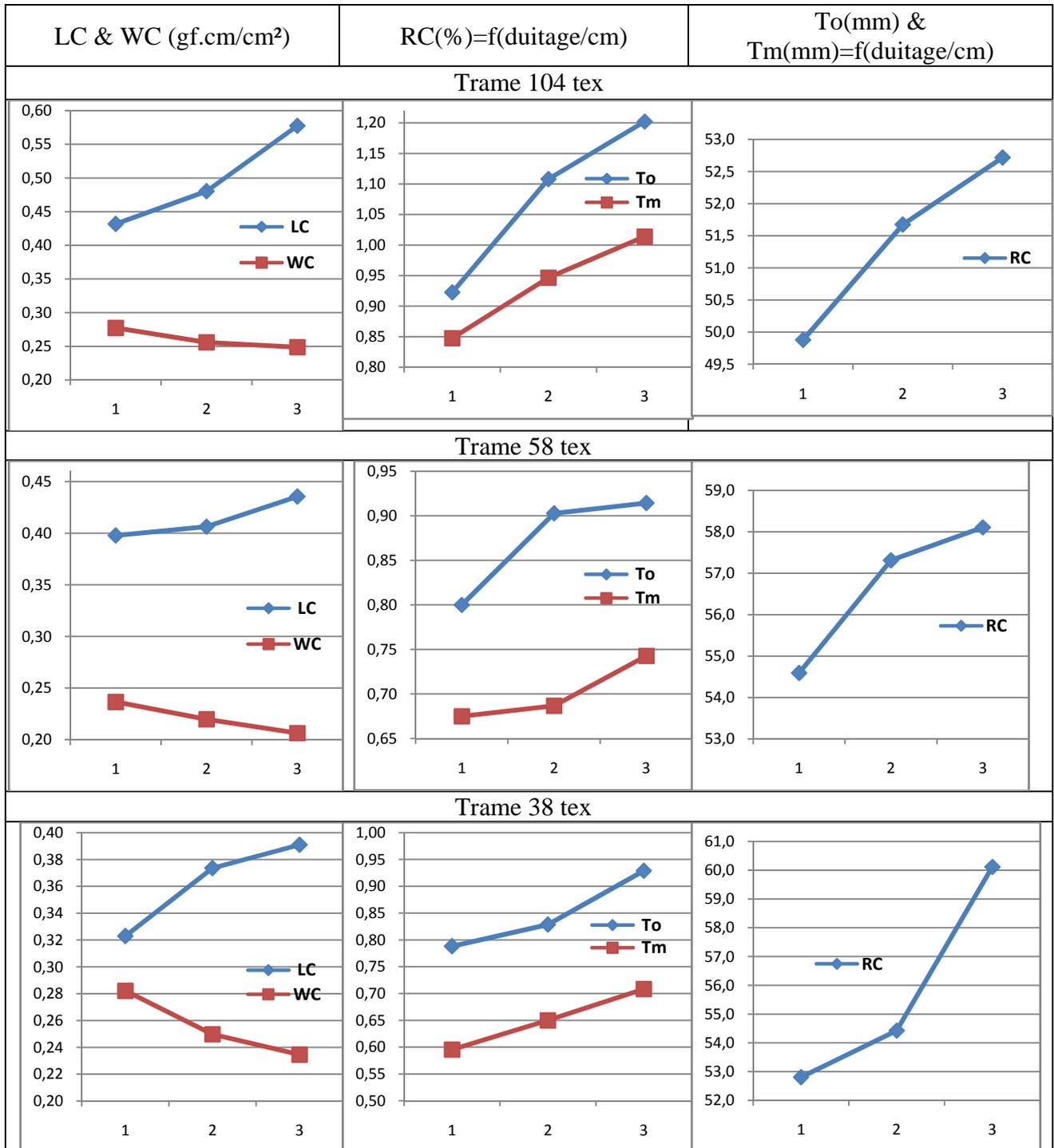
L'effet de l'hystérésis se produit lorsqu'on inverse la direction du cisaillement, à ce moment on peut parler des forces de friction qui existent à l'intersection de la chaîne et de la trame qui s'opposent à la force de cisaillement.

A ce point là, on peut dire que la toile a les plus grandes valeurs de 2HG et 2HG5 par rapport au reps et au croisé, comme le croisé à plusieurs flottés et aussi le reps ce qui explique les faibles valeurs de 2HG et 2HG5 pour ces derniers. On peut dire aussi que c'est à cause des points de liage. Plus le nombre de points de liage est important plus les forces de friction sont intéressantes.

5.7.2.1.2 Compression «tissus simples»:

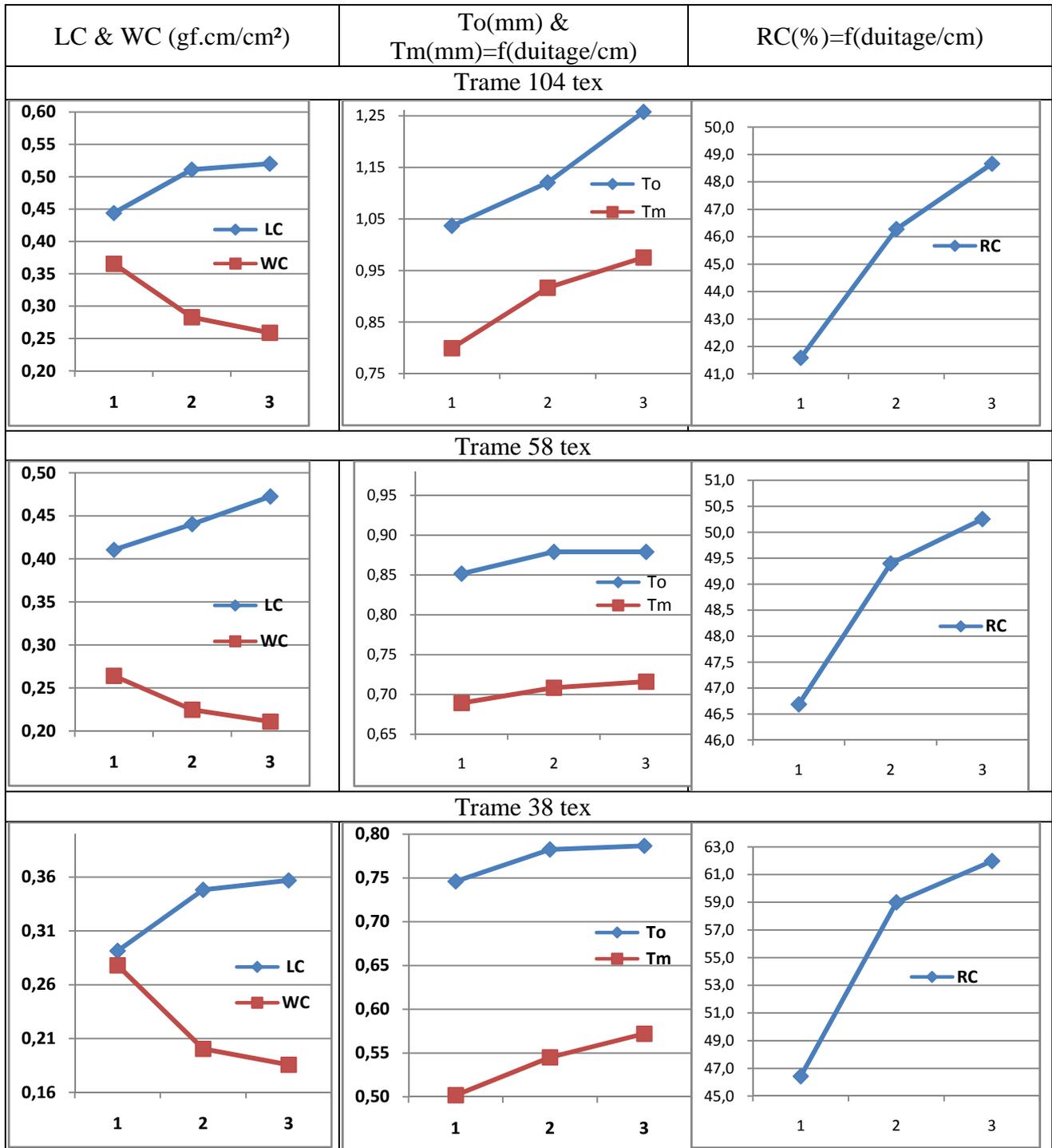
Les graphiques des testes de compression en fonction des duitages normal, moyen et fort (duitage à la saturation) sont rassemblées dans les Figures 5.12 à 5.14:

Tableau 5-12: Graphes : (LC & WC, T0 & Tm, RC / Armure Croisé2/2) = f (duitage /cm)



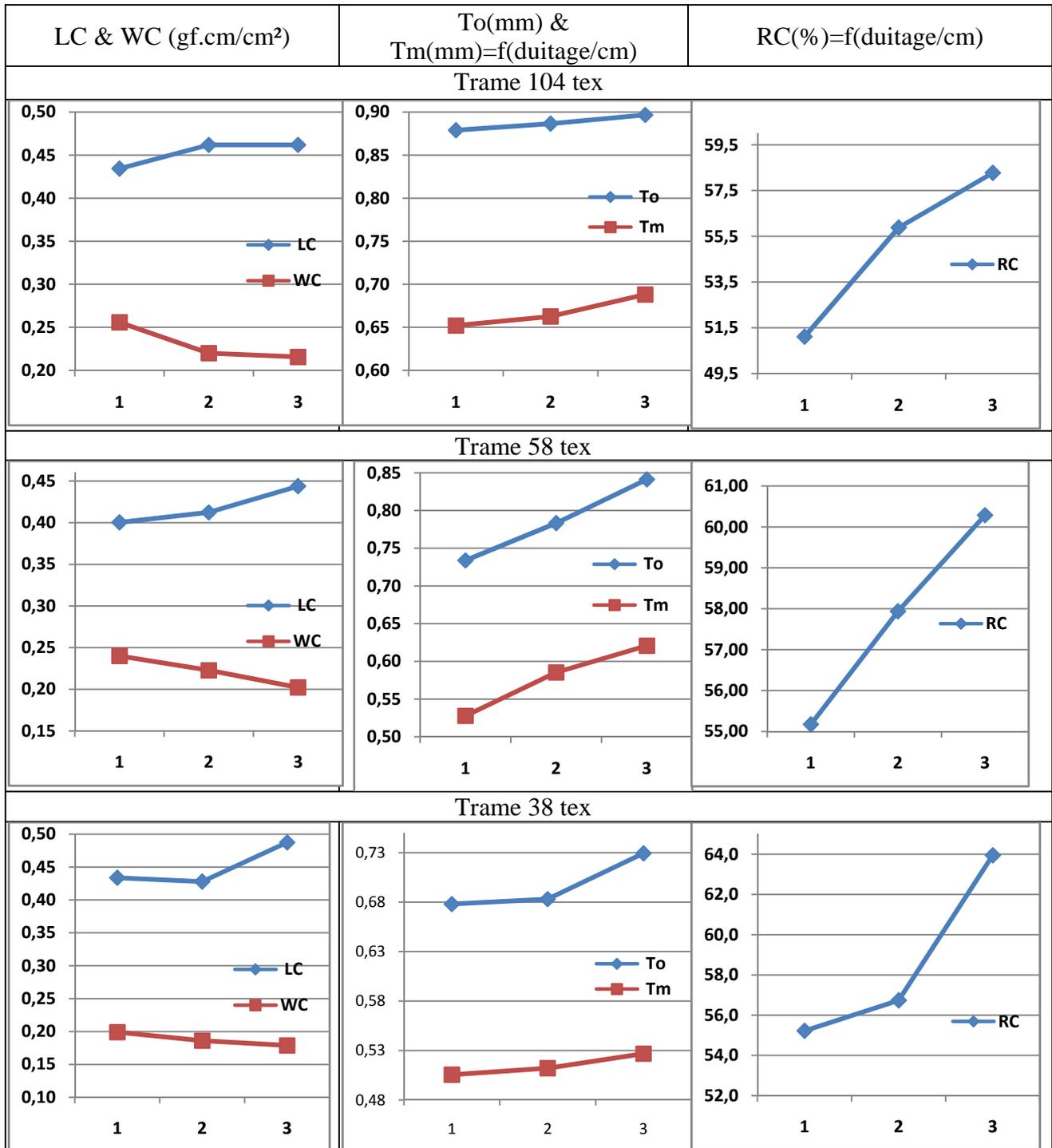
Analyses et interprétations des résultats (Annexe 4):

Tableau 5-13: Graphes : (LC & WC, T0 & Tm, RC / Armure Repts2/2) = f (duitage)



Analyses et interprétations des résultats (Annexe 4):

Tableau 5-14: Graphes : (LC & WC, T0 & Tm, RC / Armure Toile) = f (duitage)



Analyses et interprétations des résultats (Annexe 4):

### **Energie de compression :**

Pendant le processus de compression, l'espace inter-fibre devient de plus en plus faible, donc la force appliquée sur le tissu doit être supérieure à celle de frottement inter-fibre.

Ce qui explique la diminution de WC en fonction de duitages. Evidemment, quand on augmente le duitage vers la saturation les points de liage augmentent et l'espace inter-fils diminue ce qui engendre une augmentation des forces de frottement, c'est pourquoi la force de compression diminue ce qui fait que le WC diminue.

D'après les résultats, comme la toile a le plus grand nombre de points de liage, on remarque que la valeur de l'énergie de compression de la toile est la plus faible par rapport au croisé et au reps, aussi on remarque que les valeurs de l'énergie de compression de chaque armure sont proches l'un à l'autre, mais on constate que les valeurs sont un peu importantes pour la duite 104 tex ce qui est éventuellement dues à la valeur du titre ( $T = 933,51$  dtex).

### **Linéarité de compression :**

Ce qu'on peut dire à propos de la linéarité de compression, quand on augmente le duitage vers la saturation cette dernière augmente pour toutes les armures que ça soit la toile, le reps et le croisé, aussi on remarque que les valeurs de LC sont importantes pour la duite 104 tex ce qui est éventuellement dues à la valeur du titre ( $T = 933,51$  dtex).

### **Résilience :**

La résilience de compression, est la capacité de restitution de l'énergie de compression lors du recouvrement. Alors d'après les résultats, on remarque que la résilience augmente quand le duitage augmente vers la saturation, aussi on trouve que la toile a la plus grande valeur de RC relativement au croisé et au reps, comme cette dernière a un nombre élevé de points de liage par rapport au croisé et au reps, par conséquent les points de liage jouent un rôle important lors de recouvrement.

**5.7.2.1.3** Synthèse « tissus simples»:

Pour le cisaillement : la rigidité du cisaillement, 2HG et 2HG5 augmentent lorsque le duitage tend vers la saturation, ceci est probablement dû au fait que les interactions entre les fils de chaîne et les fils de trame augmentent lors de l'accroissement du duitage.

Pour la compression : l'énergie de compression diminue avec l'augmentation de duitage, ceci est dû au fait que les forces de frottement internes augmentent et donc la force nécessaire pour comprimer le tissu diminue et alors WC diminue. Et pour la linéarité, elle augmente avec le duitage pour toutes les armures, mais la résilience elle augmente de façon différente pour les quatre armures.

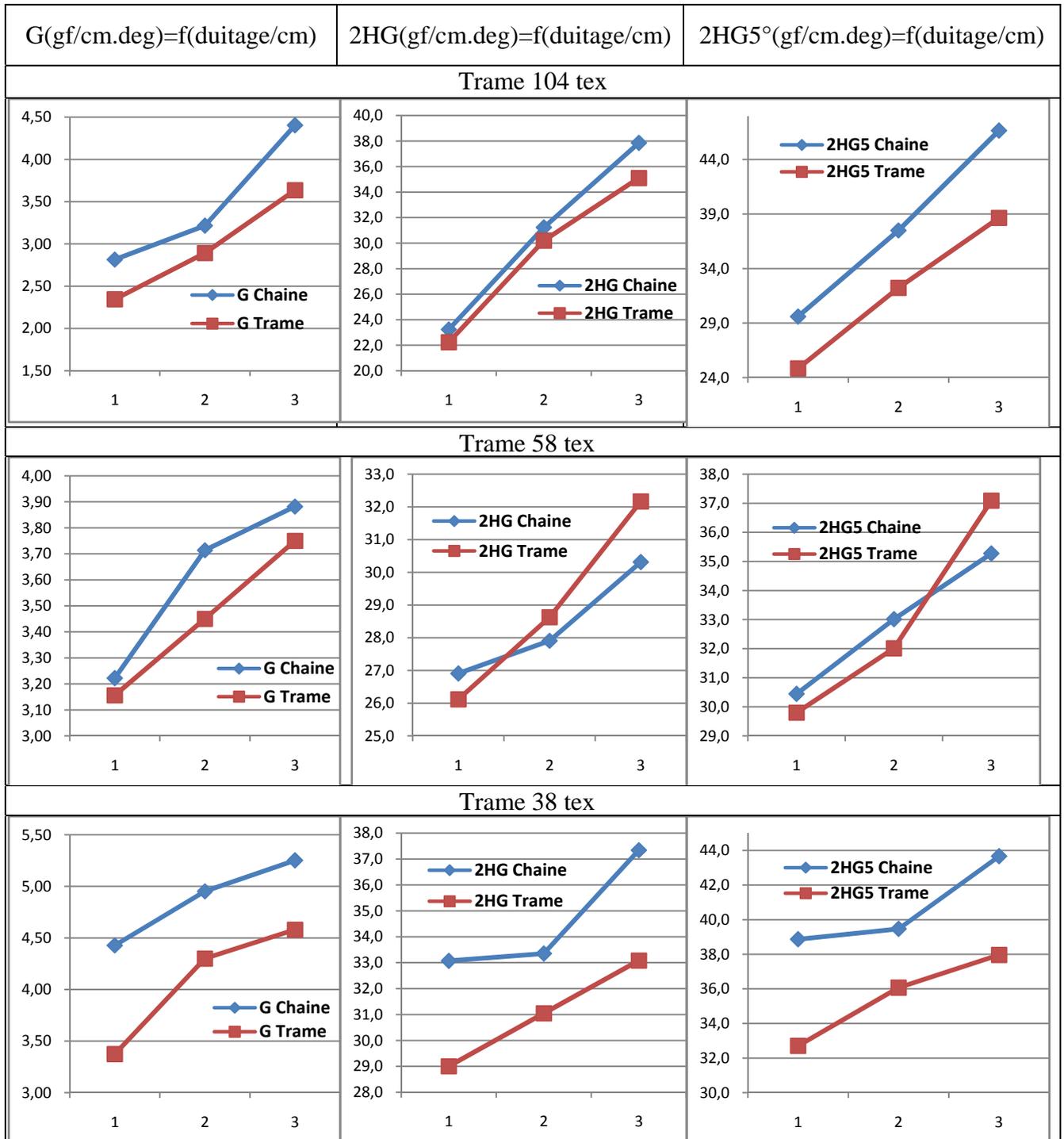
Enfin pour la perméabilité à l'air : elle diminue lorsque le duitage augmente vers la saturation, cela est dû à la diminution des pores dans le tissu. En effet, lorsque le duitage augmente vers la saturation le nombre de points de liage dans le tissu s'élève donc la surface couverte par les fils s'accroît par conséquent l'espace inter-fil diminue, alors l'air ne peut pas passer facilement.

5.7.2.2 Analyses et interprétations des résultats « tissus doubles faces »

5.7.2.2.1 Cisaillement «tissus doubles faces »:

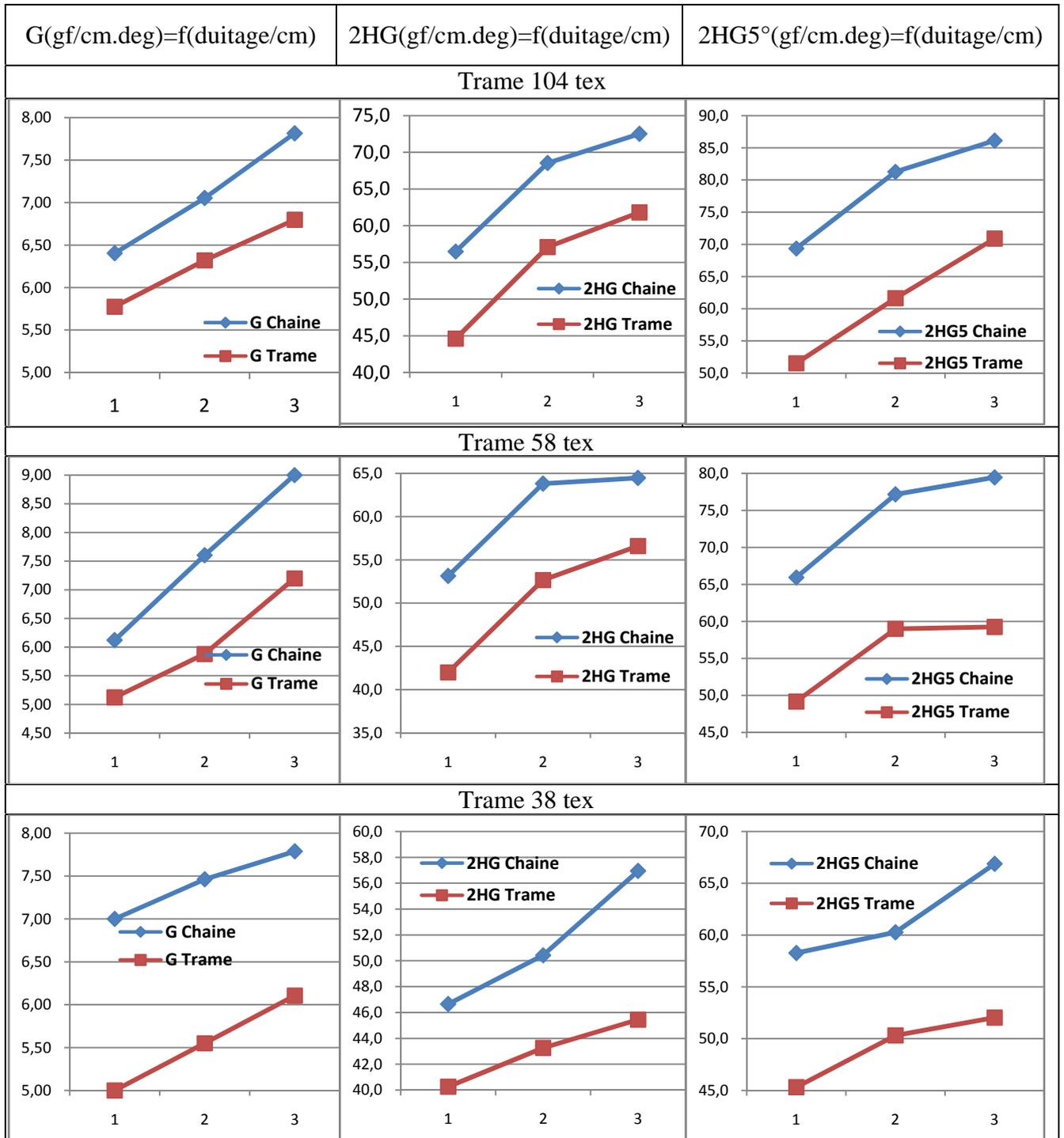
Les graphiques des testes de cisaillement en fonction des duitages normale, moyen et fort sont rassemblées dans les Figures 5.15 à 5.18:

Tableau 5-15: Graphes : (G, 2HG et 2HG5 /Armure DFS8) = f (duitage)



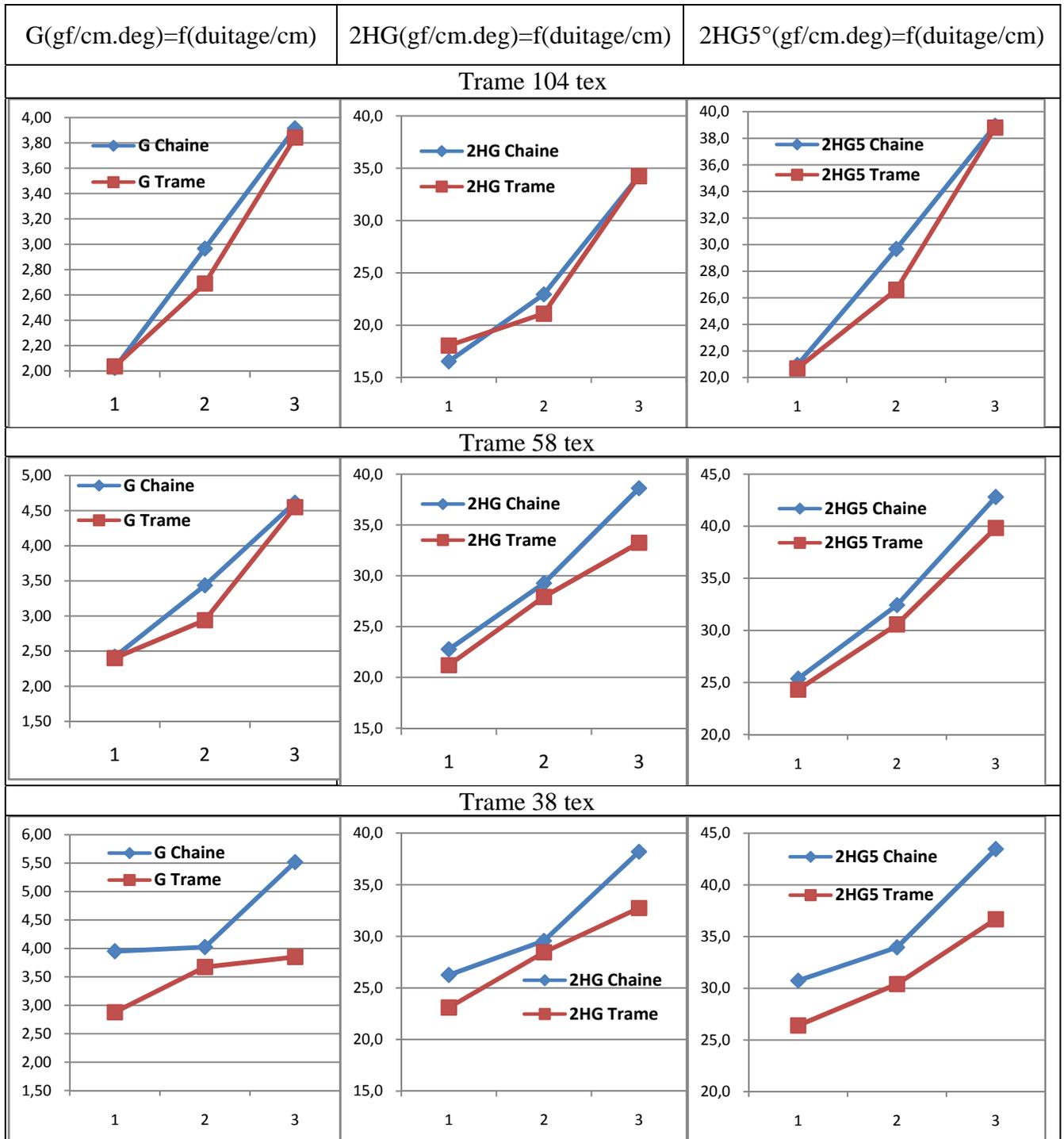
Analyses et interprétations des résultats (Annexe 4):

Tableau 5-16: Graphes : (G, 2HG et 2HG5(gf/cm.deg) / Armure DFS4) = f (duitage)



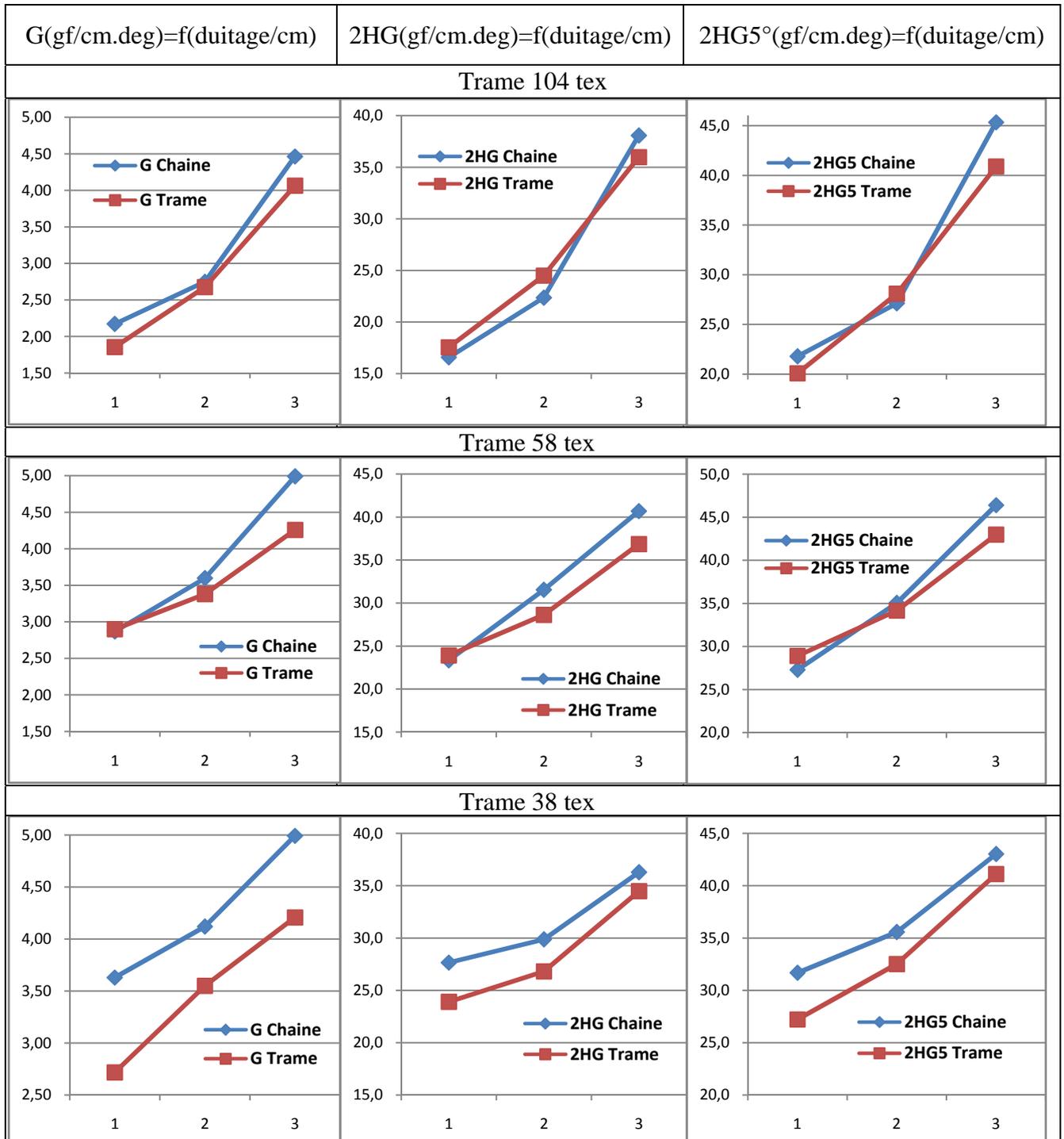
Analyses et interprétations des résultats (Annexe 4):

Tableau 5-17: Graphes : (G, 2HG et 2HG5(gf/cm.deg) / Armure DFR8A) = f (duitage)



Analyses et interprétations des résultats (Annexe 4):

Tableau 5-18: Graphes : (G, 2HG et 2HG5(gf/cm.deg) / Armure DFR8B) = f (duitage)



Analyses et interprétations des résultats (Annexe 4):

### **Rigidité de cisaillement :**

La rigidité au cisaillement permet d'évaluer la résistance de l'étoffe aux faibles mouvements de rotation. La valeur de  $G$  est légèrement supérieure en chaîne qu'en trame ceci est du fait que le compte est supérieur au duitage. Dans notre étude les valeurs de  $G$  sont très élevées, le tissu est très serré (tissu saturé), par conséquent il existe de nombreuses interactions entre les fils de chaîne et les fils de trame lors de la déformation en cisaillement. On remarque aussi que  $G$  augmente lorsque le duitage augmente pour toutes les armures et les fils étudiés.

Pour le DFS4 la valeur de  $G$  est plus importante en comparaison avec le DFS8, le DFR8A et le DFR8B et cela est due à la présence importante des flottés au niveau de DFS8, DFR8A et DFR8B. En effet, un nombre important de flottés implique un nombre faible de points de liage et par conséquent une diminution des interactions entre les fils de chaîne et de trame ce qui explique la faible valeur de  $G$  pour le DFS8, DFR8A et DFR8B. Et pour mieux éclaircir l'effet de la présence des points de liage sur la variation de  $G$  on fera une comparaison entre le DFR8A et le DFR8B.

Le nombre de points de liage présents dans l'armure DFR8A est de 24, et dans l'armure DFR8B de 32, cette augmentation a comme effet l'accroissement de la valeur de  $G$  d'un coefficient de 1,02 à 1,32 ce qui montre que l'accroissement du nombre de points de liage a pour conséquence l'augmentation de la valeur de  $G$ .

### **Hystérésis 2HG et 2HG5**

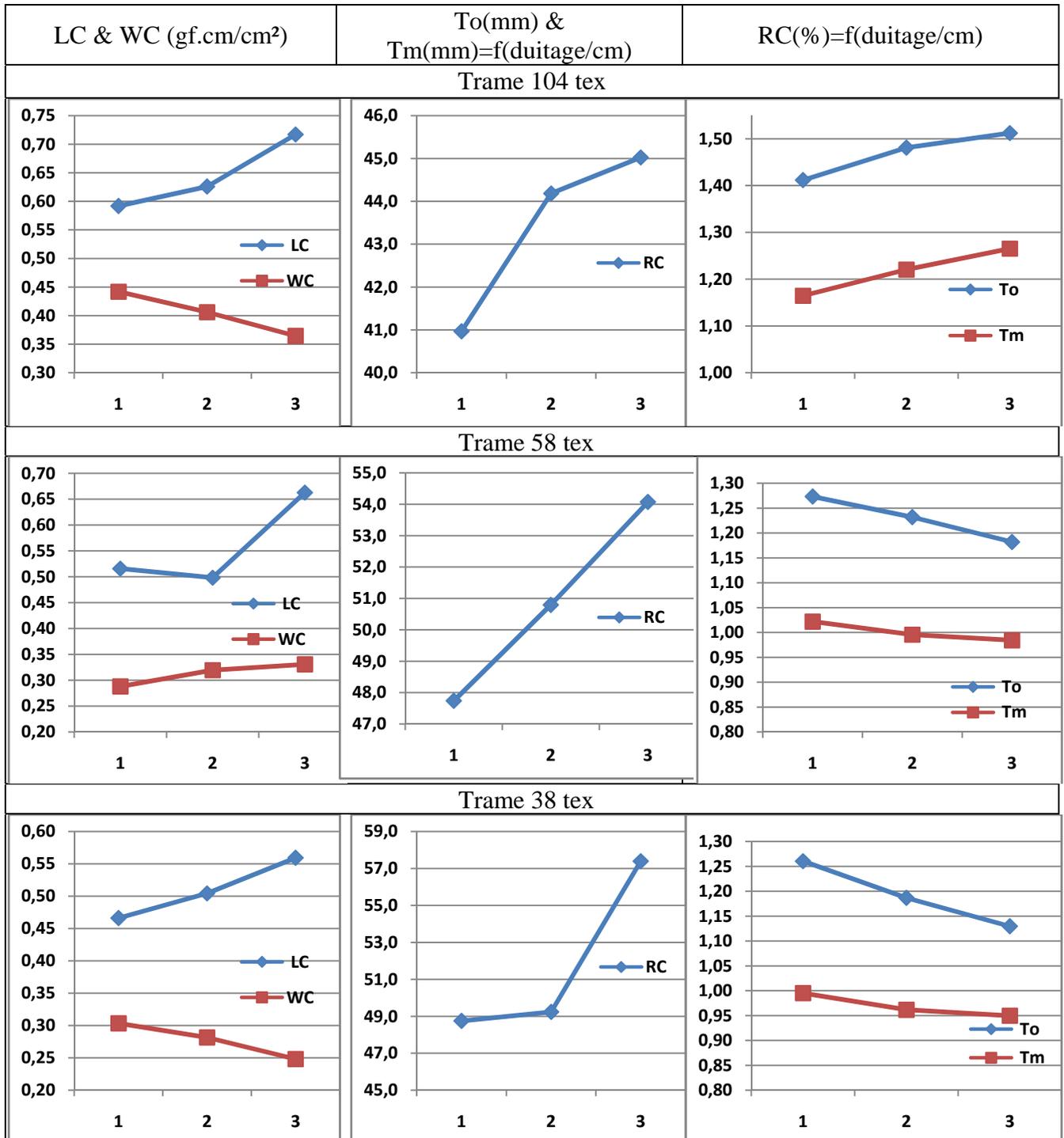
la direction du cisaillement est inversée, on constate un effet d'hystérésis, ceci est due au fait que quand un tissu est cisailé, la majeure partie de la force dépensée est utilisée pour surmonter les forces de friction qui existent à l'intersection de la chaîne et de la trame. Ces forces s'opposent toujours à la force du cisaillement, ce qui explique les valeurs de 2HG et 2HG5. En effet, les valeurs de 2HG et 2HG5 sont plus élevées pour le DFR8B en comparaison avec le DFR8A car les points de liage sont plus importants pour le DFR8B et donc les forces de friction sont plus intéressantes.

Et on remarque encore que la présence des flottés diminue les valeurs de 2HG et 2HG5 si on compare les valeurs trouvées pour le DFS4 et les autres armures.

5.7.2.2.2 Compression « tissus double faces»:

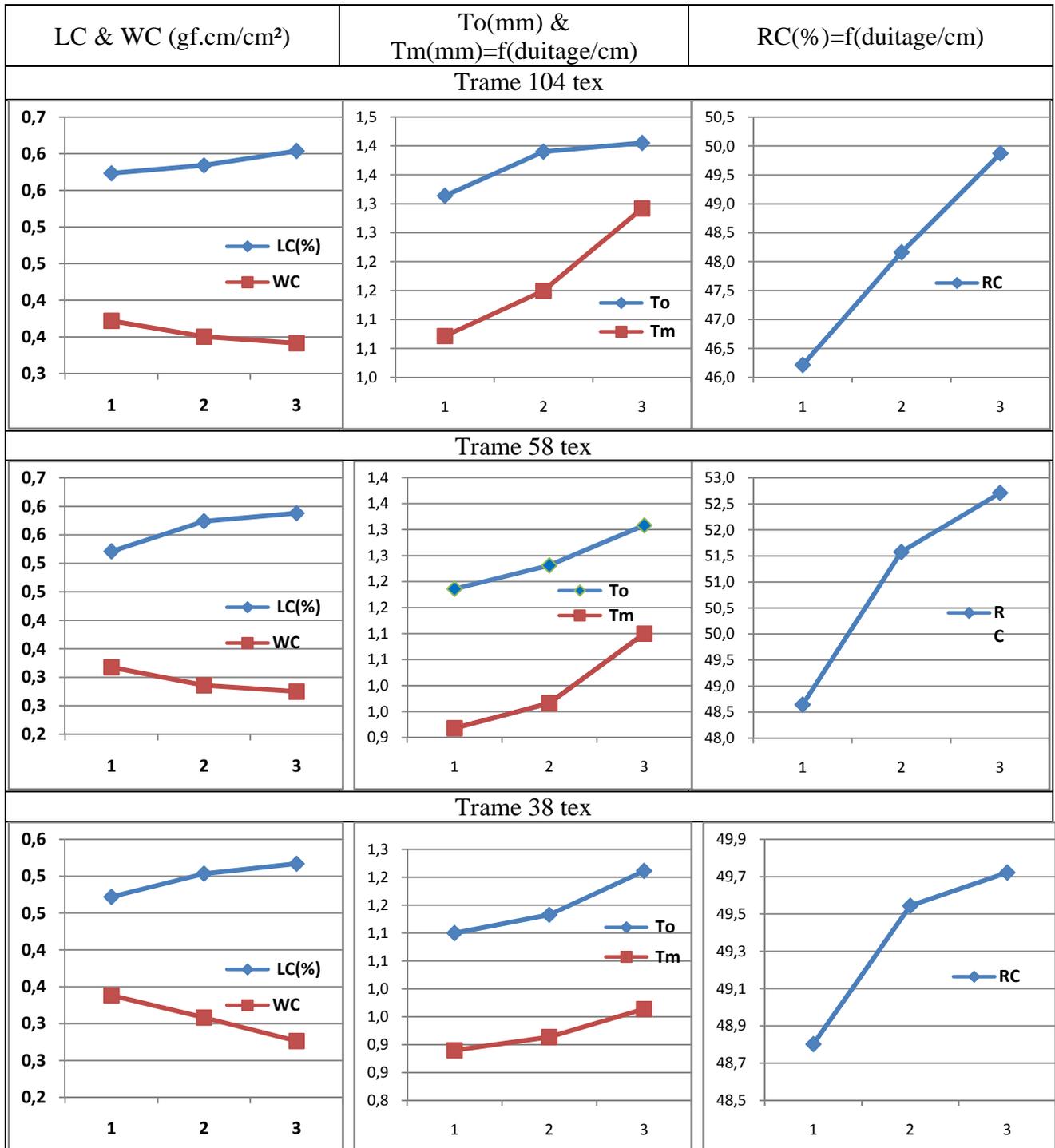
Les graphiques des testes de cisaillement en fonction des duitages normale, moyen et fort sont rassemblées dans les Figures 5.19 à 5.22:

Tableau 5-19: Graphes : (LC & WC , T0 & Tm, RC / Armure DFR8A) = f (duitage)



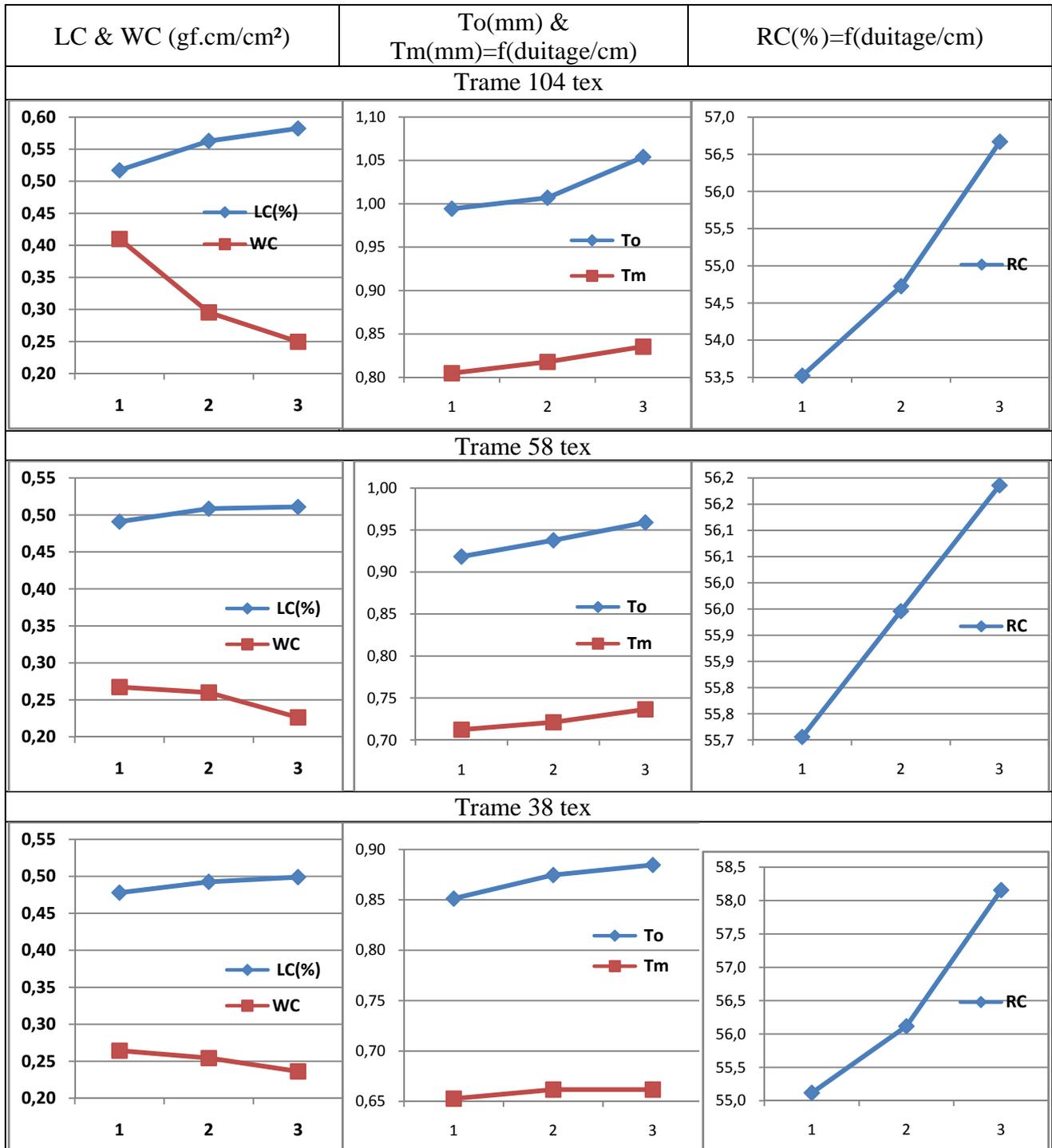
Analyses et interprétations des résultats (Annexe 4):

Tableau 5-20: Graphes : (LC & WC, T0 & Tm, RC / Armure DFR8B) = f (duitage)



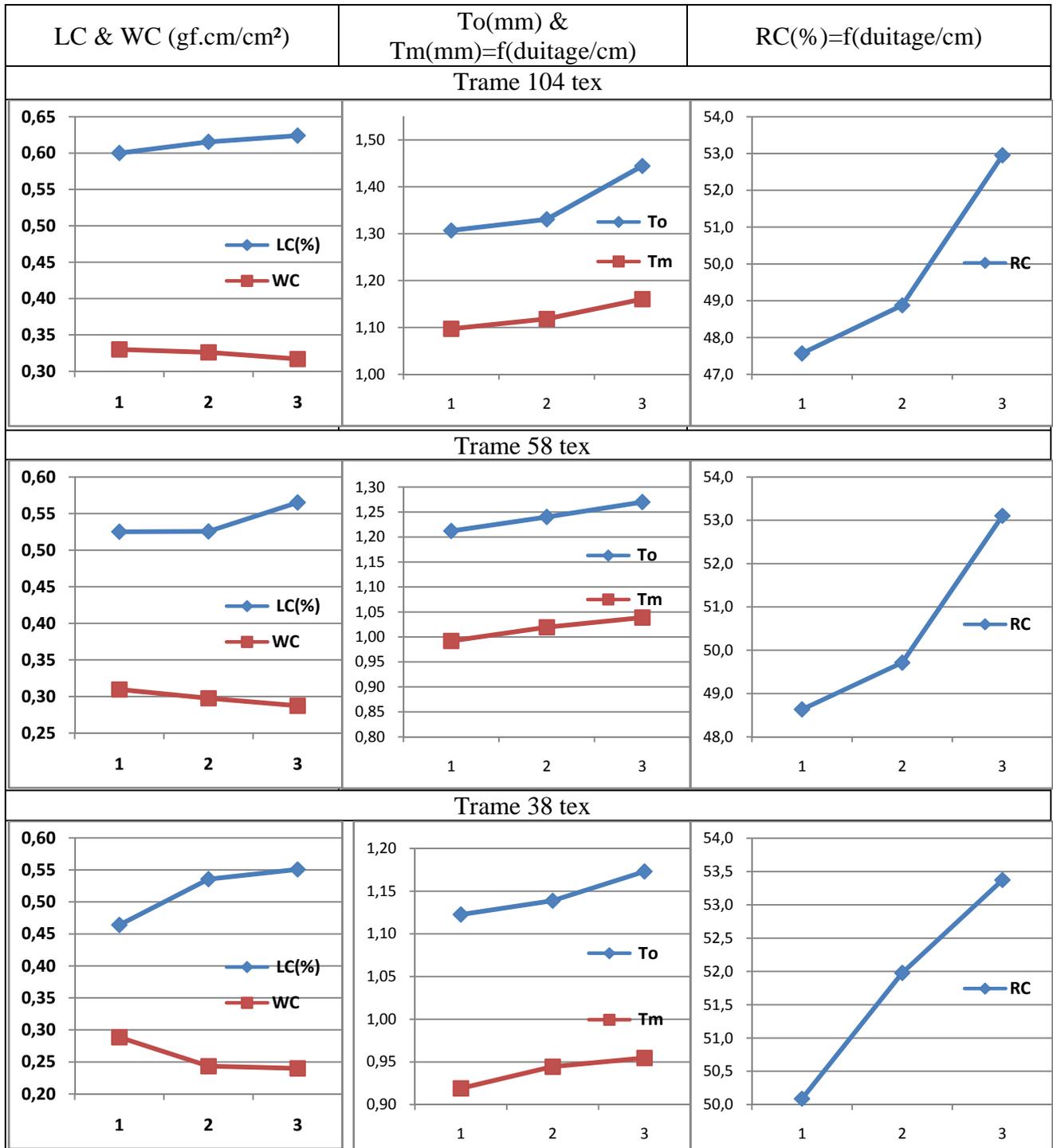
Analyses et interprétations des résultats (Annexe 4):

Tableau 5-21: Graphes : (LC & WC , T0 & Tm, RC / DFS4) = f (duitage)



Analyses et interprétations des résultats (Annexe 4):

Tableau 5-22: Graphes : (LC & WC , T0 & Tm, RC / Armure DFS8) = f (duitage)



Analyses et interprétations des résultats (Annexe 4):

### **La linéarité de compression :**

On remarque que pour tous les tissus testés, la valeur de LC augmente avec l'accroissement du duitage vers la saturation pour la plupart des tests réalisés, ce qui est logique car les tissus sont rigides et lorsqu'on augmente le duitage à la saturation ils deviennent plus rigides et donc la valeur de LC augmente. On remarque qu'en général les valeurs sont différentes mais peu éloignées pour chaque duite. Les valeurs sont un peu élevées pour la duite 104 tex et cela est due à son titre élevé (104 tex).

### **Energie de compression :**

Lors de la déformation de compression, on repère 3 étapes : tout d'abord les différentes fibres dépassant la surface des fils sont comprimées. La résistance à la compression dans cette région est due à la flexion des fibres. Le contact est ensuite fait avec la surface des fils, à ce point le frottement inter-fils et/ou inter-fibres est la source de la résistance à la compression jusqu'à ce que toutes les fibres soient en contact l'une avec l'autre. Pour la 3<sup>ème</sup> étape la résistance est fournie par la compression transversale des fibres eux-mêmes. Donc, dans le processus de compression de l'étoffe, l'espace inter-fibres diminue continuellement. La force nécessaire pour comprimer une étoffe doit dépasser les contraintes internes des fils et les forces de frottement inter-fibres.

Cette analyse explique la diminution de WC en fonction de duitage. En effet, lorsqu'on augmente le duitage vers la saturation les points de liage augmentent et l'espace inter-fils diminue ce qui intensifie les contraintes internes des fils et les forces de frottement, par conséquent la force de compression diminue ce qui fait que le WC diminue.

### **Résilience :**

La résilience s'accroît si le duitage augmente vers la saturation. Les valeurs sont différentes selon les armures. En effet, le DFS4 présente les valeurs les plus élevées par rapport aux trois autres armures et cela est probablement due à la présence des flottés qui ont pour effet de diminuer la résilience. Et pour les valeurs de RC pour le DFS4 elle dépasse le 50% : assez bonne récupération. Pour les autres armures, les valeurs sont légèrement plus élevées pour le DFR8B et cela est probablement dû à la présence de nombre important des points de liage.

**5.7.2.2.3** Synthèse « tissus double faces»:

Pour le cisaillement : la rigidité du cisaillement, 2HG et 2HG5 augmentent lorsque le duitage augmente vers la saturation, ceci est probablement dû au fait que les interactions entre les fils de chaîne et les fils de trame augmentent lors de l'accroissement du duitage.

Pour la compression : l'énergie de compression diminue avec l'augmentation de duitage vers la saturation, ceci est dû au fait que les forces de frottement internes augmentent et donc la force nécessaire pour comprimer le tissu diminue et alors WC diminue. Et pour la linéarité, elle augmente avec le duitage pour toutes les armures, mais la résilience elle augmente de façon différente pour les quatre armures.

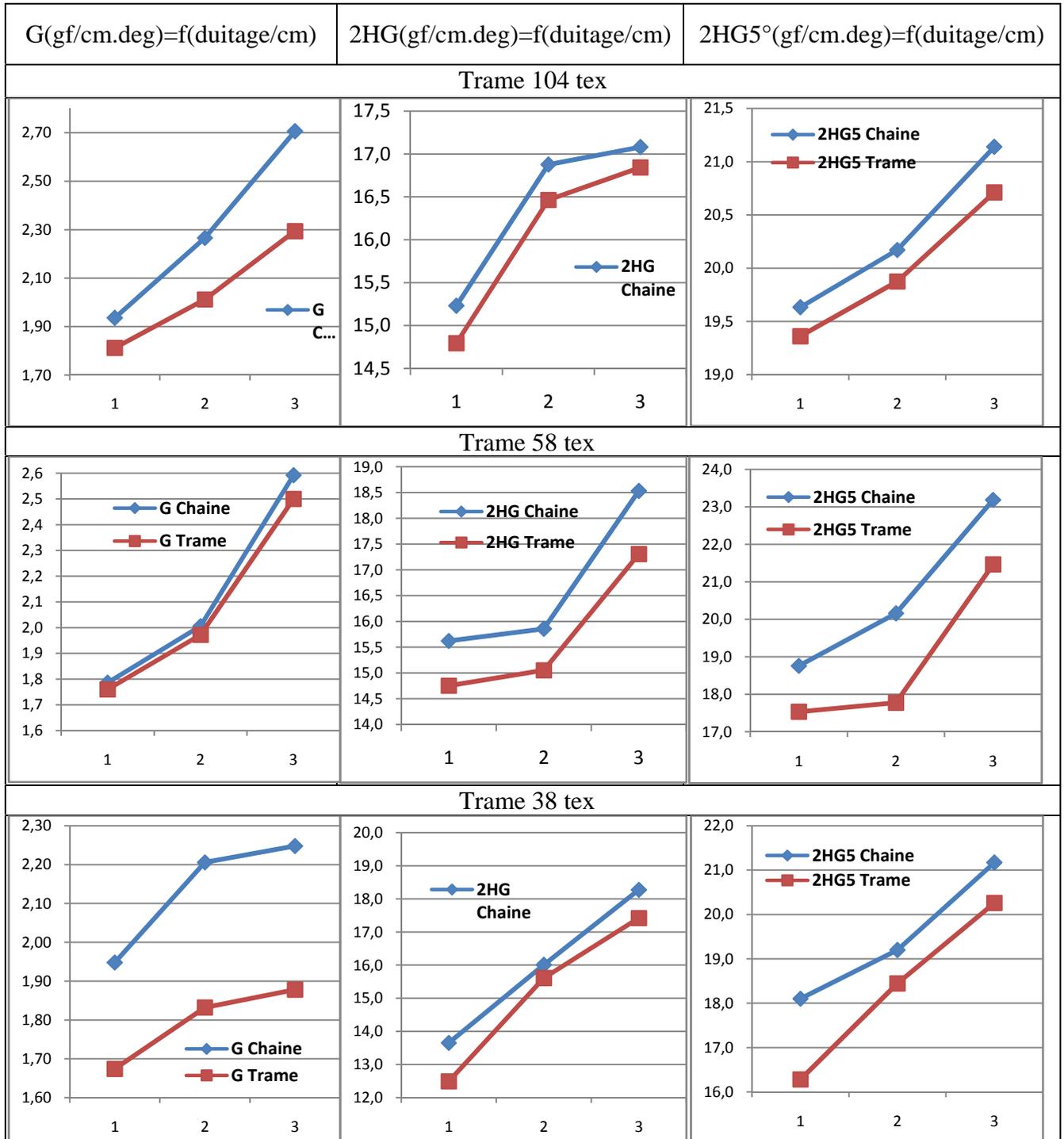
Enfin pour la perméabilité à l'air : elle diminue lorsque le duitage augmente vers la saturation, cela est dû à la diminution des pores dans le tissu. En effet, lorsque le duitage augmente vers la saturation le nombre de points de liage dans le tissu s'élève donc la surface couverte par les fils s'accroît par conséquent l'espace inter-fil diminue, alors l'air ne peut pas passer facilement.

5.7.2.3 Analyses et interprétations des résultats « tissus multiples »

5.7.2.3.1 Cisaillement « tissus multiples »

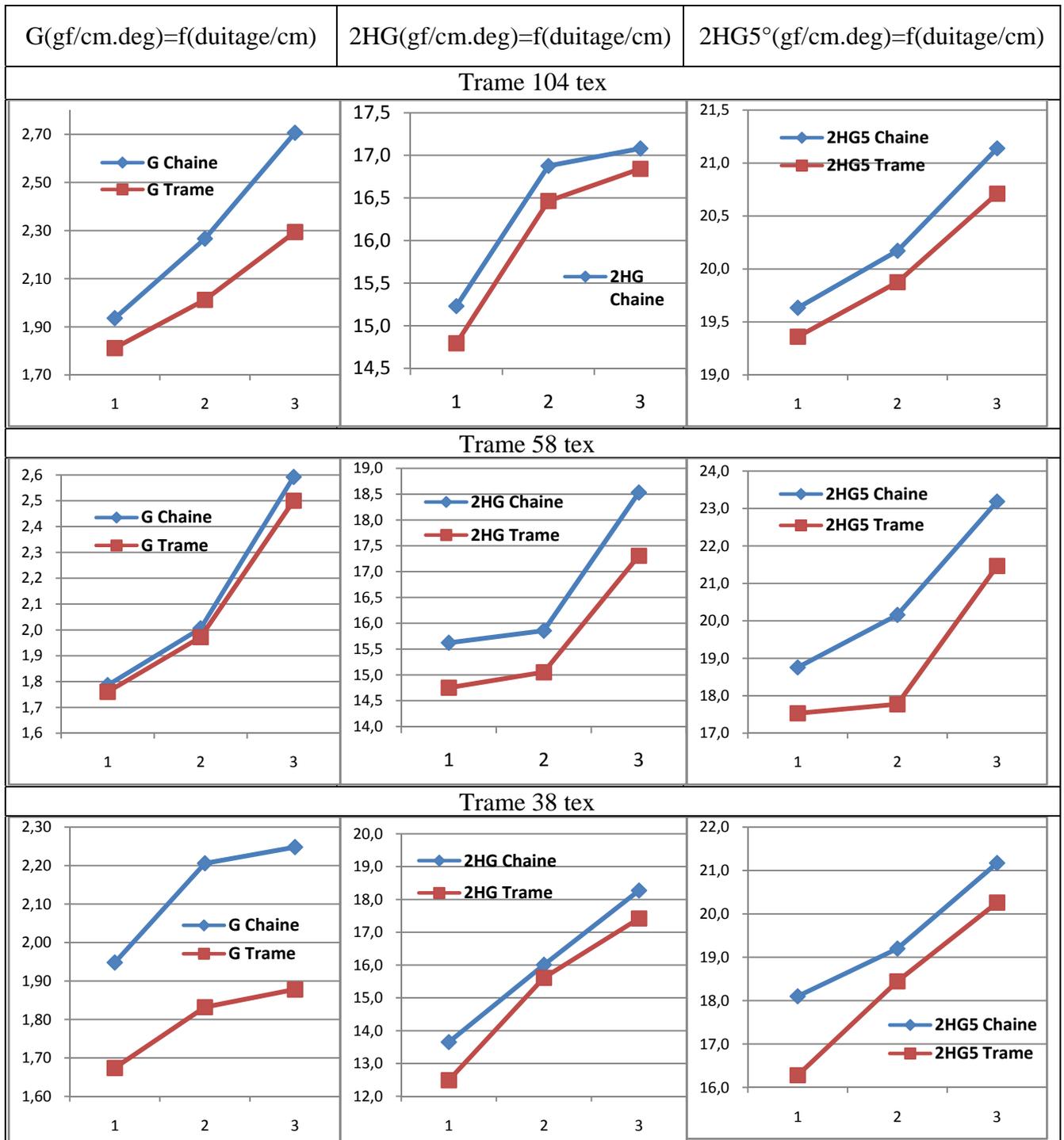
Les graphiques des testes de cisaillement en fonction des duitages normale, moyen et fort sont rassemblées dans les Figures 5.23 à 5.26:

Tableau 5-23: Graphes : (G, 2HG et 2HG5 / Armure TMR2) = f (duitage)



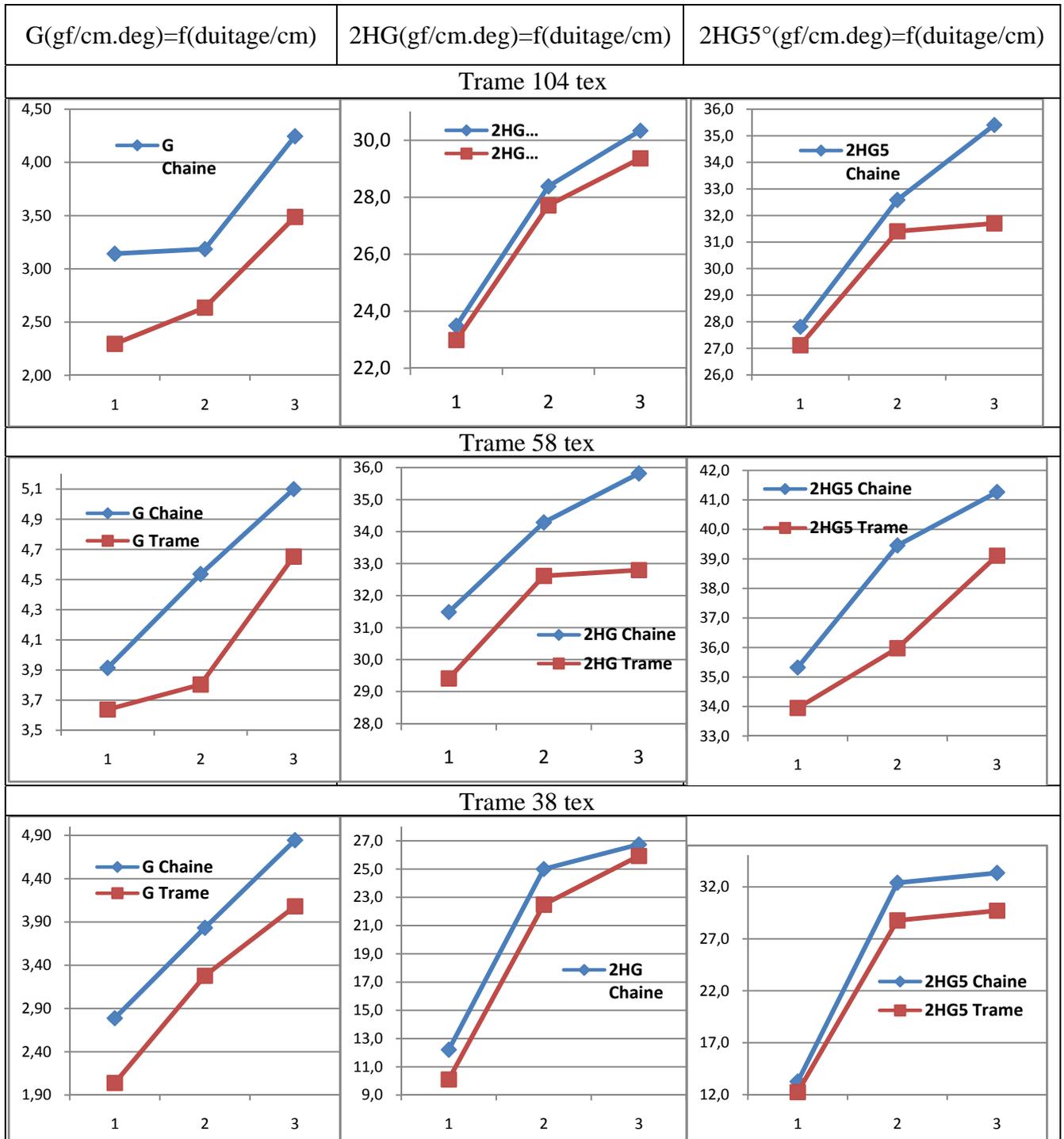
Analyses et interprétations des résultats (Annexe 4):

Tableau 5-24: Graphes : (G, 2HG et 2HG5 / Armure TM2) = f (duitage)



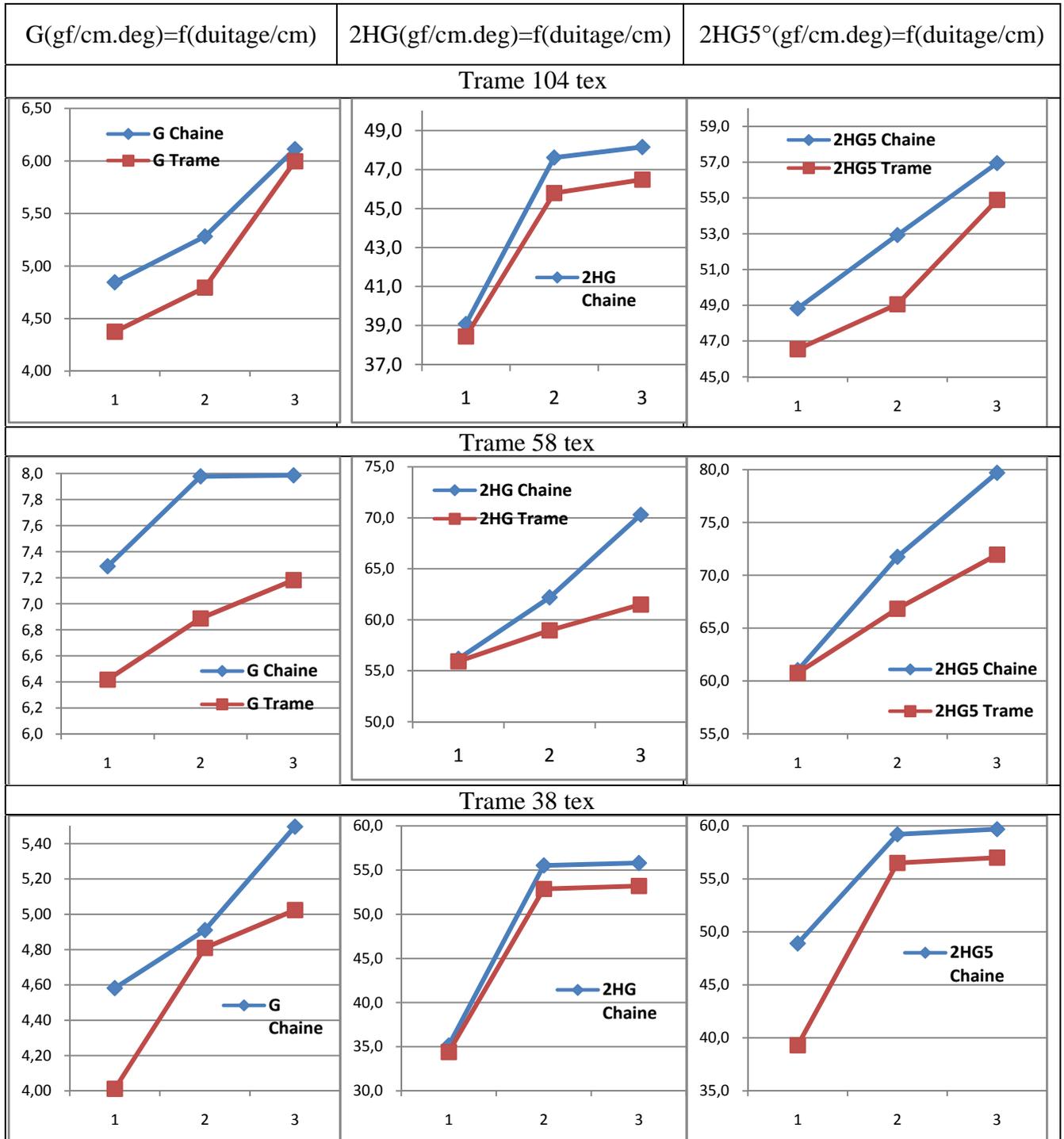
Analyses et interprétations des résultats (Annexe 4):

Tableau 5-25: Graphes : (G, 2HG et 2HG5 / Armure TMR1) = f (duitage)



Analyses et interprétations des résultats (Annexe 4):

Tableau 5-26: Graphes : (G, 2HG et 2HG5 / Armure TM1) = f (duitage)



### **Rigidité de cisaillement :**

D'après les résultats, on remarque que pour toutes les armures les hystérésis de cisaillement sont sensiblement semblables dans les deux sens, de même pour la rigidité de cisaillement  $G$ . L'étude statistique semble être satisfaisante à savoir que nous avons effectué suffisamment d'essais.

**G** : La rigidité en cisaillement permet d'évaluer la résistance de l'étoffe aux faibles mouvements de rotation dans le sens Chaîne et Trame. Les étoffes sont serrées c'est pourquoi les rigidités de cisaillement sont très élevées. Cela signifie aussi qu'il y a beaucoup d'interactions entre les fils de Chaîne et de Trame lors de la déformation en cisaillement.

A la vue des résultats, Nous pouvons conclure que la rigidité devient de plus en plus élevée en augmentant le duitage vers la saturation.

### **Hystérésis 2HG et 2HG5**

**2HG** : L'hystérésis de cisaillement à  $0,5^\circ$  est plutôt semblable dans le sens Chaîne que dans le sens Trame. Nous ne disposons pas de valeurs de référence pour les exploiter davantage, mais celles-ci sont liées au paramètre 2HG5.

Par ailleurs nous pouvons affirmer à travers les courbes, que l'hystérésis de cisaillement à  $0,5^\circ$  est vraisemblablement proportionnelle au duitage.

**2HG5** : L'hystérésis de cisaillement à  $5^\circ$  est très proche dans le sens Chaîne comme dans le sens Trame.

Nous remarquons que ce paramètre a le même comportement, vis-à-vis le duitage, que les deux autres paramètres cités précédemment.

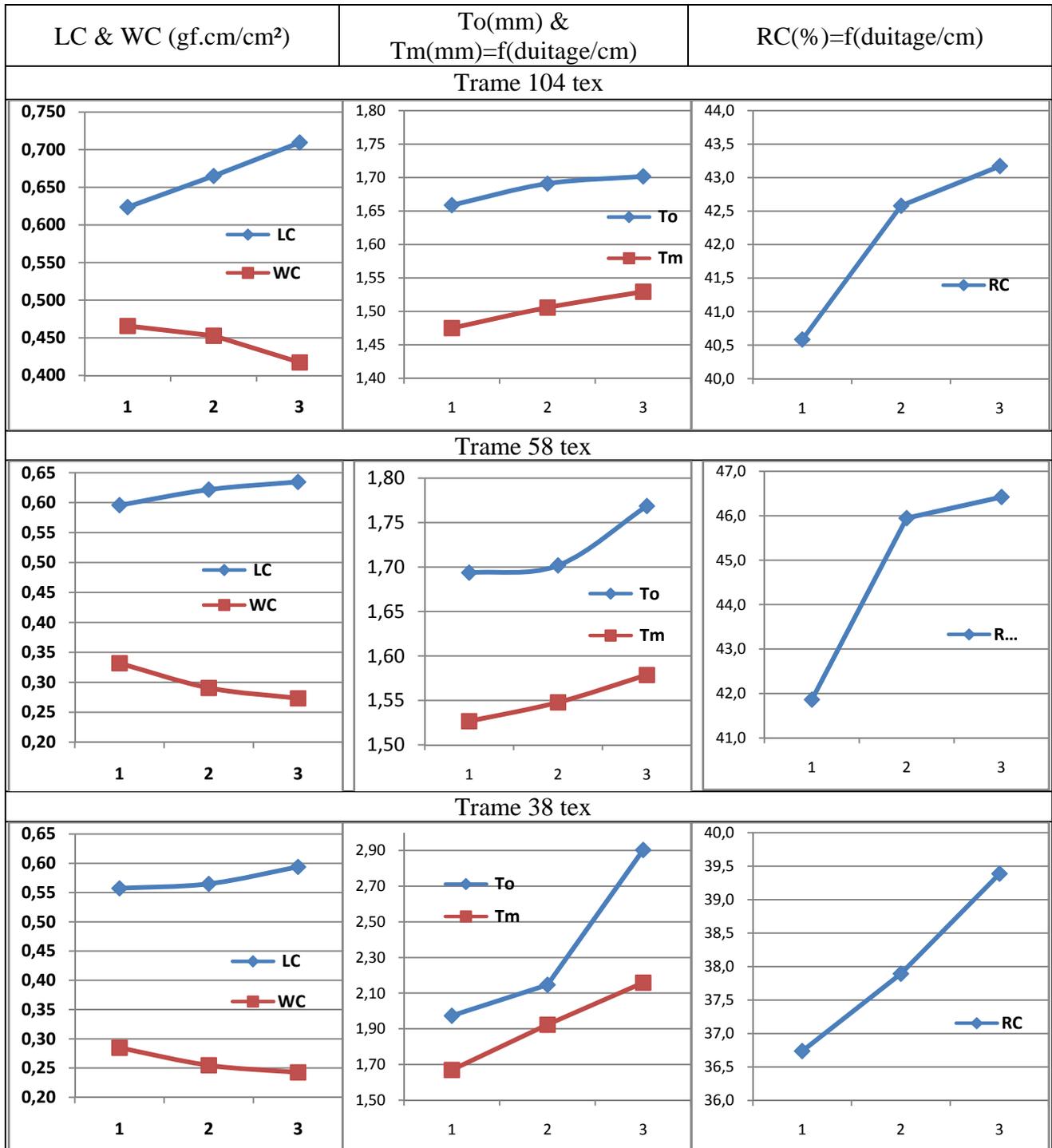
De ce fait, nous concluons que ces trois paramètres mécaniques étudiés sont tous proportionnels au duitage.

Les valeurs très élevées des  $G$  en trame et en chaîne ne sont pas une surprise compte tenu de l'armure serrée et masse surfacique de notre tissu qui est nettement supérieur à ( $400\text{g/m}^2$ ). En effet, les nombreuses interactions entre les fils de chaîne et de trame impliquent une forte résistance à des sollicitations de cisaillement.

5.7.2.3.2 Compression « tissus multiples »

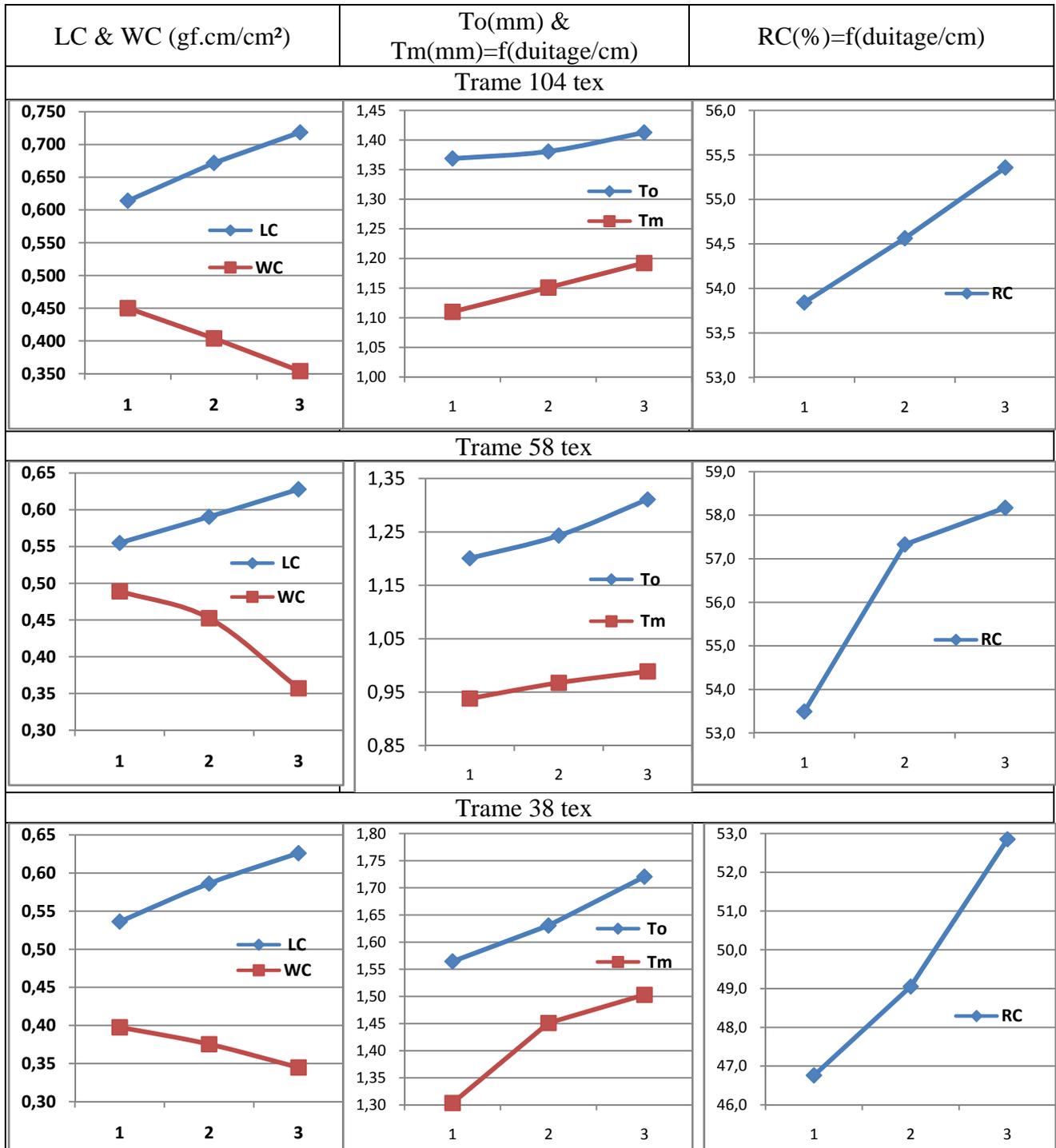
Les graphiques des testes de cisaillement en fonction des duitages normale, moyen et fort sont rassemblées dans les figures 5.27 à 5.30:

Tableau 5-27: Graphes : (LC & WC , T0 & Tm, RC / TMR2) = f (duitage)



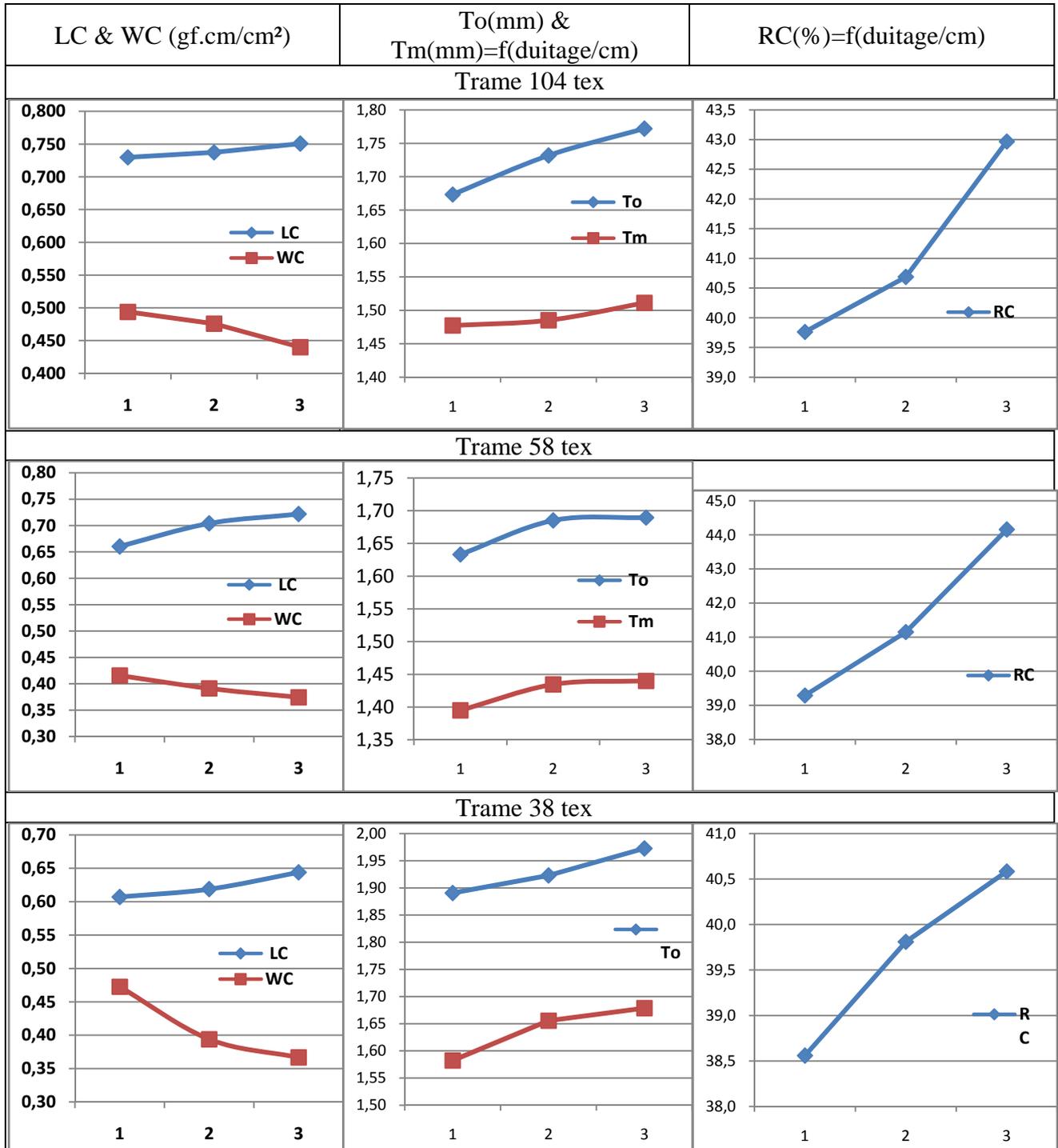
Analyses et interprétations des résultats (Annexe 4):

Tableau 5-28: Graphes : (LC & WC, T0 & Tm, RC / TM2) = f (duitage)



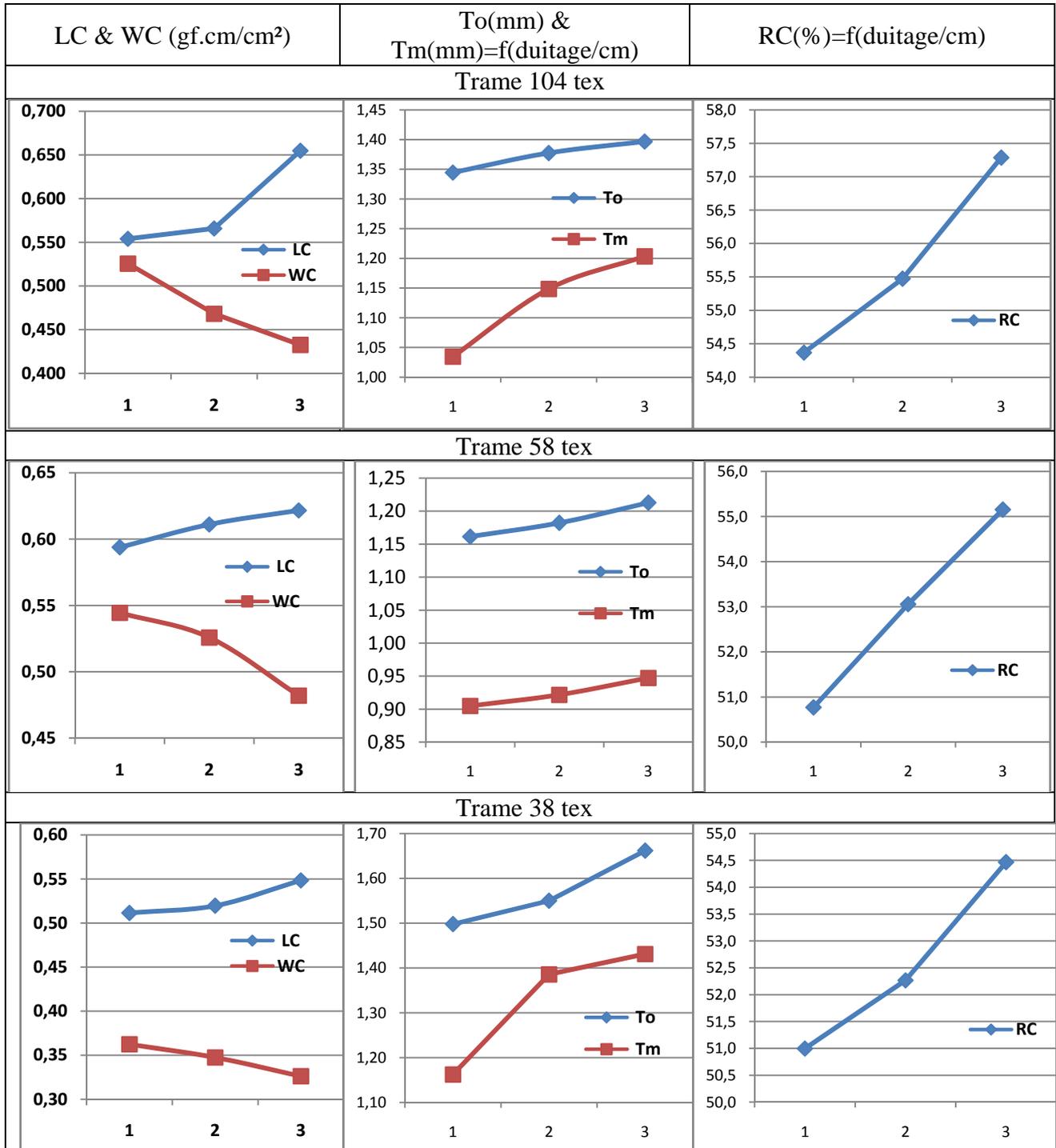
Analyses et interprétations des résultats (Annexe 4):

Tableau 5-29: Graphes : (LC & WC, T0 & Tm, RC / T MR1) = f (duitage)



Analyses et interprétations des résultats (voir annexe 3) :

Tableau 5-30: Graphes : (LC & WC, T0 & Tm, RC / T M1) = f (duitage)



### **Energie de compression :**

L'énergie de compression est l'énergie nécessaire pour déformer jusqu'à un certain point limite. On peut aussi la nommer le travail de compression durant le temps de compression.

Les résultats nous permettent d'affirmer que cette énergie devient de plus en plus importante en élevant le duitage.

### **Linéarité de compression :**

Linéarité de compression, est un nombre sans dimension caractéristique du comportement de l'éprouvette à la compression. Si ce nombre vaut 1 le comportement est linéaire. S'il est inférieur (respectivement supérieur) à 1, le comportement est non linéaire et la courbe de compression est concave (respectivement convexe).

### **Résilience :**

La résilience de compression, donne une mesure du pourcentage de récupération d'énergie lors d'une déformation latérale. Nos étoffes récupèrent entre 50% et 54% d'énergie et ceci pour TM1 et TM2, cependant pour TMR1 et TMR2, elles récupèrent 38% à 44% d'énergie. De ce fait on affirme que la résilience augmente avec la saturation du tissu, à savoir que, plus un tissu est saturé plus sa résilience augmente.

#### **5.7.2.3.3 Synthèse « tissus multiples »**

Pour le cisaillement : la rigidité du cisaillement, 2HG et 2HG5 augmentent lorsque le duitage augmente vers la saturation, ceci est probablement dû au fait que les interactions entre les fils de chaîne et les fils de trame augmentent lors de l'accroissement du duitage.

Pour la compression : l'énergie de compression diminue avec l'augmentation de duitage vers la saturation, ceci est dû au fait que les forces de frottement internes augmentent et donc la force nécessaire pour comprimer le tissu diminue et alors WC diminue. Et pour la linéarité, elle augmente avec le duitage pour toutes les armures, mais la résilience elle augmente de façon différente pour les quatre armures.

Enfin pour la perméabilité à l'air : elle diminue lorsque le duitage augmente vers la saturation, cela est dû à la diminution des pores dans le tissu. En effet, lorsque le duitage augmente vers la saturation le nombre de points de liage dans le tissu s'élève donc la surface couverte par les fils s'accroît par conséquent l'espace inter-fil diminue, alors l'air ne peut pas passer facilement.

# **CHAPITRE 6 : CONCLUSION**

## 6. CONCLUSION ET PERSPECTIVE

### 6.1. Conclusion

Le tissu est réalisé par un entrecroisement, appelé armure [1], de 2 réseaux de fils, un longitudinal et un transversal 2D et de plus de 2 réseaux 3D. Les propriétés de ces tissus seront fonction de la quantité de fil insérable dans l'armure, quantité dont la limite doit être déterminée de façon précise.

Hors, à ce jour, cette limite est très mal connue [2]. Donc, l'utilité principale du calcul des limites de tissabilité est de savoir si un tissu 2D ou 3D est réalisable ou non sur une machine à tisser. Les coefficients de difficulté permettent d'éviter des productions endommageant le matériel et aussi d'apprécier a priori les problèmes de rendement de production des articles proches des limites de tissabilité tel que les tissus techniques.

Il est d'autre part possible de déduire certaines caractéristiques techniques de l'article réalisé. Ces calculs peuvent en effet quantifier le serrage des fils entre eux et permettre de déduire les caractéristiques mécaniques et physiques.

Les raisons motivant ces recherches sont d'une part d'éviter un surcoût de production en essayant de tisser un article, simple ou complexe « 3D », impossible à tisser et d'autre part de diminuer les casses des fils et l'usure des éléments de la machine à tisser à cause d'une surcharge sur le métier à tisser pendant l'opération de tissage.

Après la mise en place d'un plan d'expérience de tissage, l'étude des propriétés mécaniques et physiques d'un nombre représentatifs de tissus 2D et 3D et la modélisation des structures tissées a permis de proposer de nouvelles équations de saturations et de limite de tissabilité en particulier pour le 3D. Par ailleurs, à partir de ces équations, il est possible de prévoir, pour une contexture et une armure donnée en 2D ou 3D, la masse maximale de fil insérable dans le tissu ainsi que la difficulté qui sera rencontrée lors du tissage.

Les relations théoriques nouvelles proposées, indices de saturation numérique et indice de saturation massique ont été confirmées par les résultats expérimentaux et il a été conclu que les équations et abaques qui en découlent sont des outils utiles pour l'industrie de tissage classique et technique.

## 62. Perspective

Le travail, restant à développer, est la modélisation des propriétés mécaniques et physiques des tissus 2D et 3D en fonction des nouvelles équations de saturations et de limite de tissabilité.

### Les modèles géométriques existants sont :

- ✓ Modèle de Peirce [53] [54] : Modélisation des propriétés mécaniques des tissus en fonction de la contexture d'un tissu
- ✓ Modèle de Kawabata [48] [49] [50] [51] [52]: Modélisation pour la traction biaxiale de tissu avec une structure identique à celle de Peirce.
- ✓ Modèle de Grosberg [55] [56] [57] : Introduction, pour la traction et le cisaillement, de la composante linéaire (résistance élastique) et de la composante non linéaire (hystérésis).
- ✓ Modèle d'Abbott [58] : La relation entre les paramètres géométriques du modèle de Peirce et les paramètres de la composante linéaire du modèle de Grosberg.

Et B. Olofson [59] [60] a repris les travaux précédents et développe un nouveau modèle de cisaillement.

### Les modèles géométriques à être développés :

Les modèles Physique et Energétique permettent aussi de caractériser les propriétés mécaniques des tissus à partir du modèle constitué d'un réseau régulier de particules correspondant aux points d'intersections d'un fil de trame avec un fil de chaîne et la structure déformée tend vers un état d'énergie minimale dans lequel les forces et les couples sont en équilibre. Ainsi, dans un tissu, les fils s'organisent afin que l'énergie du système soit minimale en tenant compte des diverses contraintes s'exerçant. Donc dans ce système l'énergie sera décomposée de la manière suivante :

- ✓ Energie d'attraction / répulsion entre deux particules (traction/compression)
- ✓ Energie de résistance au cisaillement
- ✓ Energie de résistance à la flexion
- ✓ Energie due à la gravité

Et selon l'équation suivante :

$$E = \sum_{i=1}^{i=n} \int_0^{l_i} (E_{tc} + E_c + E_f + E_g) dl$$

# **CHAPITRE 7: ANNEXES**

## 7. ANNEXES

Annexe1 : Caractéristiques Tissus

TRAME	ARMURES	REF	Duitage	Laize	Embuvement	Retrait	Epaisseur	Titre Chaine
titre en tex			duites/cm	cm	%	%	mm	dtex
104 tex	TOILE	B5T	5	182	5,0	0,549	1,19	345
104 tex	TOILE	B7T	7	182,5	6,0	0,274	0,96	345
104 tex	TOILE	B9T	9	182	10,0	0,549	0,8	345
104 tex	TOILE	B11T	11	182	12,0	0,549	0,69	345
104 tex	TOILE	B12T	12	182	12,0	0,549	0,69	345
58 tex	TOILE	R9T	9	182	6,0	0,549	0,76	345
58 tex	TOILE	R11T	11	182,5	8,0	0,274	0,72	345
58 tex	TOILE	R15T	15	182	11,0	0,549	0,66	345
58 tex	TOILE	R16T	16	182	11,0	0,549	0,66	345
38 tex	TOILE	T7T	8	180	2,0	1,667	0,91	345
38 tex	TOILE	T13T	13	181	7,0	1,105	0,63	345
38 tex	TOILE	T16T	16	181	9,0	1,105	0,61	345
38 tex	TOILE	T17T	17	182	10,0	0,549	0,6	345
38 tex	TOILE	T18T	18	182	10,0	0,549	0,62	345
104 tex	SERGE4	B11S	11	182	12,0	0,549	1,14	345
104 tex	SERGE4	B14S	14	182	11,0	0,549	0,98	345
104 tex	SERGE4	B15S	15	182	12,0	0,549	0,98	345
104 tex	SERGE4	B17S	17	182	15,0	0,549	0,96	345
58 tex	SERGE4	R20S	20	181	12,0	1,105	0,79	345
58 tex	SERGE4	R21S	21	180,5	13,0	1,385	0,75	345
58 tex	SERGE4	R23S	23	181	14,0	1,105	0,78	345
38 tex	SERGE4	T21S	22	178	5,0	2,809	0,76	345
38 tex	SERGE4	T26S	26	178	5,0	2,809	0,69	345
38 tex	SERGE4	T28S	28	178	7,0	2,809	0,68	345
104 tex	CROISE	B11C	11	182	12,0	0,549	1,14	345
104 tex	CROISE	B14C	14	182	11,0	0,549	0,98	345
104 tex	CROISE	B15C	15	182	12,0	0,549	0,98	345
104 tex	CROISE	B17C	17	182	15,0	0,549	0,96	345
58 tex	CROISE	R20C	20	181	12,0	1,105	0,79	345
58 tex	CROISE	R21C	21	180,5	13,0	1,385	0,75	345
58 tex	CROISE	R23C	23	181	14,0	1,105	0,78	345
38 tex	CROISE	T21C	22	178	5,0	2,809	0,76	345
38 tex	CROISE	T26C	26	178	5,0	2,809	0,69	345
38 tex	CROISE	T28C	28	178	7,0	2,809	0,68	345
104 tex	REPS	B9R	7	181	6,0	1,105	1,18	345
104 tex	REPS	B11R	9	181	3,5	3,473	3,473	345
104 tex	REPS	B13R	12	181	3,5	3,473	3,473	345
58 tex	REPS	R15R	15	182	10,0	0,549	0,76	345
58 tex	REPS	R19R	19	181	12,0	1,105	0,75	345
38 tex	REPS	T14R	14	178	5,0	2,809	0,76	345
38 tex	REPS	T16R	16	178	5,0	2,809	0,69	345
38 tex	REPS	T17R	17	178	7,0	2,809	0,68	345
38 tex	REPS	T1R	18	178	9,0	2,809	0,67	345

TRAME	ARMURES	REF	Duitage	Laize	Embuvaage	Retrait	Epaisseur	Titre Chaine
titre en tex			duites/cm	cm	%	%	mm	dtex
104 tex	DFS4	B16	16	177	9,0	3,390	0,95	345
104 tex	DFS4	B18	18	177	10,0	3,390	0,93	345
104 tex	DFS4	B20	20	177	10,0	3,390	0,92	345
58 tex	DFS4	R20	20	174	5,0	5,172	0,85	345
58 tex	DFS4	R22	22	174	5,0	5,172	0,86	345
58 tex	DFS4	R24	24	174	5,0	5,172	0,82	345
58 tex	DFS4	R26	26	174	7,0	5,172	0,83	345
38 tex	DFS4	T26	26	172	4,0	6,395	0,73	345
38 tex	DFS4	T28	27	171	4,0	7,018	0,75	345
38 tex	DFS4	T29	28	171	4,0	7,018	0,75	345
104 tex	DFS8	B18	18	177	8,0	3,390	1,35	345
104 tex	DFS8	B20	20	177	6,0	3,390	1,31	345
104 tex	DFS8	B22	22	176	9,0	3,977	1,29	345
104 tex	DFS8	B24	24	175	10,0	4,571	1,28	345
58 tex	DFS8	R28	28	171	5,0	7,018	1,17	345
58 tex	DFS8	R30	30	171	8,0	7,018	1,18	345
58 tex	DFS8	R32	32	168	5,0	8,929	1,14	345
38 tex	DFS8	T36	36	167,5	1,0	9,254	1,13	345
38 tex	DFS8	T38	38	167,5	2,0	9,254	1,08	345
38 tex	DFS8	T40	40	167,5	1,0	9,254	1,1	345
38 tex	DFS8	T42	42	167,5	1,0	9,254	1,08	345
104 tex	DFR8A	B17	17	176	10,0	3,977	1,41	345
104 tex	DFR8A	B19	19	176	3,0	3,977	1,45	345
104 tex	DFR8A	B23	23	176	10,0	3,977	1,5	345
58 tex	DFR8A	R25	25	172	8,0	6,395	1,2	345
58 tex	DFR8A	R29	29	172	5,0	6,395	1,17	345
58 tex	DFR8A	R33	33	171	1,0	7,018	1,16	345
38 tex	DFR8A	T33	33	164	3,0	11,585	1,18	345
38 tex	DFR8A	T37	37	163	5,0	12,270	1,13	345
38 tex	DFR8A	T41	41	163,5	4,0	11,927	1,1	345
104 tex	DFR8B	B17	17	176	7,0	3,977	1,42	345
104 tex	DFR8B	B19	19	176	6,0	3,977	1,35	345
104 tex	DFR8B	B23	23	174	7,0	5,172	1,29	345
58 tex	DFR8B	R25	25	172	3,0	6,395	1,16	345
58 tex	DFR8B	R29	29	171	5,0	7,018	1,16	345
58 tex	DFR8B	R33	33	171	7,0	7,018	1,17	345
38 tex	DFR8B	T33	33	172	2,0	6,395	1,13	345
38 tex	DFR8B	T37	37	172	3,0	6,395	1,08	345
38 tex	DFR8B	T41	41	169	3,0	8,284	1,09	345

TRAME	ARMURES	REF	Duitage	Laize	Embuvement	Retrait	Epaisseur	Titre Chaine
titre en tex			duites/cm	cm	%	%	mm	dtex
104 tex	TM1R	B23	23	172,5	6,0	6,087	1,98	345
104 tex	TM1R	B25	25	172,5	7,0	6,087	1,92	345
104 tex	TM1R	B27	27	174	8,0	5,172	1,91	345
58 tex	TM1R	R35	35	171,5	5,0	6,706	1,75	345
58 tex	TM1R	R37	37	172	6,0	6,395	1,74	345
58 tex	TM1R	R39	39	173	7,0	5,780	1,71	345
38 tex	TM1R	T48	48	172	4,0	6,395	1,68	345
38 tex	TM1R	T50	50	172	5,0	6,395	1,67	345
38 tex	TM1R	T52	52	172	6,0	6,395	1,62	345
104 tex	TM2R	B23	23	167	0,0	9,581	1,75	345
104 tex	TM2R	B25	25	167	1,0	9,581	1,82	345
104 tex	TM2R	B27	27	167	0,0	9,581	1,92	345
58 tex	TM2R	R35	35	166	0,0	10,241	1,69	345
58 tex	TM2R	R37	37	166	0,0	10,241	1,72	345
58 tex	TM2R	R39	39	166	0,0	10,241	1,77	345
38 tex	TM2R	T48	48	164	2,0	11,585	1,75	345
38 tex	TM2R	T50	50	164	3,0	11,585	1,76	345
38 tex	TM2R	T52	52	164	3,0	11,585	1,8	345
104 tex	TM1	B23	23	179	8,0	2,235	1,39	345
104 tex	TM1	B25	25	179	10,0	2,235	1,38	345
104 tex	TM1	B27	27	179	5,0	2,235	1,33	345
58 tex	TM1	R31	31	177	8,0	3,390	1,15	345
58 tex	TM1	R33	33	177	9,0	3,390	1,19	345
58 tex	TM1	R35	35	177	9,0	3,390	1,21	345
38 tex	TM1	T42	42	177	8,0	3,390	1,02	345
38 tex	TM1	T44	44	177	9,0	3,390	1,03	345
38 tex	TM1	T46	46	177	11,0	3,390	1	345
104 tex	TM2	B23	23	180	10,0	1,667	1,55	345
104 tex	TM2	B25	25	180	10,0	1,667	1,55	345
104 tex	TM2	B27	27	180	13,0	1,667	1,47	345
58 tex	TM2	R31	31	178	8,0	2,809	1,26	345
58 tex	TM2	R33	33	178	9,0	2,809	1,29	345
58 tex	TM2	R35	35	178	10,0	2,809	1,3	345
38 tex	TM2	T44	44	177	10,0	3,390	1,12	345
38 tex	TM2	T46	46	177	11,0	3,390	1,13	345
38 tex	TM2	T48	48	177	13,0	3,390	1,04	345









Trame PET	M.Lance			DF-CH			Trame coton												
	13	300	33	13	300	33	13	300	33	42	42	38	34	30	26	22	18	14	10
Compte Chaîne	13	300	33	13	300	33	13	300	33	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
Tire Chaîne en dernier	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
Tire Chaîne en Tex	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
Diamètre Chaîne en cm	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018
Matière Chaîne	PET	PET	PET	PET	PET	PET	PET	PET	PET	PET	PET	PET	PET	PET	PET	PET	PET	PET	PET
Densité Matière Chaîne	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
Compte Trame	180.0	450.0	420.0	114.0	108.0	96.0	80.0	86.0	76.0	66.0	140.0	120.0	96.0	86.0	80.0	70.0	64.0	60.0	52.0
Tire Trame en dernier	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	214	214	237	265	300	346	409	500	643
Tire Trame en Tex	17	22	28	33	39	44	50	56	61	67	19	28	37	46	55	64	73	82	91
Diamètre Trame en cm	0.013	0.014	0.016	0.016	0.019	0.020	0.022	0.023	0.024	0.025	0.013	0.016	0.018	0.020	0.022	0.023	0.025	0.027	0.028
Matière Trame	PET	PET	PET	PET	PET	PET	PET	PET	PET	PET	PET	PET	PET	PET	PET	PET	PET	PET	PET
Densité Matière Trame	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51	1.51
Amure	toile	toile	toile	toile	toile	toile	toile	toile	toile	toile	toile	toile	toile	toile	toile	toile	toile	toile	toile
Rapport chaîne/couche	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Rapport trame/couche	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
n.chg. Face Chaîne/couche	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
n.chg. Face Trame/couche	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Indice Chaîne en %	31.13	32.39	33.50	34.50	35.42	36.28	37.09	37.85	38.57	39.27	31.30	33.08	34.58	35.92	37.12	38.24	39.27	40.24	41.17
Indice Trame en %	225.20	216.69	193.82	201.70	206.40	196.13	173.36	196.44	182.07	165.14	189.00	217.03	213.84	191.75	188.85	187.50	175.22	169.79	167.88
Indice d'Ensemble en %	70.11	70.19	64.93	69.59	73.11	71.16	64.29	74.35	70.23	64.64	59.16	71.79	73.96	68.51	69.37	71.69	68.81	68.33	69.03
Cir max (e=100%)	256.74	213.71	184.82	163.82	147.72	134.91	124.43	115.67	108.22	101.78	250.18	195.02	162.26	140.12	123.98	111.59	101.73	93.66	86.92
Cir max (e=64%)	164.31	136.77	116.29	104.84	94.54	86.34	79.64	74.03	69.26	65.14	160.11	124.81	103.85	89.68	79.35	71.42	65.11	59.94	55.63
Cir max (e=70%)	179.72	148.59	129.37	114.67	103.40	94.44	87.10	80.97	75.75	71.25	175.12	136.51	113.58	98.09	88.79	78.11	71.21	65.56	60.84
Cir max (e=74%)	189.99	158.14	136.77	121.23	109.31	99.84	92.08	85.60	80.08	75.32	185.13	144.31	120.07	103.69	91.75	82.58	75.28	69.31	64.32
Indice Chaîne en %	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00
Indice Trame en %	384.43	349.39	298.98	302.55	301.94	281.06	244.13	272.52	249.30	223.53	319.92	340.88	320.00	275.68	262.93	258.27	237.14	226.40	220.76
Indice d'Ensemble en %	88.42	80.36	69.00	69.59	69.45	64.65	56.15	62.88	57.34	51.41	73.59	78.41	73.60	63.41	60.48	59.40	54.54	52.07	50.78
Cir max (e=100%)	203.57	186.65	173.92	163.82	155.51	148.50	142.47	137.20	132.54	128.37	201.13	178.56	163.04	151.40	142.20	134.67	128.33	122.90	118.16
Cir max (e=64%)	130.28	119.46	111.31	104.84	99.53	95.04	91.18	87.81	84.82	82.16	128.72	114.28	104.34	96.90	91.01	86.19	82.13	78.66	75.62
Cir max (e=70%)	142.50	130.66	121.74	114.67	108.86	103.95	99.73	96.04	92.78	89.86	140.79	124.99	114.13	105.98	99.54	94.27	89.83	86.03	82.71
Cir max (e=74%)	150.64	138.12	128.70	121.23	115.08	109.89	105.43	101.53	98.08	94.99	148.83	132.13	120.65	112.04	105.23	99.66	94.97	90.95	87.44
Indice Chaîne en %	31.13	32.39	33.50	34.50	35.42	36.28	37.09	37.85	38.57	39.27	31.30	33.08	34.58	35.92	37.12	38.24	39.27	40.24	41.17
Indice Trame en %	384.43	349.39	298.98	302.55	301.94	281.06	244.13	272.52	249.30	223.53	319.92	340.88	320.00	275.68	262.93	258.27	237.14	226.40	220.76
Indice d'Ensemble en %	119.69	113.17	100.49	104.38	106.95	101.97	90.54	103.14	96.16	87.77	100.14	112.75	110.67	99.01	97.61	98.75	93.13	91.12	90.88
Cir max (e=100%)	150.39	132.54	119.41	109.21	100.98	94.15	88.36	83.38	79.03	75.20	147.79	124.16	108.43	96.96	88.11	81.01	75.17	70.24	66.02
Cir max (e=64%)	96.25	84.83	76.43	69.90	64.63	60.25	56.55	53.36	50.58	48.13	94.59	79.46	69.40	62.05	56.39	51.85	48.11	44.95	42.25
Cir max (e=70%)	105.28	92.78	83.59	76.45	70.68	65.90	61.85	58.37	55.32	52.64	103.45	86.91	75.90	67.87	61.67	56.71	52.62	49.17	46.22
Cir max (e=74%)	111.29	98.08	86.37	80.82	74.72	69.67	65.39	61.70	58.48	55.65	109.37	91.88	80.24	71.75	65.20	59.95	55.62	51.98	48.86

NM	Trame PET				DF-CH				M-Projetile				Trame PET				Trame coton				10			
	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12		12	12	12
25	Compte Chaîne	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360
	Tire Chaîne en dernier	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360
	Tire Chaîne en Tex	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
	Diamètre Chaîne en cm	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019
	Matière Chaîne	PET	PET	PET	PET	PET	PET	PET	PET	PET	PET	PET	PET	PET	PET	PET	PET							
	Densité Matière Chaîne	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
	Compte Trame	168.0	150.0	138.0	116.0	98.0	84.0	72.0	74.0	74.0	74.0	74.0	74.0	74.0	74.0	74.0	74.0	74.0	74.0	74.0	74.0	74.0	74.0	74.0
	Tire Trame en dernier	150	200	250	300	350	400	450	500	550	550	550	550	550	550	550	550	550	550	550	550	550	550	550
	Tire Trame en Tex	17	22	28	33	39	44	50	56	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61
	Diamètre Trame en cm	0.013	0.014	0.016	0.018	0.020	0.022	0.023	0.024	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
	Matière Trame	PET	PET	PET	PET	PET	PET	PET	PET	PET	PET	PET	PET	PET	PET	PET	PET							
	Densité Matière Trame	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
	Amure/couche	toile	toile	toile	toile	toile	toile	toile	toile	toile	toile	toile	toile	toile	toile	toile	toile							
	Rapport chaîne/couche	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Rapport trame/couche	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
n. chg. Face Chaîne/couche	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
n. chg. Face Trame/couche	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Indice Chaîne en %	30.76	31.93	32.95	33.87	34.72	35.52	36.26	36.96	37.63	38.27	38.97	39.63	40.26	40.86	41.43	42.00	42.55	43.09	43.62	44.14	44.65	45.15	45.64	
Indice Trame en %	210.18	216.69	222.89	228.74	234.24	239.48	244.46	249.18	253.64	257.86	261.84	265.58	269.09	272.37	275.43	278.26	280.86	283.23	285.37	287.28	288.96	290.42	291.66	
Indice d'Ensemble en %	64.66	69.18	73.44	77.44	81.24	84.86	88.30	91.56	94.65	97.58	100.35	102.97	105.45	107.80	110.02	112.11	114.08	115.93	117.66	119.28	120.79	122.19	123.48	
Ch-Indice	259.81	216.82	187.91	166.85	150.69	137.82	127.27	118.44	110.92	104.43	98.88	94.26	90.48	87.46	85.11	83.41	82.32	81.81	81.85	82.43	83.60	85.35	87.66	
Ch max le=100%	166.28	138.77	120.26	106.79	96.44	88.20	81.45	75.80	70.99	66.83	63.21	60.08	57.40	55.14	53.81	53.39	53.84	54.14	54.28	54.36	54.41	54.44	54.46	
Ch max le=64%	181.87	151.77	131.54	116.80	105.48	96.47	89.09	82.91	77.65	73.10	69.14	65.74	62.84	60.39	58.44	56.95	55.90	55.27	54.94	54.78	54.76	54.78	54.80	
Ch max le=74%	192.26	160.45	139.05	123.47	111.51	101.98	94.18	87.65	82.08	77.28	73.11	69.54	66.51	63.98	61.91	60.27	59.03	58.17	57.64	57.31	57.14	57.11	57.11	
Indice Chaîne en %	23.26	23.26	23.26	23.26	23.26	23.26	23.26	23.26	23.26	23.26	23.26	23.26	23.26	23.26	23.26	23.26	23.26	23.26	23.26	23.26	23.26	23.26	23.26	
Indice Trame en %	372.99	362.06	356.62	317.65	282.26	289.16	294.79	273.27	242.26	256.87	268.87	280.87	292.87	304.87	316.87	328.87	340.87	352.87	364.87	376.87	388.87	400.87	412.87	
Indice d'Ensemble en %	86.75	84.21	82.94	73.88	65.65	67.25	68.56	63.56	56.35	59.74	63.13	66.52	69.91	73.30	76.69	80.08	83.47	86.86	90.25	93.64	97.03	100.42	103.81	
Ch-Indice	193.66	178.13	166.38	157.01	149.28	142.74	137.10	132.16	127.78	123.86	120.32	117.14	114.26	111.58	109.10	106.81	104.71	102.79	101.04	99.46	98.03	96.74	95.58	
Ch max le=100%	123.94	114.00	106.48	100.49	95.54	91.36	87.75	84.58	81.78	79.27	77.01	75.86	75.71	75.56	75.41	75.26	75.11	74.96	74.81	74.66	74.51	74.36	74.21	
Ch max le=64%	135.56	124.69	116.46	109.91	104.50	99.92	95.97	92.51	89.45	86.70	84.14	81.68	79.31	77.04	74.87	72.79	70.71	68.63	66.55	64.47	62.39	60.31	58.23	
Ch max le=74%	143.31	131.82	123.12	116.19	110.47	105.63	101.46	97.80	94.56	91.66	89.09	86.72	84.45	82.28	80.20	78.21	76.31	74.50	72.78	71.15	69.61	68.16	66.80	
Indice Chaîne en %	30.76	31.93	32.95	33.87	34.72	35.52	36.26	36.96	37.63	38.27	38.97	39.63	40.26	40.86	41.43	42.00	42.55	43.09	43.62	44.14	44.65	45.15	45.64	
Indice Trame en %	372.99	362.06	356.62	317.65	282.26	289.16	294.79	273.27	242.26	256.87	268.87	280.87	292.87	304.87	316.87	328.87	340.87	352.87	364.87	376.87	388.87	400.87	412.87	
Indice d'Ensemble en %	114.75	115.59	117.50	107.60	98.01	102.70	106.89	101.01	91.17	98.31	106.45	114.59	122.73	130.87	139.01	147.15	155.29	163.43	171.57	179.71	187.85	195.99	204.13	
Ch-Indice	146.41	129.77	117.44	107.81	99.99	93.48	87.94	83.16	78.98	75.27	71.96	69.04	66.50	64.24	62.16	60.26	58.53	56.96	55.54	54.26	53.02	51.83	50.68	
Ch max le=100%	93.70	83.05	75.16	69.00	63.99	59.83	56.28	53.22	50.54	48.17	46.00	44.01	42.11	40.30	38.58	36.95	35.41	33.95	32.56	31.24	29.97	28.74	27.56	
Ch max le=64%	102.48	90.84	82.21	75.46	69.99	65.43	61.56	58.21	55.28	52.69	50.34	48.11	46.00	44.01	42.11	40.30	38.58	36.95	35.41	33.95	32.56	31.24	29.97	
Ch max le=74%	108.34	96.03	86.91	79.78	73.99	69.17	65.08	61.54	58.44	55.70	53.21	50.84	48.58	46.43	44.38	42.43	40.58	38.83	37.17	35.60	34.12	32.71	31.36	
Bo-Indice	193.66	178.13	166.38	157.01	149.28	142.74	137.10	132.16	127.78	123.86	120.32	117.14	114.26	111.58	109.10	106.81	104.71	102.79	101.04	99.46	98.03	96.74	95.58	
Bo max le=100%	123.94	114.00	106.48	100.49	95.54	91.36	87.75	84.58	81.78	79.27	77.01	75.86	75.71	75.56	75.41	75.26	75.11	74.96	74.81	74.66	74.51	74.36	74.21	
Bo max le=64%	135.56	124.69	116.46	109.91	104.50	99.92	95.97	92.51	89.45	86.70	84.14	81.68	79.31	77.04	74.87	72.79	70.71	68.63	66.55	64.47	62.39	60.31	58.23	
Bo max le=74%	143.31	131.82	123.12	116.19	110.47	105.63	101.46	97.80	94.56	91.66	89.09	86.72	84.45	82.28	80.20	78.21	76.31	74.50	72.78	71.15	69.61	68.16	66.80	
Indice Chaîne en %	30.76	31.93	32.95	33.87	34.72	35.52	36.26	36.96	37.63	38.27	38.97	39.63	40.26	40.86	41.43	42.00	42.55	43.09	43.62	44.14	44.65	45.15	45.64	
Indice Trame en %	372.99	362.06	356.62	317.65	282.26	289.16	294.79	273.27	242.26	256.87	268.87	280.87	292.87	304.87	316.87	328.87	340.87	352.87	364.87	376.87	388.87	400.87	412.87	
Indice d'Ensemble en %	114.75	115.59	117.50	107.60	98.01	102.70	106.89	101.01	91.17	98.31	106.45	114.59	122.73	130.87	139.01	147.15	155.29	163.43	171.57	179.71	187.85	195.99	204.13	
Bo-Indice	146.41	129.77	117.44	107.81	99.99	93.48	87.94	83.16	78.98	75.27	71.96	69.04	66.50	64.24	62.16	60.26	58.53	56.96	55.54	54.26	53.02	51.83	50.68	
Bo max le=100%	93.70	83.05	75.16	69.00	63.99	59.83	56.28	53.22	50.54	48.17	46.00	44.01	42.11	40.30	38.58	36.95	35.41	33.95	32.56	31.24	29.97	28.74	27.56	
Bo max le=64%	102.48	90.84	82.21	75.46	69.99	65.43	61.56	58.21	55.28	52.69	50.34	48.11	46.00	44.01	42.11	40.30	38.58	36.95	35.41	33.95	32.56	31.24	29.97	
Bo max le=74%	108.34	96.03	86.91	79.78	73.99	69.17	65.08	61.54	58.44	55.70	53.21	50.84	48.58	46.43	44.38	42.43	40.58	38.83	37.17	35.60	34.12	32.71	31.36	

Annexe3 : Indices de saturation massique

Machine à Projectiles PET/ Tissu Simple

Titre Trame en denier	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900
Masse Réelle g/m <sup>2</sup>	300	294	297	296	327	341	336	336	365	349	362	356	394
75% de la masse maximale	286	297	306	315	324	332	340	347	354	361	368	374	381
70% de la masse maximale	267	277	286	294	302	310	317	324	331	337	343	350	355
80% de la masse maximale	306	317	327	336	346	354	362	370	378	385	393	399	406

Machine à Jet d'Air PET/ Tissu Simple

Titre Trame en denier	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900
Duitage	52	47	42	39	36	34	32	30	29	27	26	25	24
Masse Réelle g/m <sup>2</sup>	244	263	270	296	280	313	308	336	327	327	322	356	345
75% de la masse maximale	258	268	277	286	295	303	311	318	325	332	339	346	352
70% de la masse maximale	240	250	259	267	275	283	290	297	304	310	316	322	328
80% de la masse maximale	275	286	296	306	315	323	332	340	347	355	362	369	375

Machine à lances Coton/ Tissu Simple

Titre Trame en Nm	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
Masse Réelle g/m <sup>2</sup>	224	230	249	254	264	294	300	302.3	288.4	308.3	322	336	345
75% de la masse maximale	230	242	253	263	272	280	289	296	304	311	318	324	331
70% de la masse maximale	215	226	236	245	254	262	269	277	284	290	297	303	309
80% de la masse maximale	245	258	269	280	290	299	308	316	324	332	339	346	353

Machine à Projectiles Coton/ Tissu Simple

Titre Trame en Nm	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
Masse Réelle g/m <sup>2</sup>	244	264.6	270	287.4	280	304.3	299.3	327.2	348	327.2	331.1	351	374.8
75% de la masse maximale	259	271	282	292	301	309	318	325	333	340	347	353	360
70% de la masse maximale	242	253	263	272	281	289	296	304	311	317	324	330	336
80% de la masse maximale	276	289	300	311	321	330	339	347	355	363	370	377	384

Machine à Lance PET/ Tissu Simple

Titre Trame en denier	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900
Masse Réelle g/m <sup>2</sup>	262	275	267	278	285	318	313	310	317	322	326	363	345
75% de la masse maximale	258	268	277	286	295	303	311	318	325	332	339	346	352
70% de la masse maximale	240	250	259	267	275	283	290	297	304	310	316	322	328
80% de la masse maximale	275	286	296	306	315	323	332	340	347	355	362	369	375

Machine à Jet d'Air Coton/ Tissu Simple

Titre Trame en Nm	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
Masse Réelle g/m <sup>2</sup>	244	232.8	270	248.7	280	284.4	279.4	302.3	288.4	327	322	341.1	345
75% de la masse maximale	230	242	253	263	272	280	289	296	304	311	318	324	331
70% de la masse maximale	215	226	236	245	254	262	269	277	284	290	297	303	309
80% de la masse maximale	245	258	269	280	290	299	308	316	324	332	339	346	353

Machine à Lance PET/ Tissu DF

Titre Trame en denier	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900
Masse Réelle g/m <sup>2</sup>	548	511.9	490	540	534.8	552.9	526.2	512.9	572.9	556.7	530	551	580
75% de la masse maximale	481	484	488	491	494	498	501	505	508	512	515	518	522
70% de la masse maximale	515	519	522	526	530	533	537	541	545	548	552	555	559
80% de la masse maximale	549	553	557	561	565	569	573	577	581	585	589	592	596

Machine à Projectiles PET/ Tissu DF

Titre Trame en denier	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900
Masse Réelle g/m <sup>2</sup>	593	662	620	597	604	671	608	638	625	640	678	623	679
75% de la masse maximale	582	585	587	590	593	595	598	601	604	607	609	612	615
70% de la masse maximale	624	627	629	632	635	638	641	644	647	650	653	656	659
80% de la masse maximale	666	668	671	674	677	681	684	687	690	693	696	700	703

Machine à Jet d'Air PET/ Tissu DF

Titre Trame en denier	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900
Masse Réelle g/m <sup>2</sup>	531.7	526.7	524.8	520.8	499	540.7	546.7	572.6	520	541.7	573.6	536	580
75% de la masse maximale	481	484	488	491	494	498	501	505	508	512	515	518	522
70% de la masse maximale	515	519	522	526	530	533	537	541	545	548	552	555	559
80% de la masse maximale	549	553	557	561	565	569	573	577	581	585	589	592	596

Machine à Lance Coton/ Tissu DF

Titre Trame en Nm	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
Masse Réelle g/m <sup>2</sup>	534	510	487	529	548	525	525	510	547	567	541	536	518
75% de la masse maximale	474	477	480	483	486	489	493	496	499	502	505	508	511
70% de la masse maximale	508	511	514	518	521	524	528	531	535	538	541	545	548
80% de la masse maximale	542	545	549	552	556	559	563	567	570	574	577	581	585

Machine à Projectiles Coton/ Tissu DF

Titre Trame en Nm	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
Masse Réelle g/m <sup>2</sup>	634	606	624	603	653	666	596	653	644	620	649	680	674
75% de la masse maximale	466	468	470	472	474	476	479	481	483	485	487	490	492
70% de la masse maximale	499	501	503	506	508	510	513	515	518	520	522	525	527
80% de la masse maximale	532	535	537	539	542	544	547	549	552	555	557	560	562

Machine à Jet d'air Coton/ Tissu DF

Titre Trame en Nm	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
Masse Réelle g/m <sup>2</sup>	500	510	530	540	499	515	540	560	520	520	530	536	580
75% de la masse maximale	361	363	366	368	371	373	376	379	381	384	386	389	391
70% de la masse maximale	386	389	392	395	397	400	403	406	408	411	414	416	419
80% de la masse maximale	412	415	418	421	424	427	430	433	436	439	441	444	447

Annexe4 : Test KES-F

Trame	Armure	Duitage	G Chaîne	G Trame	2HG Chaîne	2HG Trame
titre en tex	Ref	duites/cm	gf/cm.deg	gf/cm.deg	gf/cm	gf/cm
104 tex	CROISE	11	1,86	2,22	13,58	15,11
104 tex	CROISE	14	3,81	4,73	29,96	35,69
104 tex	CROISE	15	4,38	4,92	32,66	38,80
58 tex	CROISE	20	7,55	9,48	49,43	55,50
58 tex	CROISE	21	8,01	10,54	50,00	60,99
58 tex	CROISE	23	8,28	12,18	59,40	78,53
38 tex	CROISE	22	8,89	9,24	50,03	58,65
38 tex	CROISE	26	10,93	11,32	68,32	71,56
38 tex	CROISE	28	12,02	13,69	79,64	84,43
104 tex	REPS	9	0,80	0,96	7,61	7,69
104 tex	REPS	11	1,52	1,84	13,85	14,02
104 tex	REPS	13	2,43	3,28	22,74	23,27
58 tex	REPS	13	1,49	1,68	12,58	13,48
58 tex	REPS	15	2,26	2,39	19,72	20,09
58 tex	REPS	19	3,24	3,70	28,67	30,04
38 tex	REPS	13	3,90	4,11	23,99	26,95
38 tex	REPS	16	6,26	7,16	35,12	40,81
38 tex	REPS	18	9,52	9,64	44,92	52,68
104 tex	TOILE	9	1,96	2,47	16,65	17,10
104 tex	TOILE	11	4,46	6,15	33,03	36,61
104 tex	TOILE	12	6,36	7,01	42,28	42,87
58 tex	TOILE	11	3,08	4,26	19,77	20,13
58 tex	TOILE	15	9,04	10,14	55,73	56,89
58 tex	TOILE	16	9,55	10,74	58,70	59,94
38 tex	TOILE	16	5,18	5,31	32,69	33,28
38 tex	TOILE	17	11,08	10,49	54,01	55,60
38 tex	TOILE	18	11,88	11,93	56,17	57,00
104 tex	DFS8	20	2,82	2,35	23,24	22,24
104 tex	DFS8	22	3,22	2,89	31,23	30,20
104 tex	DFS8	24	4,40	3,64	37,86	35,10
58 tex	DFS8	28	3,22	3,16	26,91	26,12
58 tex	DFS8	30	3,71	3,45	27,91	28,63
58 tex	DFS8	32	3,88	3,75	30,31	32,17

Trame	Armure	Duitage	G Chaîne	G Trame	2HG Chaîne	2HG Trame
titre en tex	Ref	duites/cm	gf/cm.deg	gf/cm.deg	gf/cm	gf/cm
38 tex	DFS8	38	4,43	3,37	33,07	29,00
38 tex	DFS8	40	4,95	4,30	33,35	31,05
38 tex	DFS8	42	5,25	4,58	37,34	33,08
38 tex	DFS8	42	5,25	4,58	37,34	33,08
104 tex	DFS4	16	6,40	5,77	56,48	44,61
104 tex	DFS4	18	7,05	6,32	68,54	57,09
104 tex	DFS4	20	7,82	6,80	72,52	61,81
58 tex	DFS4	24	6,12	5,12	53,14	41,99
58 tex	DFS4	26	7,60	5,88	63,82	52,66
58 tex	DFS4	28	9,00	7,20	64,48	56,60
38 tex	DFS4	24	7,00	5,00	46,65	40,26
38 tex	DFS4	26	7,46	5,55	50,43	43,26
38 tex	DFS4	28	7,79	6,11	56,95	45,45
104 tex	DFR8B	17	2,17	1,86	16,58	17,55
104 tex	DFR8B	19	2,75	2,68	22,36	24,50
104 tex	DFR8B	23	4,46	4,06	38,08	35,98
58 tex	DFR8B	25	2,87	2,90	23,34	23,91
58 tex	DFR8B	29	3,60	3,38	31,54	28,63
58 tex	DFR8B	33	4,99	4,26	40,70	36,86
38 tex	DFR8B	33	3,63	2,72	27,66	23,91
38 tex	DFR8B	37	4,12	3,55	29,87	26,81
38 tex	DFR8B	41	4,99	4,21	36,29	34,48
104 tex	DFR8A	17	2,02	2,04	16,54	18,06
104 tex	DFR8A	19	2,97	2,69	22,95	21,11
104 tex	DFR8A	23	3,91	3,84	34,26	34,24
58 tex	DFR8A	25	2,42	2,40	22,76	21,20
58 tex	DFR8A	29	3,44	2,94	29,27	27,93
58 tex	DFR8A	33	4,61	4,55	38,63	33,25
38 tex	DFR8A	33	3,95	2,88	26,26	23,11
38 tex	DFR8A	37	4,02	3,67	29,57	28,45
38 tex	DFR8A	41	5,52	3,85	38,20	32,74
58 tex	TMR2	35	1,94	1,81	15,23	14,79
58 tex	TMR2	37	2,27	2,01	16,88	16,46
58 tex	TMR2	39	2,71	2,29	17,08	16,84

Trame	Armure	Duitage	G Chaîne	G Trame	2HG Chaîne	2HG Trame
titre en tex	Ref	duites/cm	gf/cm.deg	gf/cm.deg	gf/cm	gf/cm
38 tex	TMR2	48	1,79	1,76	15,62	14,75
38 tex	TMR2	50	2,01	1,97	15,86	15,05
38 tex	TMR2	52	2,59	2,50	18,53	17,31
104 tex	TMR2	23	1,95	1,67	13,65	12,49
104 tex	TMR2	25	2,21	1,83	16,01	15,61
104 tex	TMR2	27	2,25	1,88	18,27	17,42
58 tex	TMR1	35	3,14	2,30	23,49	22,99
58 tex	TMR1	37	3,19	2,64	28,38	27,72
58 tex	TMR1	39	4,25	3,49	30,34	29,37
38 tex	TMR1	48	3,91	3,64	31,49	29,41
38 tex	TMR1	50	4,54	3,80	34,29	32,62
38 tex	TMR1	52	5,10	4,65	35,82	32,80
104 tex	TMR1	23	2,79	2,04	12,21	10,11
104 tex	TMR1	25	3,83	3,28	25,00	22,48
104 tex	TMR1	27	4,84	4,08	26,74	25,93
58 tex	TM2	31	5,33	4,89	37,94	35,40
58 tex	TM2	33	6,40	5,89	48,23	46,86
58 tex	TM2	35	6,86	6,44	56,85	50,60
38 tex	TM2	42	8,31	7,60	60,39	53,97
38 tex	TM2	44	9,50	9,12	76,63	68,93
38 tex	TM2	46	10,21	9,98	78,74	71,55
104 tex	TM2	23	4,46	3,89	39,11	36,11
104 tex	TM2	25	5,37	4,81	46,40	42,09
104 tex	TM2	27	5,99	5,01	47,96	41,88
58 tex	TM1	31	4,85	4,38	39,08	38,44
58 tex	TM1	33	5,28	4,80	47,61	45,79
58 tex	TM1	35	6,11	6,00	48,15	46,48
38 tex	TM1	42	7,29	6,42	56,17	55,92
38 tex	TM1	44	7,98	6,89	62,20	58,97
38 tex	TM1	46	7,99	7,18	70,32	61,50
104 tex	TM1	23	4,58	4,01	35,17	34,40
104 tex	TM1	25	4,91	4,81	55,53	52,87
104 tex	TM1	27	5,50	5,02	55,81	53,21

Trame	Armure	2HG5 Chaîne	2HG5 Trame	LC	WC	RC	T0	Tm
titre en tex	Ref	gf/cm	gf/cm	%	gf.cm/cm <sup>2</sup>	%	mm	mm
104 tex	CROISE	18,47	21,67	0,578	0,277	49,878	1,202	1,014
104 tex	CROISE	35,66	41,84	0,480	0,256	52,674	1,108	0,847
104 tex	CROISE	39,88	45,82	0,432	0,249	52,718	1,123	0,848
58 tex	CROISE	58,26	60,05	0,436	0,237	54,592	0,914	0,693
58 tex	CROISE	70,40	80,22	0,406	0,220	57,312	0,903	0,687
58 tex	CROISE	72,35	93,66	0,398	0,206	58,106	0,872	0,675
38 tex	CROISE	64,71	69,98	0,391	0,282	52,806	0,869	0,608
38 tex	CROISE	92,00	95,42	0,374	0,250	54,424	0,929	0,613
38 tex	CROISE	99,85	101,75	0,323	0,235	60,118	0,788	0,595
104 tex	REPS	10,40	10,46	0,520	0,365	41,584	1,258	0,975
104 tex	REPS	17,08	18,24	0,558	0,283	46,276	1,121	0,917
104 tex	REPS	27,27	29,73	0,444	0,259	48,662	1,037	0,799
58 tex	REPS	15,98	18,07	0,472	0,264	46,688	0,879	0,716
58 tex	REPS	23,12	24,24	0,440	0,225	49,398	0,917	0,709
58 tex	REPS	32,13	36,77	0,410	0,211	50,254	0,952	0,689
38 tex	REPS	32,33	33,58	0,357	0,278	46,426	0,787	0,545
38 tex	REPS	47,26	53,09	0,378	0,200	58,996	0,782	0,545
38 tex	REPS	65,98	67,39	0,391	0,186	61,976	0,746	0,550
104 tex	TOILE	20,52	23,45	0,462	0,256	51,110	0,879	0,688
104 tex	TOILE	42,66	48,41	0,375	0,220	55,876	0,886	0,652
104 tex	TOILE	55,91	57,29	0,434	0,216	58,272	0,897	0,663
58 tex	TOILE	26,65	30,11	0,400	0,204	55,172	0,841	0,621
58 tex	TOILE	69,56	74,99	0,412	0,203	57,936	0,783	0,585
58 tex	TOILE	70,48	78,94	0,444	0,202	60,288	0,734	0,528
38 tex	TOILE	42,01	43,38	0,487	0,199	55,222	0,729	0,527
38 tex	TOILE	73,93	76,67	0,428	0,186	56,736	0,683	0,512
38 tex	TOILE	76,77	79,76	0,434	0,179	63,946	0,678	0,506
104 tex	DFS8	29,60	24,84	0,624	0,330	47,568	1,307	1,097
104 tex	DFS8	37,49	32,23	0,615	0,326	48,876	1,331	1,118
104 tex	DFS8	46,65	38,64	0,600	0,317	52,950	1,444	1,160
58 tex	DFS8	30,44	29,80	0,565	0,310	48,634	1,212	0,992
58 tex	DFS8	33,01	32,01	0,526	0,298	49,714	1,240	1,019
58 tex	DFS8	35,27	37,09	0,525	0,287	53,106	1,270	1,039

Trame	Armure	2HG5 Chaîne	2HG5 Trame	LC	WC	RC	T0	Tm
titre en tex	Ref	gf/cm	gf/cm	%	gf.cm/cm <sup>2</sup>	%	mm	mm
38 tex	DFS8	38,87	32,70	0,551	0,289	50,088	1,123	0,919
38 tex	DFS8	39,47	36,07	0,536	0,243	51,978	1,139	0,944
38 tex	DFS8	43,67	37,96	0,464	0,240	53,374	1,173	0,955
38 tex	DFS8	43,67	37,96	0,464	0,243	53,374	1,173	0,919
104 tex	DFS4	69,36	51,51	0,582	0,410	53,522	0,994	0,805
104 tex	DFS4	81,28	61,64	0,563	0,295	54,726	1,007	0,818
104 tex	DFS4	86,12	70,90	0,517	0,250	56,670	1,054	0,835
58 tex	DFS4	65,95	49,19	0,511	0,267	55,706	0,918	0,712
58 tex	DFS4	77,17	59,00	0,509	0,260	55,946	0,938	0,721
58 tex	DFS4	79,46	59,27	0,491	0,226	56,186	0,959	0,737
38 tex	DFS4	58,27	45,32	0,499	0,264	55,118	0,851	0,653
38 tex	DFS4	60,27	50,32	0,493	0,254	56,118	0,875	0,662
38 tex	DFS4	66,88	52,03	0,478	0,236	58,156	0,885	0,662
104 tex	DFR8B	21,79	20,09	0,604	0,372	46,214	1,314	1,071
104 tex	DFR8B	27,13	28,10	0,584	0,350	48,162	1,390	1,150
104 tex	DFR8B	45,34	40,89	0,573	0,341	49,872	1,405	1,292
58 tex	DFR8B	27,29	28,90	0,588	0,318	48,644	1,186	0,918
58 tex	DFR8B	35,05	34,16	0,574	0,286	51,576	1,231	0,966
58 tex	DFR8B	46,40	42,98	0,521	0,275	52,712	1,308	1,100
38 tex	DFR8B	31,68	27,22	0,517	0,338	48,802	1,100	0,890
38 tex	DFR8B	35,57	32,52	0,503	0,308	49,544	1,133	0,914
38 tex	DFR8B	43,02	41,11	0,472	0,276	49,722	1,211	0,964
104 tex	DFR8A	20,94	20,70	0,592	0,442	40,968	1,412	1,165
104 tex	DFR8A	29,67	26,61	0,626	0,406	44,184	1,481	1,220
104 tex	DFR8A	38,96	38,81	0,717	0,365	45,024	1,512	1,265
58 tex	DFR8A	25,37	24,31	0,516	0,288	47,740	1,182	0,984
58 tex	DFR8A	32,44	30,58	0,498	0,319	50,796	1,232	0,996
58 tex	DFR8A	42,82	39,84	0,663	0,331	54,074	1,273	1,022
38 tex	DFR8A	30,75	26,40	0,466	0,303	48,750	1,130	0,950
38 tex	DFR8A	33,96	30,41	0,504	0,282	49,236	1,187	0,962
38 tex	DFR8A	43,46	36,68	0,559	0,248	57,396	1,261	0,995
58 tex	TMR2	19,63	19,36	0,596	0,273	40,584	1,659	1,475
58 tex	TMR2	20,17	19,88	0,622	0,291	42,580	1,691	1,506
58 tex	TMR2	21,14	20,71	0,634	0,332	43,173	1,702	1,529

Trame	Armure	2HG5 Chaîne	2HG5 Trame	LC	WC	RC	T0	Tm
titre en tex	Ref	gf/cm	gf/cm	%	gf.cm/cm <sup>2</sup>	%	mm	mm
38 tex	TMR2	18,76	17,53	0,557	0,243	41,862	1,694	1,527
38 tex	TMR2	20,16	17,77	0,565	0,255	45,946	1,702	1,548
38 tex	TMR2	23,19	21,47	0,594	0,285	46,421	1,769	1,579
104 tex	TMR2	18,10	16,28	0,624	0,417	36,738	1,973	1,669
104 tex	TMR2	19,20	18,45	0,665	0,453	37,894	2,147	1,923
104 tex	TMR2	21,17	20,26	0,709	0,466	39,387	2,903	2,159
58 tex	TMR1	27,81	27,12	0,660	0,374	39,762	1,673	1,477
58 tex	TMR1	32,59	31,41	0,704	0,391	40,688	1,732	1,485
58 tex	TMR1	35,41	31,70	0,722	0,416	42,968	1,772	1,511
38 tex	TMR1	35,32	33,95	0,607	0,367	39,290	1,633	1,395
38 tex	TMR1	39,46	35,98	0,619	0,394	41,152	1,685	1,435
38 tex	TMR1	41,27	39,11	0,644	0,473	44,158	1,690	1,440
104 tex	TMR1	13,27	12,25	0,730	0,440	38,558	1,891	1,582
104 tex	TMR1	32,40	28,78	0,737	0,476	39,810	1,923	1,656
104 tex	TMR1	33,36	29,72	0,751	0,494	40,584	1,973	1,679
58 tex	TM2	42,89	39,63	0,555	0,357	53,842	1,369	1,110
58 tex	TM2	58,20	54,64	0,590	0,452	54,564	1,381	1,151
58 tex	TM2	68,61	57,83	0,628	0,489	55,358	1,413	1,192
38 tex	TM2	69,62	65,66	0,536	0,345	53,492	1,201	0,938
38 tex	TM2	88,48	81,08	0,586	0,375	57,328	1,243	0,968
38 tex	TM2	93,88	85,48	0,626	0,398	58,172	1,311	0,989
104 tex	TM2	44,94	40,40	0,614	0,354	46,760	1,564	1,304
104 tex	TM2	54,99	47,89	0,672	0,404	49,054	1,631	1,451
104 tex	TM2	56,22	49,94	0,719	0,450	52,854	1,721	1,503
58 tex	TM1	48,82	46,55	0,594	0,482	54,368	1,345	1,035
58 tex	TM1	52,93	49,06	0,611	0,526	55,474	1,377	1,149
58 tex	TM1	56,95	54,89	0,622	0,544	57,286	1,397	1,203
38 tex	TM1	61,02	60,77	0,511	0,326	50,770	1,161	0,905
38 tex	TM1	71,74	66,84	0,520	0,347	53,058	1,182	0,922
38 tex	TM1	79,70	71,96	0,548	0,362	55,154	1,213	0,947
104 tex	TM1	48,91	39,31	0,534	0,433	50,998	1,498	1,162
104 tex	TM1	59,21	56,51	0,566	0,468	52,268	1,550	1,386
104 tex	TM1	59,70	57,01	0,655	0,526	54,467	1,662	1,431







Annexe 6 : Indices de saturation massique « tissus laine et mélange »

N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Matiere	100% LAINE	55% POLYESTER 25% LAINE 20% VISCOSE	55% POLYESTER 25% LAINE 20% VISCOSE	70% POLYESTER 30% LAINE	70% POLYESTER 30% LAINE	55% POLYESTER 45% LAINE	55% POLYESTER 45% LAINE	100% LAINE					
Armure	TOILE	TOILE	CROISEZ/2	CROISEZ/2	CROISEZ/2	CROISEZ/2	CROISEZ/2	CROISEZ/2	SERGE3	TOILE	SERGE4	SERGES	CROISEZ/2
Densité g/cm3	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.39	1.39	1.36	1.36	1.35	1.35	1.31
Rch	2	2	4	4	4	4	4	4	3	2	4	5	4
Rtr	2	2	4	4	4	4	4	4	3	2	4	5	4
nch	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
ntr	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
masse g/m <sup>2</sup>	172	194	266	268	210	228	237	255	232	241	273	276	247
Compte chaîne	23.3	24.7	42.1	44.4	25.1	25.8	30.0	31.0	29.0	29.3	31.7	31.9	29.1
Compte Trame	20.4	20.8	22.1	23.0	24.3	25.4	24.4	25.8	32.8	34.5	26.6	27.3	23.6
Nech	15.0	15.0	15.0	16.0	15.0	15.0	14.0	13.0	17.0	18.0	13.0	14.0	14.0
Titre chaîne Tex	39.4	39.4	39.4	37.0	39.4	39.4	42.3	45.5	34.8	32.9	45.5	42.3	42.3
Netr	16.0	15.0	17.0	16.0	16.0	15.0	15.0	14.0	16.0	16.0	14.0	15.0	15.0
Titre Trame Tex	37.0	39.4	34.8	37.0	37.0	39.4	39.4	42.3	37.0	37.0	42.3	39.4	39.4
Embouyage	11.8	9.4	14.9	10.6	8.5	7.0	10.4	8.5	6.3	5.3	11.8	7.9	8.6
Retrait	3.7	8.2	2.7	5.7	5.8	10.6	4.9	5.1	13.2	9.6	8.3	8.2	7.1
INDICE E BOOTEN	70.6%	78.8%	75.5%	82.6%	51.0%	56.6%	61.7%	72.4%	88.9%	132.3%	78.6%	65.9%	61.4%
INDICE E DALAL	34.7%	39.4%	49.3%	55.1%	33.6%	37.7%	40.7%	47.7%	54.0%	68.1%	51.8%	46.6%	40.4%
Masse maximale g/m <sup>2</sup>	390.2	402.8	383.0	390.0	392.3	402.8	417.3	432.2	396.2	397.9	425.9	411.9	405.4
INDICE MASSIQUE	44.1%	48.2%	69.4%	68.7%	53.5%	56.6%	56.8%	59.0%	58.6%	60.6%	64.1%	67.0%	60.9%

**CHAPITRE 8:**  
**PUBLICATIONS ET REFERENCES**  
**BIBLIOGRAPHIQUES**

## 8. PUBLICATIONS ET REFERENCES

### 8.1 PUBLICATIONS

#### 1/2 Geometrical modeling of woven fabric's weavability limit and tightness: simple and complex weaves

Mohamed Dalal<sup>1</sup>, Jean-Yves Drean<sup>2</sup>, Jean-François Osselin<sup>2</sup>

❖ **REMTEX research laboratory**

<sup>1</sup> Ecole Supérieure des Industries du Textile et de l'habillement  
- ESITH Route d'Eljadida, Km 8 - BP. 7731 Oulfa, Casablanca Morocco  
[dalalmohamed@hotmail.com](mailto:dalalmohamed@hotmail.com) & [dalal@esith.ac.ma](mailto:dalal@esith.ac.ma)

❖ **LPMT** research laboratory

<sup>2</sup> Université de Haute Alsace (UHA), – Laboratoire de Physique et Mécanique Textiles (LPMT)  
EAC 7189,  
68093 Mulhouse, France  
[jy.drean@uha.fr](mailto:jy.drean@uha.fr) & [jf.osselin@uha.fr](mailto:jf.osselin@uha.fr)

#### **Abstract**

The weavability limit and tightness for 2D and 3D woven fabrics is an important factor and depends on many geometric parameters. Based on a comprehensive review of the literature on textile fabric construction and property, and related research on fabric geometry, a study of the weavability limit and tightness relationships of 2D and 3D woven fabrics was undertaken. Experiments were conducted on representative number of polyester and cotton woven fabrics which have been woven in our workshop, using three machines endowed with different insertion systems (rapier, projectiles and air jet). Afterwards these woven fabrics have been analyzed in the laboratory to determine their physical and mechanical characteristics using air permeability-meter and KES-F KAWABATA Evaluation System for Fabrics.

In this study, the weavability limit and tightness relationships reviewed are modified to expand their use to general cases (2D and 3D woven fabrics, any fiber material, etc...). The theoretical relationships were examined and found to agree with experimental results. It was concluded that the weavability limit and tightness relationships are useful tools for weavers in predicting whether a proposed fabric construction was weavable and also in predicting and explaining their physical and mechanical properties.

#### **Key words**

Weaving, weavability limit, tightness, saturation index, modelling

#### **Introduction**

During last many years, many works have conducted a considerable amount of research regarding the weavability limit, the maximum number of ends and picks per unit length that can be woven with a given yarn and weave. The driving force behind such research effort is: first, to avoid attempting to weave impossible constructions and thus eliminating unnecessary costly trials, and second, to reduce yarn breakage during weaving and wear of weaving-machine parts. For only simple woven fabrics, the early work focused on conducting experiments that led to empirical relationships [5-8, 19, 20, 34, and 43] that correlated the maximum number of threads per unit

length with yarn size and weave. Also, more recent research has followed the same theoretical approaches [28, 32, 36-38) to broaden the applications of the weavability-limit relationships.

More recent and current research efforts have been directed toward establishing a standard or reference fabric against which fabrics can be compared. The reference fabric is normally that of maximum construction. The proposed comparison is usually expressed in terms of the ratio of a construction parameter of a given fabric to the corresponding value for the standard fabric. The ratio is termed firmness or tightness. The incentive behind such research is the thought that the physical, mechanical, and aesthetic properties of a fabric can be related to its degree of tightness. Designers would thus have scientific rules to construct fabrics with predetermined end-use performance. It was found that a wide variety of properties of woven fabrics depend on the degree of tightness [4, 11, 18, 25].

Since most of the research on weavability limit and tightness has been published when natural fibers were still dominant, the derived and proposed relationships are limited to fabrics from wool or cotton fibers. This issue of Textile Progress reviews the soundest research work on the weavability limit, proposed tightness parameters, and the relationship between fabric properties and tightness. But all the relationship weavability limit and tightness published until nowadays are used only for simple woven fabrics and neither for complex woven fabrics nor for all material. And also does not give us true information about weavability limit and tightness.

Therefore, the objective of this new research is to establish a correct standard or reference fabric against which fabrics can be objectively compared. Furthermore, the weavability limit and tightness relationships reviewed are modified to expand their use to general cases (any weave simple or complex, fiber type, etc.). The theoretical relations were examined (Table 4: weavability limit and tightness relationships) and found to agree with experimental results. It was concluded that the theoretical relations and the graphs derived from them were useful tools for weavers in predicting whether a proposed fabric construction was weavable.

### Weave factor and yarn diameter

#### Yarn Diameter

Two important geometrical parameters that are needed for expanding the application of the maximum-weavability and tightness relationships mentioned above are the weave factor and yarn diameter.

Most researchers in this field have assumed the yarn to be a uniform cylinder to facilitate the calculation of the yarn diameter. With such an assumption, the yarn diameter can be written as:

$$d = \frac{1}{100\pi} \cdot \sqrt{\frac{T}{\phi \rho_f}} \quad (1)$$

Where:

$d$  =yarn diameter (cm),  $\rho_f$  = fiber density (g/cm<sup>3</sup>),

$T$ : yarn linear density (tex),  $\phi$  = yarn packing fraction

Equations (1) express the yarn diameter in a universal manner that is adequate for any yarn type (represented by the packing factor  $\phi$ ) and fiber type. The packing factor depends on fiber variables (such as fiber crimp, length, size, cross-section shape, etc.), Yarn parameters (such as twist, spinning method, etc.), and fabric parameters (such as warp and pick densities, weave, etc.).

The packing factors were calculated from diameter measurements in published data [3,5,6,9,10,15,16,19,20,22,24,28,32,34]. With the advances in image-analysis research and technologies, diameter measurements of threads in a fabric can be easily made. There is a need

for the accurate measurement of yarn dimensions and cross-sections when the yarn forms a thread in a fabric. Such measurement is beneficial not only in the areas of weavability limit and fabric tightness but also for the precise prediction of fabric's physical and mechanical behavior, such as bending, tensile, and shear properties.

**Weave Factor**

The weave factor is a numerical value that expresses the amount of interlacing of warp and filling (weft) threads and may be used as a tightness factor to compare fabrics if all other construction parameters are the same. It is defined as the ratio of the number of threads to the number of interlacing. When the weave-interlacing patterns of warp and filling threads are different, two weave factors are needed to be defined:

$$M_1 = \frac{N_1}{i_1} \tag{2}$$

$$M_2 = \frac{N_2}{i_2} \tag{3}$$

Where:

$M_1$  = warp weave factor,  $M_2$  = filling weave factor,

$i_1$  = number of filling intersections per weave repeat,  $i_2$  = number of warp intersections per weave repeat,

$N_1$  = number of warp ends per weave repeat,  $N_2$  = number of filling threads per weave repeat.

Table 1: number of weave intersections

Weave	$N_1$	$i_1$	$N_2$	$i_2$	$M_1$	$M_2$
Plain	2	2	2	2	1	1
2x1Twill	3	2	3	2	1.5	1.5
2X2 Basket	4	2	4	2	2	2
2X2 Twill	4	2	4	2	2	2

In the weaves of Table 1, the number of weave intersections of each warp end (or filling pick) is the same. The weave factors can, then be calculated from one end and one pick, in many weaves. However, the number of intersections of each thread in the weave repeat is not equal. Therefore, to calculate the weave factors  $M_1$  and  $M_2$  of the weave, each warp end and filling pick should be considered. One should observe the intersections of each pick to calculate the warp weave factor. The first pick (counting from the bottom) weaves with ten ends and intersects ten times. The second pick weaves with ten ends and intersects twice.

**Maximum construction theories**

**Ashenhurst's theory of ends plus intersections**

The assumptions made by Ashenhurst [3] in developing the maximum sett of woven fabrics are:

(1) Yarns are perfect cylinders and (2) a weave intersection occupies a distance equal to the yarn diameter. Figure 1 shows the geometry of the warp and filling cross-sections of a weave that fits the two assumptions. From the geometry, the general equations of maximum sett for warp and filling threads can be derived as:

$$t_{1max} = \frac{M_1}{M_1 d_1 + d_2} \tag{4}$$

$$t_{2max} = \frac{M_2}{M_2 d_2 + d_1} \tag{5}$$

Where:

$t_{1max}$  = the maximum number of warp ends per unit fabric width,

$t_{2max}$  = the maximum number of picks per unit fabrics length,

$M_1$  = the warp weave factor,

$M_2$  = the filling weave factor,

$d_1$  = the warp-thread diameter,

$d_2$  = the filling-thread diameter.

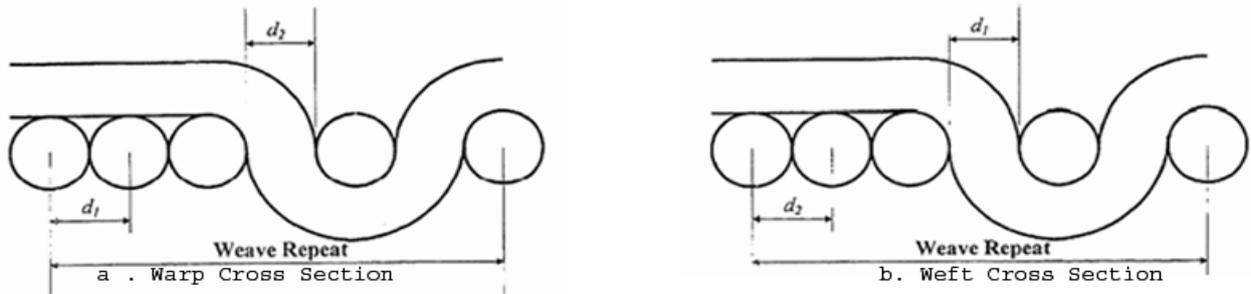


Figure 1: Theory of Ashenhurst's geometry of ends plus intersections

**Peirce's theory of maximum weavability of plain weaves**

Peirce [32] developed a mathematical model to study the fabric geometry of the plain weave by assuming that the threads are uniform cylinders, in-extensible and completely flexible. The geometry of the unit cell (half-repeat) that meets his assumptions is depicted in Figure 2. Using this general geometry, Peirce derived seven relationships relating eleven parameters. From these, a maximum-weavability relationship (Equation 6) for fabrics made of 100% cotton was deduced by applying the so-called jamming condition to the geometrical relationships. The jamming condition is the shortest spacing between threads. This condition can be reached if the straight portions (ab of Figure 2) of the warp and filling threads approach zero.

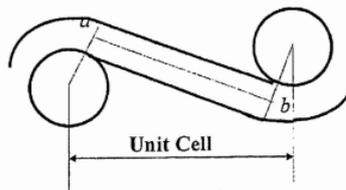


Figure 2: Peirce's geometry of the unit cell for the plain weave

The maximum-weavability relationship mentioned above is:

$$\sqrt{1 - \left\{ \frac{28}{(1 + \beta)K_1} \right\}^2} + \sqrt{1 - \left\{ \frac{28\beta}{(1 + \beta)K_2} \right\}^2} = 1 \tag{6}$$

$K_1$  = the warp cover factor = end per inch/ (cotton count of warp)<sup>1/2</sup>

$K_2$  = the filling cover factor = picks per inch/ (cotton count of filling)<sup>1/2</sup>

$\beta$  = the thread balance =  $d_2/d_1$

Equation (6) is limited to plain-weave fabrics woven from 100% cotton yams.

**Love's maximum-weavability relationships**

Love [28] expanded Peirce's work and derived maximum-weavability equations for fabrics in other simple weaves made from cotton yarns. Love assumed that the threads under the float followed a racetrack shape with a uniform density that was equal to that of the original circular yarn. Figure 3 shows Love's geometry for three-, four-, and five-harness weaves.

Equations (7)-(9) show Love's weavability-limit relationships for these three weaves, respectively:

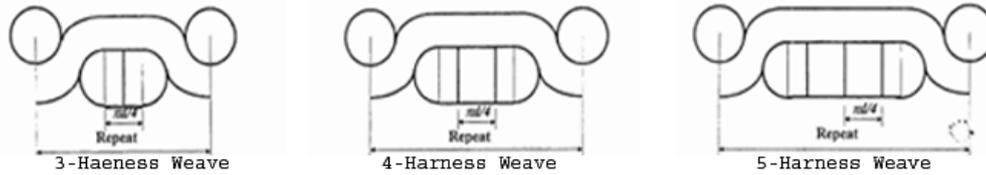


Figure 3: Love's geometry of the racetrack shape of threads under floats

$$\sqrt{1 - \left\{ \frac{M(30.2/K_1 - 1) + 1.08}{1.08(1 + \beta)} \right\}^2} + \sqrt{1 - \left\{ \frac{\{M(30.2/K_2 - 1) + 1.08\}\beta}{1.08(1 + \beta)} \right\}^2} = 1 \quad (7)$$

$$\sqrt{1 - \left\{ \frac{M(31.4/K_1 - 1) + 1.12}{1.12(1 + \beta)} \right\}^2} + \sqrt{1 - \left\{ \frac{\{M(31.4/K_2 - 1) + 1.12\}\beta}{1.12(1 + \beta)} \right\}^2} = 1 \quad (8)$$

$$\sqrt{1 - \left\{ \frac{M(32.2/K_1 - 1) + 1.15}{1.15(1 + \beta)} \right\}^2} + \sqrt{1 - \left\{ \frac{\{M(32.2/K_2 - 1) + 1.15\}\beta}{1.15(1 + \beta)} \right\}^2} = 1 \quad (9)$$

### Standard fabric and degree of tightness

#### Definition and objective

In an attempt to help the woven-fabric designers, the researchers have tried to come up with a reference fabric that can be used to describe a cloth. The ratio of the cloth-construction parameter(s) to the corresponding parameter(s) of the reference fabric was termed the "fabric tightness". As mentioned above, the objective of developing fabric tightness was to check whether fabric properties could be related to fabric tightness so that the designers could develop fabrics with a certain performance. Additionally, knowledge of fabric tightness could be useful in constructing similar fabrics that may differ in one or more of the construction parameters. In this section, the soundest work on tightness and its applications is reviewed.

#### Peirce's tightness (Cloth cover)

Peirce [32] defined the cloth cover, which is proportional to the ratio of the area covered by the warp and filling threads to the area covered by the fabric, in terms of the warp and filling cover factors as:

$$K_f = K_1 + K_2 - \frac{K_1 K_2}{28} \quad (10)$$

His cloth cover can be used as a basis for designing similar cloths, since fabrics of the same Cover would possess similar properties, such as hand and passage of light, water, or air. It is obvious, however, that Equation (18) does not account for the weave, and it is a well-known fact that fabrics with different weaves show different behaviors. The use of the cover to determine the construction of a similar fabric to a given fabric should be limited to the same type of weaves.

### Love's tightness

Love [28] recommended the use of maximum cover factors as estimated from Equations (II)-( 14) as a reference in expressing fabric tightness. He defined three values of tightness (fabric tightness  $T_f$ , warp tightness  $T_1$  and filling tightness  $T_2$ ) as;

$$T_f = \frac{K_{1o} + K_{2o}}{K_{1max} + K_{2max}} \quad (11)$$

$$T_1 = \frac{K_{1o}}{K_{1max}} \quad (12)$$

$$T_2 = \frac{K_{2o}}{K_{2max}} \quad (13)$$

The subscript 'o' in the above equations stands for an observed (a given) fabric and 'max' for maximum cover factors. The values of t are calculated from one of the Equations (6)-(9), depending on the weave of the observed fabric. This method is somewhat complex, since there are an infinite number of reference fabrics.

### Russell's tightness

Russell [34] suggested a tightness calculation (he termed it 'construction factor') based on the maximum sett of Ashenhurst's theory of ends plus intersections [3]. For given yarns and a given weave, maximum sett of this type would have only one set of values. In other words, the reference fabric is unique. The fabric, warp, and filling construction factors are defined, respectively, as:

$$C_f = \frac{t_1 + t_2}{t_{1max} + t_{2max}} \quad (14)$$

$$C_1 = \frac{t_1}{t_{1max}} \quad (15)$$

$$C_2 = \frac{t_2}{t_{2max}} \quad (16)$$

Where:

$t_1$  = end density,  $t_2$  = pick density,  $t_{1max}$  = maximum end density, and  $t_{2max}$  = maximum pick density.

The maximum end and pick density can be estimated from Equations (4) and (5).

Russell's suggestion offers designers flexibility. Since the standard fabrics take weaves into consideration, then the method can be used to compare the tightness values of fabrics with different weaves. The warp-tightness calculations account for the filling and vice versa, which means that, for fabrics made of the same warp and different filling yarns, the warp tightness is affected.

**Galuszynski's tightness**

Galuszynski [18] argued that the fabric tightness defined by Russell does not consider the weave type (satin, twill, etc.). For this reason, he suggested the use of Brierley's empirical formula "Equation (10)" instead of the equations of ends plus intersections.

**Seyam and El-Shiekh's tightness**

Seyam and El-Shiekh [40] compared Russell's tightness, which is based on Ashenhurst's theory of ends plus intersections, and Galuszynski's tightness, which is based on Brierley's experimental work. The comparison showed that Russell's tightness is close to Galuszynski's for plain weaves, twill weaves up to eight-harness, satin weaves up to seven-harness, and basket weaves up to six end (3 x3 basket). To widen the application of tightness that is based on theory, Seyam and El-Shiekh proposed the geometry of Figure 4 as the geometry of the reference fabric in the tightness calculation. This geometry is a combination of the theory of ends plus intersections and the racetrack shape for the threads under a float.

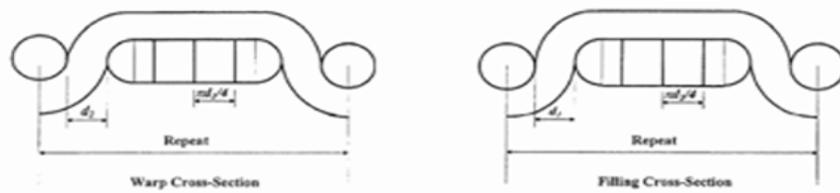


Figure 4: Seyam and El-Shiekh's geometry of a reference fabric

From the geometry of Figure 4, the present author derived the general equations of end and pick densities of the reference fabric as follows:

$$t_{1\max} = \frac{M_1}{\frac{\pi}{4}(M_1 - 1)d_1 + d_1 + d_2} \tag{17}$$

$$t_{2\max} = \frac{M_2}{\frac{\pi}{4}(M_2 - 1)d_2 + d_2 + d_1} \tag{18}$$

Seyam and El-Shiekh compared their tightness to Galuszynski's and found that the proposed new tightness could be used for plain weaves, twill weaves up to thirteen-harness, satin weaves up to ten-harness, and basket weaves up to eight-end (4 x4 basket). In practice, these weaves represent more than 90% of the weaves used to construct fabrics.

**Indice de Booten :**

Where:

- Cwp : Warp count per cm
- Cwf : Weft count per cm
- Twp : Warp linear density Tex
- Twf : Weft linear density Tex
- Nwf : Weft number of face change by report
- Nwp : Warp number of face change by report
- Rwp : Warp pattern report
- Rwf : Weft pattern report

$\rho_f$  : fiber density (g/cm<sup>3</sup>)

Interpretation:

Booten admits that Warp saturation index and Weft saturation index should not exceed the 80 to 85 that corresponding to a maximum of 64 to 72 for the Woven fabric

### New research and new relationships

#### Definition and objective

Following the same theoretical approaches, considering simple and complex woven fabrics and keeping in mind that we can never have straight warp and straight weft at the same time; we have established a correct standard or reference fabric against which fabrics can be objectively compared. Furthermore, the weavability limit and tightness relationships reviewed are modified to expand their use to general cases (any weave simple or complex, fiber type, etc.).

So in practice, we usually assimilate the limit of weavability to the maximum weft count which can be reached in the optimum adjustment conditions of the machine, for a woven fabric, and using a predetermined weaving machine.

It is necessary to note that

- This limit can be determined only empirically and it requires preliminary test for every woven fabric;
- The limit of weavability which corresponds to an acceptable rate of breakage and quality is lower to the technical limit.

For these reasons, it is interesting to design a mathematical model, based on the simplified structures of woven fabrics, which allows encoding the difficulty to weave a woven fabric with known pattern and thread count. The limit of the saturation index as defined, will constitute the limit of weavability whatever is the machine used.

The difficulty to weave a fabric can come from:

- The warp thread count
- The weft thread count
- Both thread counts

It is, therefore, necessary to consider each of these factors separately.

On the condition of defining a maximum warp count (respectively weft count) corresponding to a given linear density of yarn, the indication of saturation can be expressed as follows:

- For the warp by the report of the warp account on the maximal warp account =  $I_{swp}$

- For the weft, by the report of the weft count on the maximal weft count =  $I_{swf}$

In order to facilitate its expressions, we provide the values in percent “%” as follows:

$$\text{Warp saturation index} \Rightarrow I_{swarp}\% = 100 \times \frac{C_{warp}}{C_{warp \max}} \quad (21)$$

$$\text{Weft saturation index} \Rightarrow I_{sweft}\% = 100 \times \frac{C_{weft}}{C_{weft \max}} \quad (22)$$

And the difficulty of weavability is provided by a general indication (warp and weft):

$$\text{Woven fabric saturation index} \Rightarrow I_{sw} = \frac{I_{swp} \times I_{swf}}{100} \quad (23)$$

#### Determinations of $I_{swp}$ , $I_{swf}$ and $I_{sw}$

The warp count being known, it is enough to determine its maximal value. For that, it is necessary to make the 3 following assumptions:

Assumption 1: threads have a cylindrical cross-section

Assumption 2: in the case of the most contracted thread count, threads are contiguous under floating and are separated only by a thread thickness (therefore of the value of a diameter, according to the “1st Assumption” at the time of face changes.

Assumption 3: the linear density and material density (g/cm<sup>3</sup>) are known and homogeneous.

Remarks:

It is obvious that the structure of the face (Figure 5.a, b, c) can represent the warp thread and the weft thread at a given time because it is supposed that the crimp percentage and take-up percentage are simultaneously equal to zero, which is impossible.

In general the material areal density is known but not the thread; therefore it is preferable to measure the diameter rather than to calculate it. And the best method to measuring the obvious diameter of the thread with sufficient statistical precision is by an optical method.

Unfortunately this method is time consuming and is more practical to calculate it from the linear density.

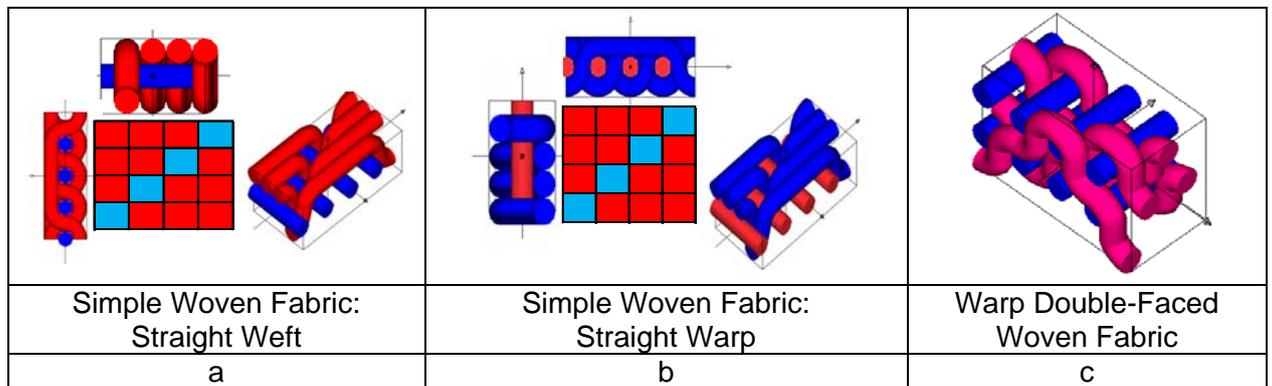


Figure 5: Example of design

**Demonstration for simple woven fabrics “1 Warp + 1 Weft”:**

From the geometry of the warp and filling cross-sections of a weave (Figure 5) and using the 3 assumptions made in developing the maximum set of woven fabrics, the general equations of maximum set for warp and filling threads can be derived as:

$$C_{wp_{max}} = \frac{R_{wp}}{R_{wp} \cdot d_1 + N_{wf} \cdot d_2} \tag{24}$$

and

$$C_{wf_{max}} = \frac{1}{d_2} \tag{25}$$

Or

$$C_{wp_{max}} = \frac{1}{d_1} \tag{26}$$

and

$$C_{wf_{max}} = \frac{R_{wf}}{N_{wp} \cdot d_2 + d_1} \tag{27}$$

$$Warp\ saturation\ index \Rightarrow I_{swarp}\% = 100 \times \frac{C_{wp}}{C_{wp_{max}}} \tag{28}$$

$$\text{Weft saturation index} \Rightarrow I_{swf\%} = 100 \times \frac{C_{wf}}{C_{wf_{\max}}} \quad (29)$$

$$\text{Woven fabric saturation index} \Rightarrow I_{sw} = \frac{I_{swp} \times I_{swf}}{100} \quad (30)$$

Using equations (22), (23), (24), (25), (26), (27) and (1) we can express the following relationship:

$$I_{swp} = K \times C_{wp} \times \left( \sqrt{\frac{T_{wp}}{\phi \rho_{fwp}}} + (1 - \alpha) \frac{N_{wfp}}{R_{wfp}} \sqrt{\frac{T_{wfp}}{\phi \rho_{fwf}}} \right) \quad (31)$$

$$I_{swf} = K \times C_{wf} \times \left( \sqrt{\frac{T_{wfp}}{\phi \rho_{fwf}}} + \alpha \frac{N_{wfp}}{R_{wfp}} \sqrt{\frac{T_{wfp}}{\phi \rho_{fwp}}} \right) \quad (32)$$

With:

First case : $\alpha = 0$	Second case : $\alpha = 1$
Straight Warp and Maximal Crimped Weft	Maximal Crimped Warp and Straight Weft
Warp cross section	Weft cross section
<i>we can never had straight warp and straight weft at the same time</i>	

Figure 6: Theory of geometry of the warp and filling cross-sections of a weave

Where:

- d1 : warp-thread diameter,
- d2 : filling-thread diameter.
- Cwp : Warp count per cm
- Cwf : Weft count per cm
- Twp : Warp linear density Tex
- Twf : Weft linear density Tex
- Nwf : Weft number of face change by report
- Nwp : Warp number of face change by report
- Rwp : Warp pattern report
- Rwf : Weft pattern report
- $\rho_f$  : fiber density (g/cm<sup>3</sup>)

$\Phi$ : yarn packing fraction

Using same a way we can demonstrate that:

For a 1 Warp + 1 Weft woven fabric, the warp and weft saturation index with  $\alpha=0$  or  $\alpha=1$  is as follows:

$$I_{swp} = K \times C_{wp} \times \left( \sqrt{\frac{Tw_p}{\phi \rho_{fwp}}} + (1 - \alpha) \frac{Nwf}{Rwp} \sqrt{\frac{Twf}{\phi \rho_{fwf}}} \right) \quad (33)$$

$$I_{swf} = K \times C_{wf} \times \left( \sqrt{\frac{Twf}{\phi \rho_{fwf}}} + \alpha \frac{Nwp}{Rwf} \sqrt{\frac{Tw_p}{\phi \rho_{fwp}}} \right) \quad (34)$$

For a 1 Warp + n Wefts woven fabric, the warp and weft saturation index with  $\alpha=1$  is as follows:

$$I_{swp} = K \times C_{wp} \times \left( \sqrt{\frac{Tw_p}{\phi \rho_{fwp}}} + \alpha \sum_{i=1}^n \frac{Nwf_n}{Rwp} \times \sqrt{\frac{Twf_n}{\phi \rho_{fwf_n}}} \right) \quad (35)$$

$$I_{swf} = Sup_n \left\{ K \times Pwf_n \times Cwf \times \left( \sqrt{\frac{Twf_n}{\phi \rho_{fwf_n}}} + (1 - \alpha) \frac{Nwp}{Rwf_n} \sqrt{\frac{Tw_p}{\phi \rho_{fwp}}} \right) \right\} \quad (36)$$

For a n Warps + 1 Wefts woven fabric, the warp and weft saturation index with  $\alpha=0$  is as follows:

$$I_{swp} = Sup_n \left\{ K \times Pwp_n \times Cwp \times \left( \sqrt{\frac{Tw_p_n}{\phi \rho_{fwp_n}}} + \alpha \frac{Nwf}{Rwp_n} \sqrt{\frac{Twf}{\phi \rho_{fwf}}} \right) \right\} \quad (37)$$

$$I_{swf} = K \times Cwf \times \left( \sqrt{\frac{Twf}{\phi \rho_{fwf}}} + (1 - \alpha) \sum_{i=1}^n \frac{Nwp_n}{Rwf} \times \sqrt{\frac{Tw_p_n}{\phi \rho_{fwp_n}}} \right) \quad (38)$$

Depending on the woven fabrics we use the combination of formulas obtained in cases of nWarps+nWefts.

The weave index remains the same as equation (21).

$$I_{sw} = \frac{I_{swp} \times I_{swf}}{100} \quad (21)$$

With :

- $d1$  : warp-thread diameter,
- $d2$  : filling-thread diameter.
- $Cwp$  : Warp count per cm
- $Cwf$  : Weft count per cm
- $Pwf$  : Proportion of weft
- $Tw_p$  : Warp linear density Tex
- $Twf$  : Weft linear density Tex
- $Nwf$  : Weft number of face change by report
- $Nwp$  : Warp number of face change by report
- $Rwp$  : Warp pattern report
- $Rwf$  : Weft pattern report
- $n$  : Number of wefts (or warps)

$\rho_f$  = fiber density (g/cm<sup>3</sup>),

$\phi$  = yarn packing fraction

**Experimental procedure**

**Materials**

Table 2 compiles the information related to the rapier, the air jet and the projectile weaving machines.

Table 2: Rapier weaving machine

Weaving machine		Rapier	Air jet	Projectile
Weaving speed		420 picks/min	580 picks/min	345 picks/min
	Yarn count	26 yarns per cm	24 yarns par cm	24 yarns per cm
Warp	material	cotton	polyester	cotton
	Linear density	40 tex	300 dtex	50 tex
Weft	Yarn count	≥10 picks par cm	≥10 picks par cm	≥10 picks par cm
	material	Cotton and polyester	Cotton and polyester	Cotton and polyester
	Linear density	variable	variable	variable
Drawing-in width		175 cm	180 cm	184 cm

The weft cotton count is 10, 14, 18, 22, 26, 30, 34, 40, 46 and 50 tex and weft polyester count 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 and 600 dtex

Parameters:

- Stationary parameters : warps and its characteristics
- Variable parameters (weft) : weft count, titres of de weft and material
- Variable parameters (warp) : warp tension to insert picks per cm
- Variable parameters (pattern) : (n Warps+ 1 Weft) and (1 Warp+ n Wefts)

**Procedure**

We have produced a representative number of simple and complex patterns with different qualities of weft while increasing weft count and warp tension until saturation of woven fabrics.

**Results and discussion**

If the formulated hypotheses are respected, the warp saturation index or weft saturation index is reached when the warp count or weft count is respectively equal to the maximum warp count or maximum weft count.

$$\text{Warp saturation index} \Rightarrow I_{swp} = 100\%$$

Or

$$\text{Weft Saturation index} \Rightarrow I_{swf} = 100\%$$

But the given hypotheses are not entirely true. Indeed:

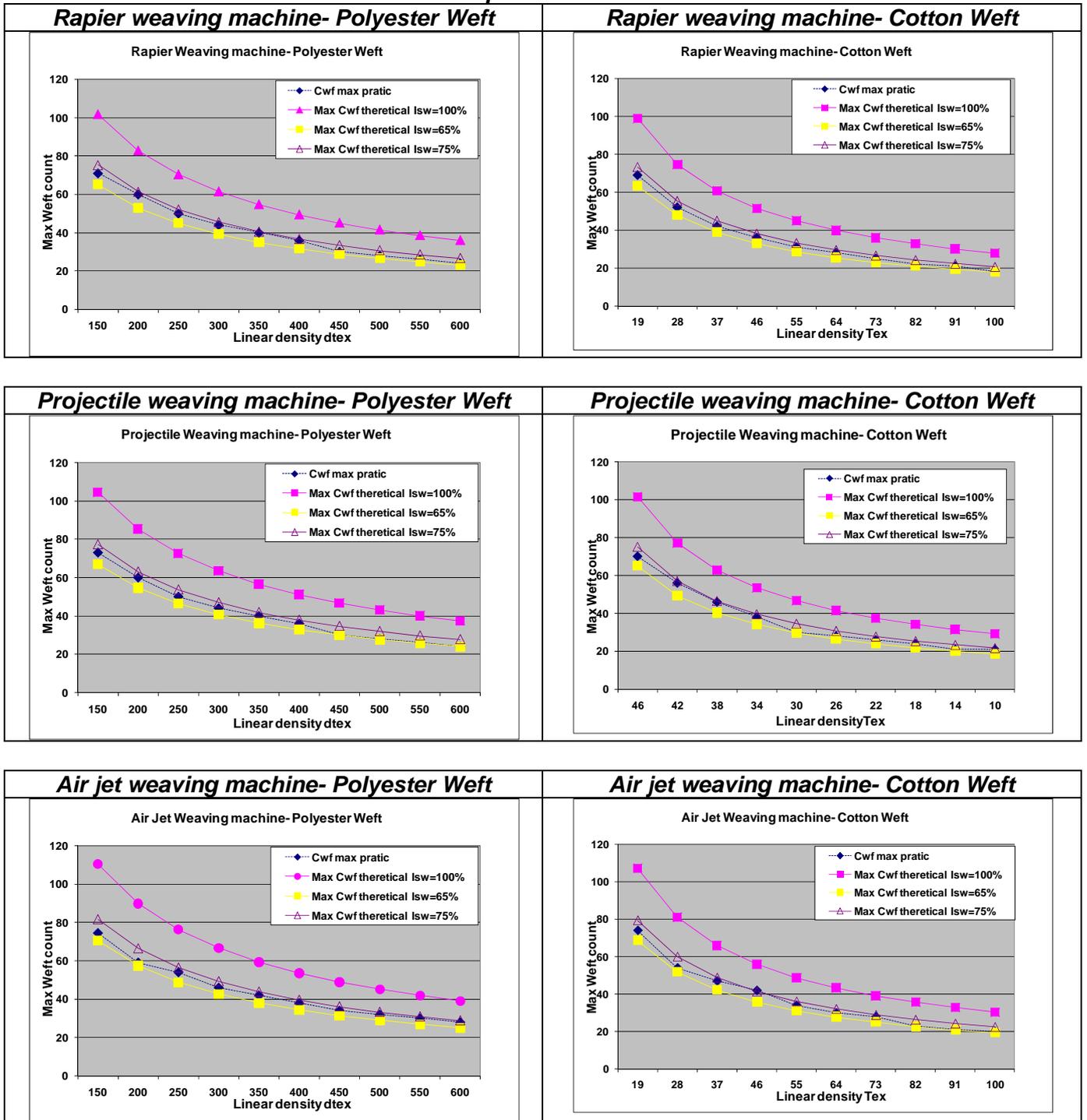
- The diameter of thread is not cylindrical; in particular, threads partially flatten during weaving process(criss-crosses);
- In the most contracted thread count, we may have partial overlap of threads and distortion of these (modification of the obvious diameter),
- The crimp percentage and the take-up percentage are not practically equal to zero in woven fabrics;
- Material density depends on many factors as materiel, curliness, type of spinning, etc.

Therefore it is quite normal that the practical limit of weavability is different from the theoretical limits.

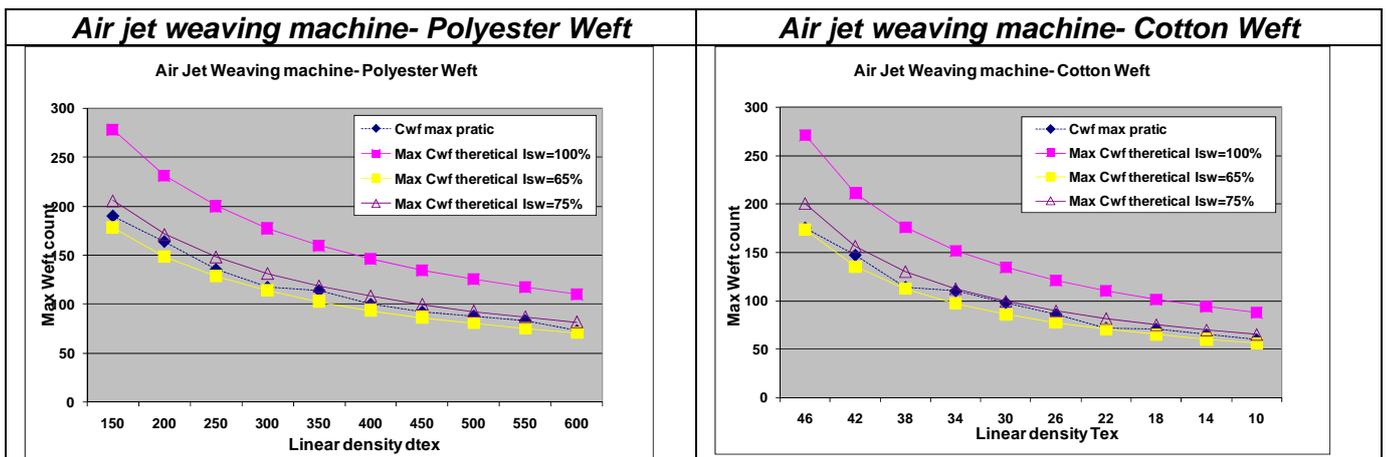
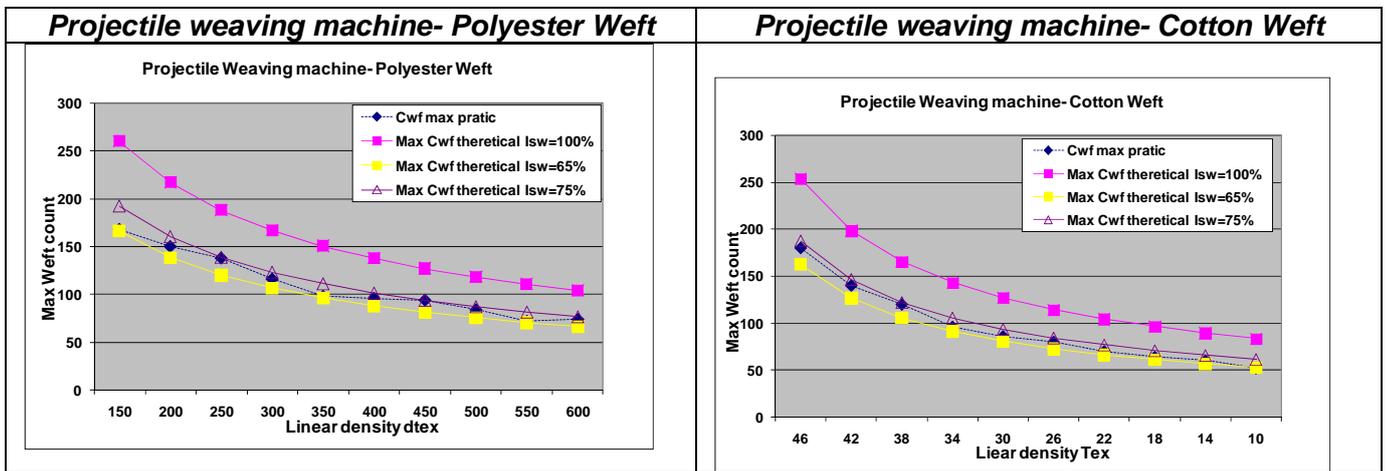
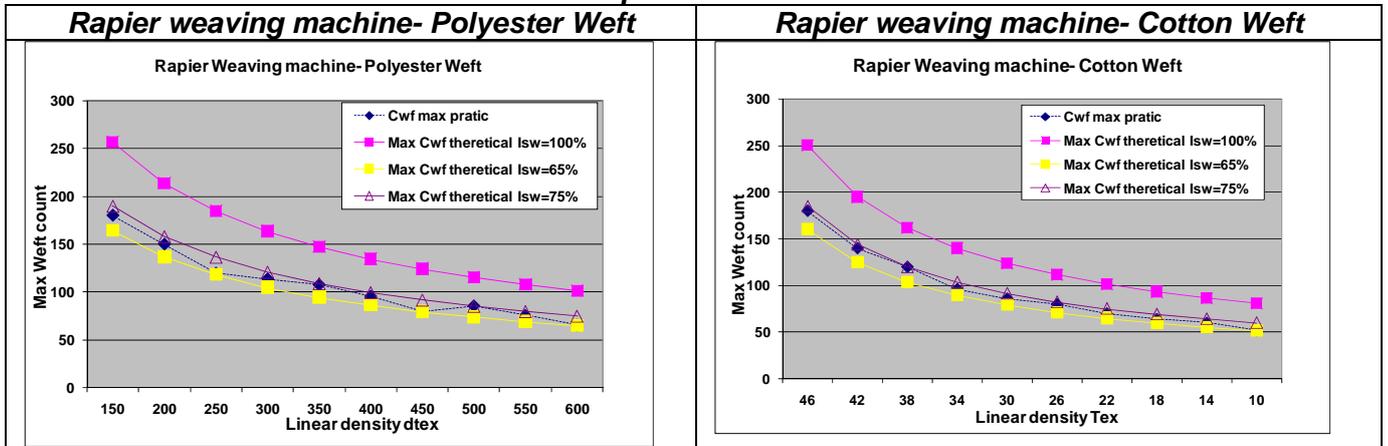
**Validation of the Weavability-limit relationships**

And the experiments, that we conducted, showed that the practical limit of weavability for simple and complex woven fabric is at 70% ( $\pm 5\%$ ) of *Woven fabric Saturation index*

**Simple weave**

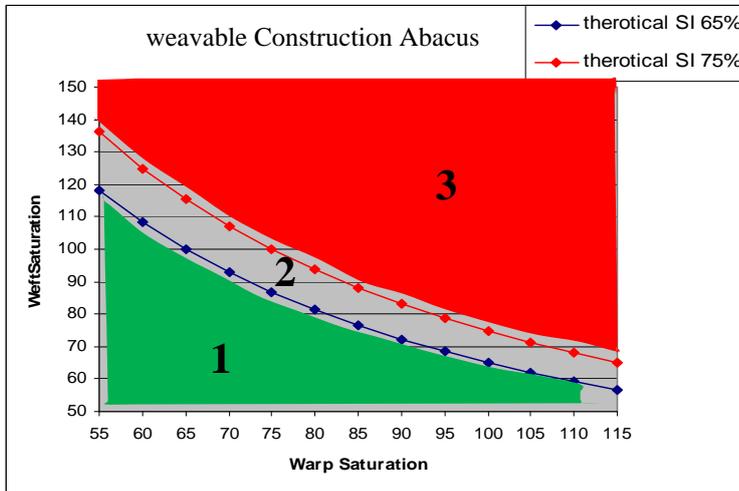


**Complex weave**



**Conclusion and future work**

The theoretical relationships were examined (Table 4: weavability limit and tightness relationships) and found to agree with experimental results. It was concluded that the theoretical relationships and the graphs derived from them were a useful tools for weavers in predicting the weavability of a proposed fabric construction.



- 1: Classical and Technical construction
- 2: Technical woven fabrics construction
- 3: Impossible woven fabrics construction

The weavability limit and tightness relationship, that has just been defined, presents a certain number of substantial advantages:

- They are universally used
- They are independent of the weaving machine used;
- They allow the comparison of different woven fabrics;
- They allow an optimal choice of thread counts

The abacus can be used to choice warp and weft characteristics function of the degree of saturation index we want and also to avoid the unnecessary cost of production while trying to weave saturated contextures. For a given pattern and known warp characteristics, we can predict the weft characteristics and contexture according to the saturation index desired. We can also make the combinations between warp characteristics, weft characteristics and pattern to anticipate the difficulties of weaving using the value of saturation index.

## 2/2 Geometrical Modeling of weight weavability and tightness limit “g/m<sup>2</sup>” for Woven Fabrics Simples and Complexes Weaves

Mohamed Dalal<sup>1</sup>, Jean-Yves Drean<sup>2</sup>, Jean-François Osselin<sup>2</sup>

❖ **REMTEX research laboratory**

<sup>1</sup> Ecole Supérieure des Industries du Textile et de l'habillement  
- ESITH Route d'Eljadida, Km 8 - BP. 7731 Oulfa, Casablanca Morocco  
[dalalmohamed@hotmail.com](mailto:dalalmohamed@hotmail.com) & [dalal@esith.ac.ma](mailto:dalal@esith.ac.ma)

❖ **LPMT research laboratory**

<sup>2</sup> Université de Haute Alsace (UHA), – Laboratoire de Physique et Mécanique Textiles (LPMT)  
EAC 7189,  
68093 Mulhouse, France  
[jy.drean@uha.fr](mailto:jy.drean@uha.fr) & [jf.osselin@uha.fr](mailto:jf.osselin@uha.fr)

### Abstract

The *weight* weavability limit and tightness for 2D and 3D woven fabrics is an important factor and depends on many geometric parameters. Based on a comprehensive review of the literature on textile fabric construction and property, and related research on fabric geometry, a study of the weavability limit and tightness relationships of 2D and 3D woven fabrics was undertaken. Experiments were conducted on representative number of polyester and cotton woven fabrics which have been woven in our workshop, using three machines endowed with different insertion systems (rapier, projectiles and air jet). Afterwards these woven fabrics have been analyzed in the laboratory to determine their physical and mechanical characteristics using air permeability-meter and KES-F KAWABATA Evaluation System for Fabrics.

In this study, the *weight* weavability limit and tightness relationships reviewed are used for 2D and 3D woven fabrics, any fiber materiel, etc... . The new theoretical relationships were examined and found to agree with experimental results. It was concluded that the weavability limit and tightness relationships are useful tools for weavers in predicting whether a proposed fabric construction was weavable and also in predicting and explaining their physical and mechanical properties.

### Key words

Weaving, weavability limit, tightness, saturation index, modelling

### Introduction

During last many years, many works have conducted a considerable amount of research regarding the weavability limit, the maximum number of ends and picks per unit length that can be woven with a given yarn and weave. The driving force behind such research effort is: first, to avoid attempting to weave impossible constructions and thus eliminating unnecessary costly trials, and second, to reduce yarn breakage during weaving and wear of weaving-machine parts. For only simple woven fabrics, the early work focused on conducting experiments that led to empirical relationships [5-8, 19, 20, 34, and 43] that correlated the maximum number of threads per unit length with yam size and weave. Also, more recent research has followed the same theoretical approaches [28, 32, 36-38] to broaden the applications of the weavability-limit relationships.

More recent and current research efforts have been directed toward establishing a standard or reference fabric against which fabrics can be compared. The reference fabric is normally that of maximum construction. The proposed comparison is usually expressed in terms of the ratio of a construction parameter of a given fabric to the corresponding value for the standard fabric. The ratio is termed firmness or tightness. The incentive behind such research is the thought that the physical, mechanical, and aesthetic properties of a fabric can be related to its degree of tightness. Designers would thus have scientific rules to construct fabrics with predetermined end-use

performance. It was found that a wide variety of properties of woven fabrics depend on the degree of tightness [4, 11, 18, 25].

Since most of the research on weavability limit and tightness has been published when natural fibers were still dominant, the derived and proposed relationships are limited to fabrics from wool or cotton fibers. This issue of Textile Progress reviews the soundest research work on the weavability limit, proposed tightness parameters, and the relationship between fabric properties and tightness. But all the relationship weavability limit and tightness published until nowadays are used only for simple woven fabrics and neither for complex woven fabrics nor for all material. And also does not give us true information about weavability limit and tightness.

Therefore, the objective of this new research is to establish a correct standard or reference fabric against which fabrics can be objectively compared. Furthermore, the weavability limit and tightness relationships reviewed are modified to expand their use to general cases (any weave simple or complex, fiber type, etc.). The theoretical relations were examined (Table 4: weavability limit and tightness relationships) and found to agree with experimental results. It was concluded that the theoretical relations and the graphs derived from them were useful tools for weavers in predicting whether a proposed fabric construction was weavable.

### Weave factor and yarn diameter

#### Yarn Diameter

Two important geometrical parameters that are needed for expanding the application of the maximum-weavability and tightness relationships mentioned above are the weave factor and yarn diameter.

Most researchers in this field have assumed the yarn to be a uniform cylinder to facilitate the calculation of the yarn diameter. With such an assumption, the yarn diameter can be written as:

$$d = \frac{1}{100\pi} \cdot \sqrt{\frac{T}{\phi\rho_f}} \quad (1)$$

Where:

$d$  =yarn diameter (cm),  $\rho_f$  = fiber density (g/cm<sup>3</sup>),

$T$ : yarn linear density (tex),  $\phi$  = yarn packing fraction

Equations (1) express the yarn diameter in a universal manner that is adequate for any yarn type (represented by the packing factor  $\phi$ ) and fiber type. The packing factor depends on fiber variables (such as fiber crimp, length, size, cross-section shape, etc.), Yarn parameters (such as twist, spinning method, etc.), and fabric parameters (such as warp and pick densities, weave, etc.).

The packing factors were calculated from diameter measurements in published data [3,5,6,9,10,15,16,19,20,22,24,28,32,34]. With the advances in image-analysis research and technologies, diameter measurements of threads in a fabric can be easily made. There is a need for the accurate measurement of yarn dimensions and cross-sections when the yarn forms a thread in a fabric. Such measurement is beneficial not only in the areas of weavability limit and fabric tightness but also for the precise prediction of fabric's physical and mechanical behavior, such as bending, tensile, and shear properties.

#### Weave Factor

The weave factor is a numerical value that expresses the amount of interlacing of warp and filling (weft) threads and may be used as a tightness factor to compare fabrics if all other construction parameters are the same. It is defined as the ratio of the number of threads to the number of

interlacing. When the weave-interlacing patterns of warp and filling threads are different, two weave factors are needed to be defined:

$$M_1 = \frac{N_1}{i_1} \tag{2}$$

$$M_2 = \frac{N_2}{i_2} \tag{3}$$

Where:

$M_1$  = warp weave factor,  $M_2$  = filling weave factor,

$i_1$  = number of filling intersections per weave repeat,  $i_2$  = number of warp intersections per weave repeat,

$N_1$  = number of warp ends per weave repeat,  $N_2$  = number of filling threads per weave repeat.

Table 1: number of weave intersections

Weave	$N_1$	$i_1$	$N_2$	$i_2$	$M_1$	$M_2$
Plain	2	2	2	2	1	1
2x1Twill	3	2	3	2	1.5	1.5
2X2 Basket	4	2	4	2	2	2
2X2 Twill	4	2	4	2	2	2

In the weaves of Table 1, the number of weave intersections of each warp end (or filling pick) is the same. The weave factors can, then be calculated from one end and one pick, in many weaves. However, the number of intersections of each thread in the weave repeat is not equal. Therefore, to calculate the weave factors  $M_1$  and  $M_2$  of the weave, each warp end and filling pick should be considered. One should observe the intersections of each pick to calculate the warp weave factor. The first pick (counting from the bottom) weaves with ten ends and intersects ten times. The second pick weaves with ten ends and intersects twice.

### Maximum construction theories

#### Ashenhurst's theory of ends plus intersections

The assumptions made by Ashenhurst [3] in developing the maximum sett of woven fabrics are:

(1) Yarns are perfect cylinders and (2) a weave intersection occupies a distance equal to the yarn diameter. Figure 1 shows the geometry of the warp and filling cross-sections of a weave that fits the two assumptions. From the geometry, the general equations of maximum sett for warp and filling threads can be derived as:

$$t_{1max} = \frac{M_1}{M_1 d_1 + d_2} \tag{4}$$

$$t_{2max} = \frac{M_2}{M_2 d_2 + d_1} \tag{5}$$

Where:

$t_{1max}$  = the maximum number of warp ends per unit fabric width,

$t_{2max}$  = the maximum number of picks per unit fabrics length,

$M_1$  = the warp weave factor,

$M_2$  = the filling weave factor,

$d_1$  = the warp-thread diameter,

$d_2$  = the filling-thread diameter.

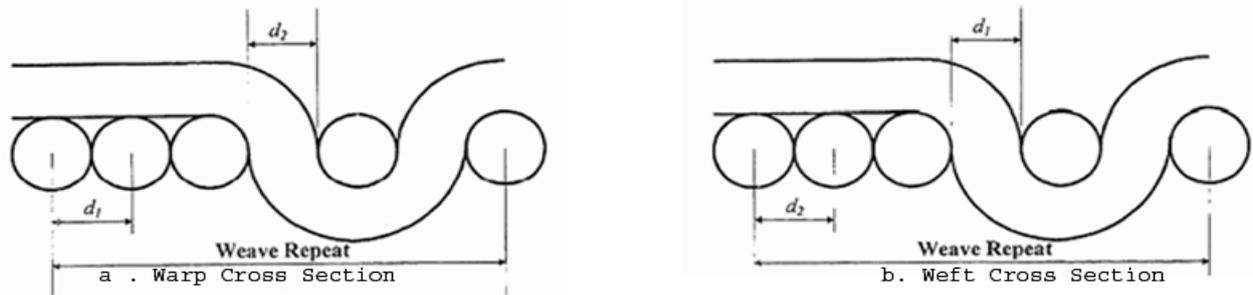


Figure 1: Theory of Ashenhurst's geometry of ends plus intersections

**Peirce's theory of maximum weavability of plain weaves**

Peirce [32] developed a mathematical model to study the fabric geometry of the plain weave by assuming that the threads are uniform cylinders, in-extensible and completely flexible. The geometry of the unit cell (half-repeat) that meets his assumptions is depicted in Figure 2. Using this general geometry, Peirce derived seven relationships relating eleven parameters. From these, a maximum-weavability relationship (Equation 6) for fabrics made of 100% cotton was deduced by applying the so-called jamming condition to the geometrical relationships. The jamming condition is the shortest spacing between threads. This condition can be reached if the straight portions (ab of Figure 2) of the warp and filling threads approach zero.

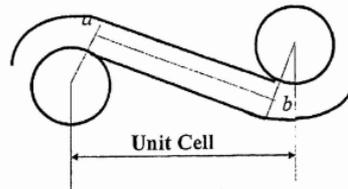


Figure 2: Peirce's geometry of the unit cell for the plain weave

The maximum-weavability relationship mentioned above is:

$$\sqrt{1 - \left\{ \frac{28}{(1 + \beta)K_1} \right\}^2} + \sqrt{1 - \left\{ \frac{28\beta}{(1 + \beta)K_2} \right\}^2} = 1 \tag{6}$$

$K_1$ = the warp cover factor = end per inch/ (cotton count of warp)<sup>1/2</sup>  
 $K_2$ = the filling cover factor = picks per inch/ (cotton count of filling)<sup>1/2</sup>  
 $\beta$ = the thread balance =  $d_2/d_1$

Equation (6) is limited to plain-weave fabrics woven from 100% cotton yarns.

**Love's maximum-weavability relationships**

Love [28] expanded Peirce's work and derived maximum-weavability equations for fabrics in other simple weaves made from cotton yarns. Love assumed that the threads under the float followed a racetrack shape with a uniform density that was equal to that of the original circular yam. Figure 3 shows Love's geometry for three-, four-, and five-harness weaves.

Equations (7)-(9) show Love's weavability-limit relationships for these three weaves, respectively:

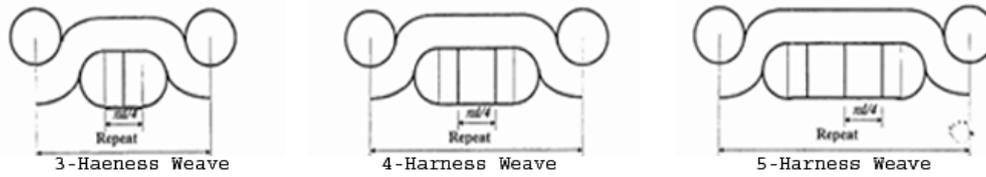


Figure 3: Love's geometry of the racetrack shape of threads under floats

$$\sqrt{1 - \left\{ \frac{M(30.2/K_1 - 1) + 1.08}{1.08(1 + \beta)} \right\}^2} + \sqrt{1 - \left\{ \frac{\{M(30.2/K_2 - 1) + 1.08\}\beta}{1.08(1 + \beta)} \right\}^2} = 1 \quad (7)$$

$$\sqrt{1 - \left\{ \frac{M(31.4/K_1 - 1) + 1.12}{1.12(1 + \beta)} \right\}^2} + \sqrt{1 - \left\{ \frac{\{M(31.4/K_2 - 1) + 1.12\}\beta}{1.12(1 + \beta)} \right\}^2} = 1 \quad (8)$$

$$\sqrt{1 - \left\{ \frac{M(32.2/K_1 - 1) + 1.15}{1.15(1 + \beta)} \right\}^2} + \sqrt{1 - \left\{ \frac{\{M(32.2/K_2 - 1) + 1.15\}\beta}{1.15(1 + \beta)} \right\}^2} = 1 \quad (9)$$

### Standard fabric and degree of tightness

#### Definition and objective

In an attempt to help the woven-fabric designers, the researchers have tried to come up with a reference fabric that can be used to describe a cloth. The ratio of the cloth-construction parameter(s) to the corresponding parameter(s) of the reference fabric was termed the "fabric tightness". As mentioned above, the objective of developing fabric tightness was to check whether fabric properties could be related to fabric tightness so that the designers could develop fabrics with a certain performance. Additionally, knowledge of fabric tightness could be useful in constructing similar fabrics that may differ in one or more of the construction parameters. In this section, the soundest work on tightness and its applications is reviewed.

#### Peirce's tightness (Cloth cover)

Peirce [32] defined the cloth cover, which is proportional to the ratio of the area covered by the warp and filling threads to the area covered by the fabric, in terms of the warp and filling cover factors as:

$$K_f = K_1 + K_2 - \frac{K_1 K_2}{28} \quad (10)$$

His cloth cover can be used as a basis for designing similar cloths, since fabrics of the same Cover would possess similar properties, such as hand and passage of light, water, or air. It is obvious, however, that Equation (18) does not account for the weave, and it is a well-known fact that fabrics with different weaves show different behaviors. The use of the cover to determine the construction of a similar fabric to a given fabric should be limited to the same type of weaves.

#### Love's tightness

Love [28] recommended the use of maximum cover factors as estimated from Equations (II)-( 14) as a reference in expressing fabric tightness. He defined three values of tightness (fabric tightness Tf, warp tightness T1 and filling tightness T2) as;

$$T_f = \frac{K_{1o} + K_{2o}}{K_{1max} + K_{2max}} \quad (11)$$

$$T_1 = \frac{K_{1o}}{K_{1max}} \quad (12)$$

$$T_2 = \frac{K_{2o}}{K_{2max}} \quad (13)$$

The subscript 'o' in the above equations stands for an observed (a given) fabric and 'max' for maximum cover factors. The values of t are calculated from one of the Equations (6)-(9), depending on the weave of the observed fabric. This method is somewhat complex, since there are an infinite number of reference fabrics.

### Russell's tightness

Russell [34] suggested a tightness calculation (he termed it 'construction factor') based on the maximum sett of Ashenhurst's theory of ends plus intersections [3]. For given yarns and a given weave, maximum sett of this type would have only one set of values. In other words, the reference fabric is unique. The fabric, warp, and filling construction factors are defined, respectively, as:

$$C_f = \frac{t_1 + t_2}{t_{1max} + t_{2max}} \quad (14)$$

$$C_1 = \frac{t_1}{t_{1max}} \quad (15)$$

$$C_2 = \frac{t_2}{t_{2max}} \quad (16)$$

Where:

$t_1$  = end density,  $t_2$  = pick density,  $t_{1max}$  = maximum end density, and  $t_{2max}$  = maximum pick density.

The maximum end and pick density can be estimated from Equations (4) and (5).

Russell's suggestion offers designers flexibility. Since the standard fabrics take weaves into consideration, then the method can be used to compare the tightness values of fabrics with different weaves. The warp-tightness calculations account for the filling and vice versa, which means that, for fabrics made of the same warp and different filling yarns, the warp tightness is affected.

**Galuszynski's tightness**

Galuszynski [18] argued that the fabric tightness defined by Russell does not consider the weave type (satin, twill, etc.). For this reason, he suggested the use of Brierley's empirical formula "Equation (10)" instead of the equations of ends plus intersections.

**Seyam and El-Shiekh's tightness**

Seyam and El-Shiekh [40] compared Russell's tightness, which is based on Ashenhurst's theory of ends plus intersections, and Galuszynski's tightness, which is based on Brierley's experimental work. The comparison showed that Russell's tightness is close to Galuszynski's for plain weaves, twill weaves up to eight-harness, satin weaves up to seven-harness, and basket weaves up to six end (3 x3 basket). To widen the application of tightness that is based on theory, Seyam and El-Shiekh proposed the geometry of Figure 4 as the geometry of the reference fabric in the tightness calculation. This geometry is a combination of the theory of ends plus intersections and the racetrack shape for the threads under a float.

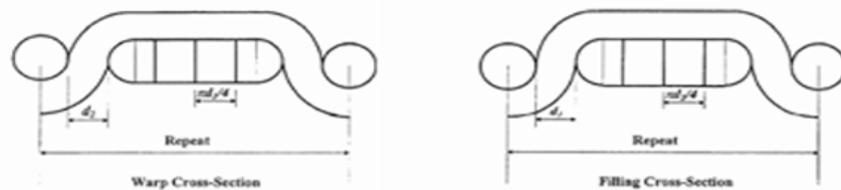


Figure 4: Seyam and El-Shiekh's geometry of a reference fabric

From the geometry of Figure 4, the present author derived the general equations of end and pick densities of the reference fabric as follows:

$$t_{1max} = \frac{M_1}{\frac{\pi}{4}(M_1 - 1)d_1 + d_1 + d_2} \tag{17}$$

$$t_{2max} = \frac{M_2}{\frac{\pi}{4}(M_2 - 1)d_2 + d_2 + d_1} \tag{18}$$

Seyam and El-Shiekh compared their tightness to Galuszynski's and found that the proposed new tightness could be used for plain weaves, twill weaves up to thirteen-harness, satin weaves up to ten-harness, and basket weaves up to eight-end (4 x4 basket). In practice, these weaves represent more than 90% of the weaves used to construct fabrics.

**Indice de Booten :**

Where:

- Cwp : Warp count per cm
- Cwf : Weft count per cm
- Twp : Warp linear density Tex
- Twf : Weft linear density Tex
- Nwf : Weft number of face change by report
- Nwp : Warp number of face change by report
- Rwp : Warp pattern report
- Rwf : Weft pattern report
- $\rho_f$  : fiber density (g/cm<sup>3</sup>)

Interpretation:

Booten admits that Warp saturation index and Weft saturation index should not exceed the 80 to 85 that corresponding to a maximum of 64 to 72 for the Woven fabric

**Mohamed Dalal Tightness “Weavability limit and tightness relationships”**

Following the same theoretical approaches, considering simples and complexes woven fabrics and adding that we can never had straight warp and straight weft at the same time; we have establish a correct standard or reference fabric against which fabrics can be objectively compared. Furthermore, the weavability limit and tightness relationships reviewed (fig 5)[46] are modified to expand their use to general cases (any weave simple or complex, fiber type, etc.).

And the difficulty of weavability is provided by a general indication (warp and weft):

$$I_{sw} = \frac{I_{swp} \cdot I_{swf}}{100}$$

With:

$$\text{Warp saturation index} \Rightarrow I_{swarp}\% = 100 \times \frac{C_{wp}}{C_{wp_{max}}}$$

$$\text{Weft saturation index} \Rightarrow I_{sweft}\% = 100 \cdot \frac{C_{wf}}{C_{wf_{max}}}$$

Fig. 5: Mohamed Dalal Weavability limit and tightness relationships [41]

Woven Fabrics	Warp and Weft Saturation Index	
1 Warp + 1 Weft	$\alpha = 0$	$I_{swp} = K \times C_{wp} \times \left( \sqrt{\frac{T_{wp}}{\phi \rho_{fwp}}} + (1 - \alpha) \frac{N_{wf}}{R_{wp}} \sqrt{\frac{T_{wf}}{\phi \rho_{fwf}}} \right)$
	or $\alpha = 1$	$I_{swf} = K \times C_{wf} \times \left( \sqrt{\frac{T_{wf}}{\phi \rho_{fwf}}} + \alpha \frac{N_{wp}}{R_{wf}} \sqrt{\frac{T_{wp}}{\phi \rho_{fwp}}} \right)$
1 Warp + n Wefts	$\alpha = 1$	$I_{swp} = K \times C_{wp} \times \left( \sqrt{\frac{T_{wp}}{\phi \rho_{fwp}}} + \alpha \sum_{i=1}^n \frac{N_{wf_n}}{R_{wp}} \times \sqrt{\frac{T_{wf_n}}{\phi \rho_{fwf_n}}} \right)$
		$I_{swf} = Sup_n \left\{ K \times P_{wf_n} \times C_{wf} \times \left( \sqrt{\frac{T_{wf_n}}{\phi \rho_{fwf_n}}} + (1 - \alpha) \frac{N_{wp}}{R_{wf_n}} \sqrt{\frac{T_{wp}}{\phi \rho_{fwp}}} \right) \right\}$
n Warps + 1 Weft	$\alpha = 0$	$I_{swp} = Sup_n \left\{ K \times P_{wp_n} \times C_{wp} \times \left( \sqrt{\frac{T_{wp_n}}{\phi \rho_{fwp_n}}} + \alpha \frac{N_{wf}}{R_{wp_n}} \sqrt{\frac{T_{wf}}{\phi \rho_{fwf}}} \right) \right\}$
		$I_{swf} = K \times C_{wf} \times \left( \sqrt{\frac{T_{wf}}{\phi \rho_{fwf}}} + (1 - \alpha) \sum_{i=1}^n \frac{N_{wp_n}}{R_{wf}} \times \sqrt{\frac{T_{wp_n}}{\phi \rho_{fwp_n}}} \right)$

Parameters

With :

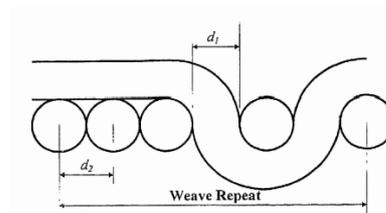
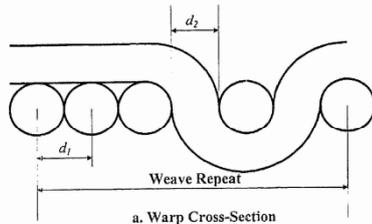
- d1 : warp-thread diameter,
- d2 : filling-thread diameter.
- Cwp : Warp count per cm
- Cwf : Weft count per cm
- Pwf : Proportion of weft
- Twp : Warp linear density Tex
- Twf : Weft linear density Tex
- Nwf : Weft number of face change by report
- Nwp : Warp number of face change by report

Rwp : Warp pattern report  
 Rwf : Weft pattern report  
 n : Number of wefts (or warps)

$\rho_f$  : Fiber density (g/cm<sup>3</sup>),  
 $\phi$  : Yarn packing fraction

With:

First case : $\alpha = 0$	Second case : $\alpha = 1$
Straight Warp and Maximal Crimped Weft	Maximal Crimped Warp and Straight Weft



we can never had straight warp and straight weft at the same time

The Mohamed Dalal Weavability-limit relationships [46]

$$I_{sw} = \frac{I_{swp} \times I_{swf}}{100} = 70 \pm 5\%$$

## NEW RESEARCH AND NEWS RELATIONSHIPS

### Definition and objective

The weight weavability limit is the maximum weight g/m<sup>2</sup> that can be weaved in the saturation weaving conditions for predetermined pattern and woven fabric contexture (warp and weft). This limit can be determined empirically and is based on simplified structures of woven fabrics "Mohamed Dalal Weavability-limit relationships [46]".

Following the same theoretical approaches [46], we have establish a weight weavability limit g/m<sup>2</sup> for simples and complexes woven fabrics against which fabrics can be objectively compared. Furthermore, the weight weavability limit and tightness relationships can be used for any weave simple or complex, fiber type, etc.).

So in practice, we usually assimilate the limit of weavability to the maximal weft count which can be reached in the optimal adjustment conditions of the machine, for a woven fabric and using a predetermined weaving machine.

It is necessary to note that

- This limit can be determined only empirically and it requires preliminary test for every woven fabric;
- The limit of weavability which corresponds to an acceptable rate of breakage and quality is lower to the technical limit.

For these reasons, it is interesting to arrange a mathematical model based on simplified structures of woven fabrics, which allows encoding the difficulty to weave a woven fabric of which pattern and contexture are known beforehand. The limit the weight weavability limit and tightness as defined will constitute the limit of weavability whatever is the machine used.

The difficulty to weave a fabric can come from:

- The warp contexture
- The weft contexture
- Both contextures

It is therefore necessary to consider each of these factors separately.

On the condition of defining a maximal warp count (respectively weft count) corresponding to a given linear density of yarn, the indication of saturation can be expressed as follows:

- For the warp by the report of the warp weight  $g/m^2$  on the maximal warp weight  $g/m^2$  account =  $Wlswp$

- For the weft, by the report of the weft weight  $g/m^2$  on the maximal weft weight  $g/m^2$  =  $Wlswf$

In order to facilitate its expressions, we provide the values in percent “%”

$$\text{Weight Warp saturation index} \Rightarrow Wlswarp\% = 100 \times \frac{Wwarp(g/m^2)}{Wwarp_{max}(g/m^2)}$$

$$\text{Weight Weft saturation index} \Rightarrow Wlsweft\% = 100 \times \frac{Cweft(g/m^2)}{Cweft_{max}(g/m^2)}$$

And the difficulty of weavability is provided by a general indication (warp and weft):

$$\text{Weight Woven fabric saturation index} \Rightarrow Wlsw = \frac{Wwarp(g/m^2) + Wweft(g/m^2)}{Wwarp_{max}(g/m^2) + Wweft_{max}(g/m^2)} \times 100$$

The saturation index is the weight percentage ratio of the actual weight (warp + weft) of the fabric of the maximum (warp + weft)

### **Determinations of $Wlswp$ , $Wlswf$ and $Wlsw$**

The warp count being known, it is sufficient to determine its maximal. For that, it is necessary to make three assumptions previously:

Assumption1: threads have a cylindrical section

Assumption2: in the case of the most contracted contexture, threads are contiguous under floating and are separated only by a thread thickness (therefore of the value of a diameter, according to the “1st Assumption” at the time of face changes.

Assumption3: the linear density and material areal density ( $g/cm^3$ ) are known and homogeneous.

Assumption4: The material between the warp thread at weft thread changing face is treated as a continuous weft thread embedded in the warp direction (parallel to the warp thread) and his linear density is function of the space occupied. And the material between the weft thread at warp thread changing face is treated as a continuous warp thread embedded in the warp direction (parallel to the weft thread) and his linear density is function of the space occupied

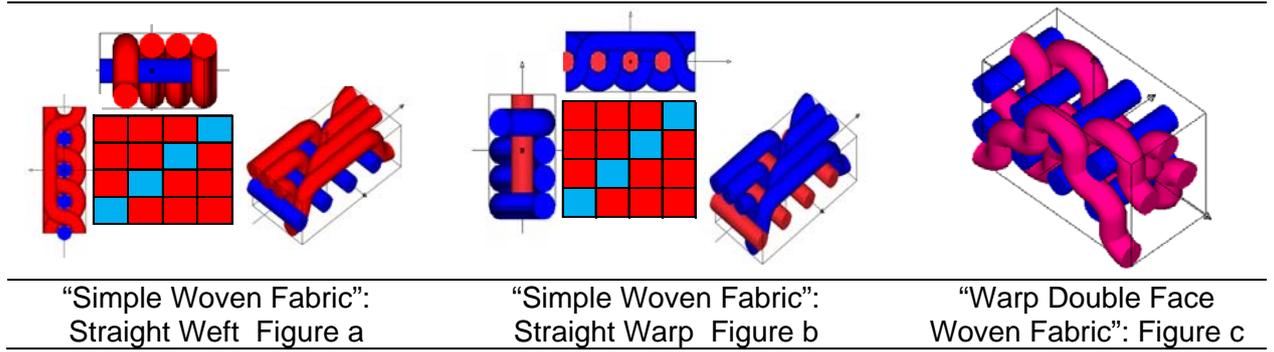
Remarks:

1/ It is obvious that the structure of the face (figure 5) can represent the warp thread and the weft thread at a time because it supposes that the crimp percentage and take-up percentage are simultaneously equal to zero, which is impossible.

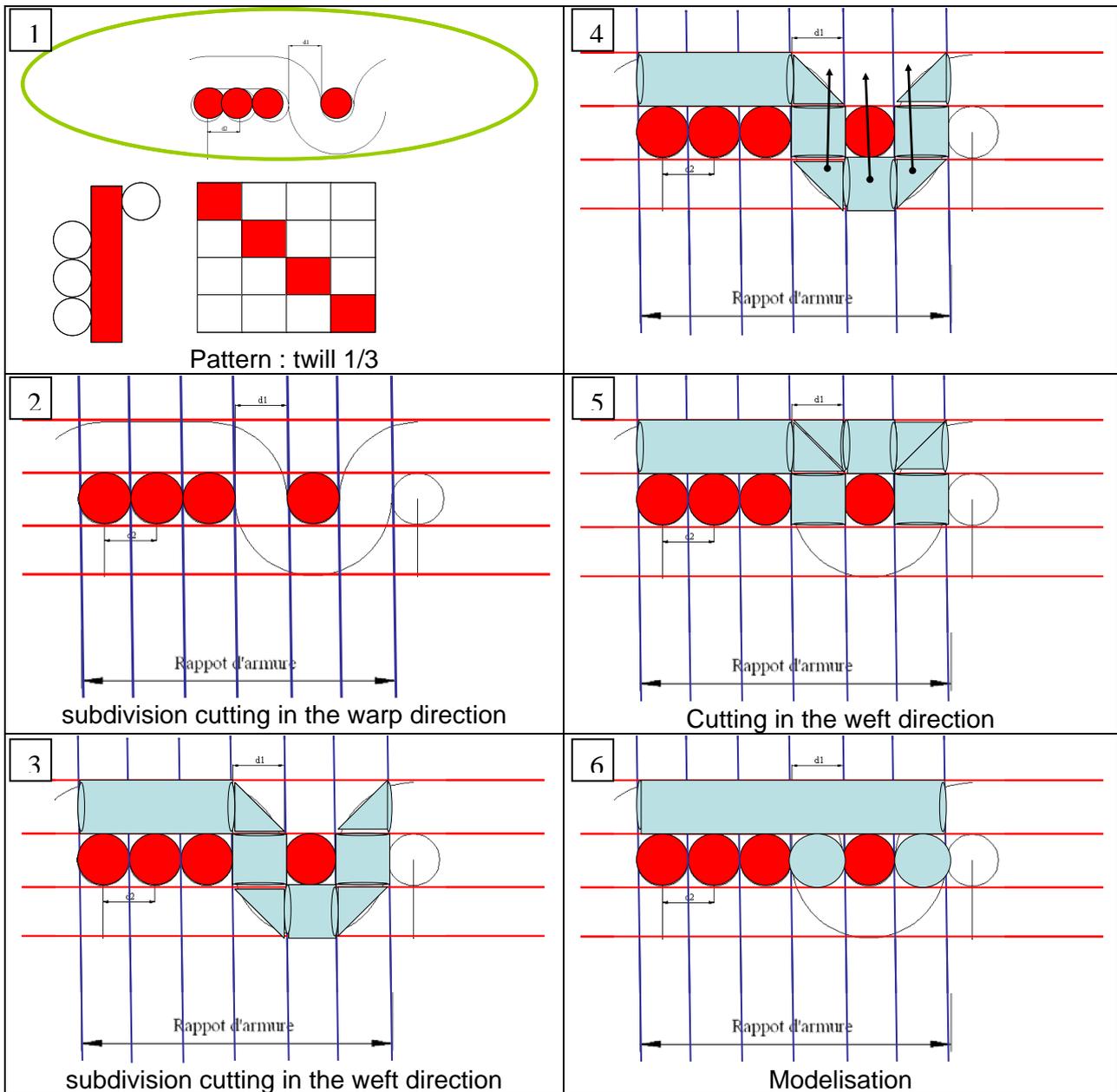
2/ In general the material areal density is known but not the thread; therefore it is preferable to measure the diameter rather than to calculate it. And the surest method consists in measuring the obvious diameter of thread by an optic method on a big number of measures to have a sufficient statistical precision.

Unfortunately this method is time consuming and is more practical to calculate it from the linear density.

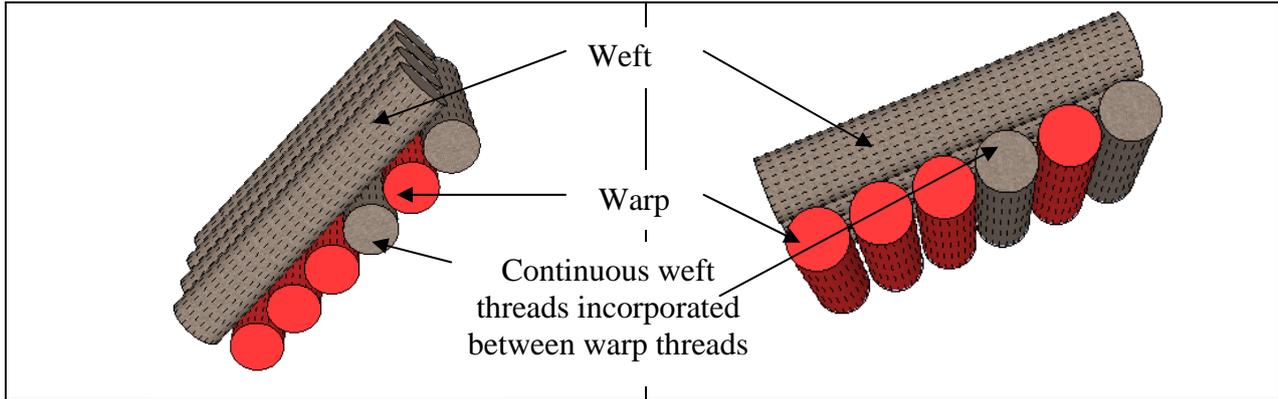
Example of design



**Fig 6: Method of Modelling woven fabrics to calculate their maximum Weight : Steps 1 à 6  
Based on Straight Warp and Maximal Crimped Weft**



La modelisation en 3D



**Demonstration for simple woven fabrics “1 Warp + 1 Weft”:**

From the geometry of the warp and weft cross-sections of a weave (Fig 5) and the Method of Modelling woven fabrics to calculate the maximum Weight (fig 6) and using the 4 assumptions made in developing the maximum weight of woven fabrics, the general equations of maximum weight for warp and weft threads can be derived as:

$$C_{wp_{max}} = \frac{R_{wp}}{R_{wp} \cdot d_1 + (1 - \alpha) \cdot N_{wf} \cdot d_2} \quad (19) \quad \text{and} \quad C_{wf_{max}} = \frac{R_{wf}}{\alpha \cdot N_{wp} \cdot d_1 + R_{wf} \cdot d_2} \quad (20)$$

$$W_{warp_{max}}(g/m^2) = \frac{C_{wp_{max}} \times T_{wp}}{10} + \alpha \cdot \frac{CN_{wp_{max}} \times (d_2/d_1) T_{wp}}{10} \quad (21)$$

$$W_{weft_{max}}(g/m^2) = \frac{C_{wf_{max}} \times T_{wf}}{10} + (1 - \alpha) \frac{CN_{wf_{max}} \times (d_1/d_2) T_{wf}}{10} \quad (22)$$

$$CN_{wf_{max}} = \frac{(1 - \alpha) \cdot N_{wf}}{R_{wp} \cdot d_1 + N_{wf} \cdot d_2} \quad (23)$$

$$CN_{wp_{max}} = \frac{\alpha \cdot N_{wp}}{R_{wf} \cdot d_2 + N_{wp} \cdot d_1} \quad (24)$$

Using equations (19), (20), (21), (22), (23), (24) and (1)  $d = \frac{1}{100\pi} \cdot \sqrt{\frac{T}{\phi \rho_f}}$  we can express the following relationship:

Maximum warp Weight g/m<sup>2</sup>

$$W_{warp_{max}}(g/m^2) = \frac{C_{wp_{max}} \times T_{wp}}{10} + \alpha \cdot \frac{CN_{wp_{max}} \times (d_2/d_1) T_{wp}}{10} \quad (25)$$

$$W_{warp_{max}}(g/m^2) = \frac{R_{wp} \times T_{wp}}{10 \times (R_{wp} \cdot d_1 + (1 - \alpha) \cdot N_{wf} \cdot d_2)} + \alpha \cdot \frac{N_{wp} \times (d_2/d_1) T_{wp}}{10 \times (R_{wf} \cdot d_2 + N_{wp} \cdot d_1)} \quad (26)$$

$$Wwarp_{max}(g/m^2) = \frac{Rwp \times Twp}{10 \cdot k \times (Rwp \cdot \sqrt{\frac{Twp}{\phi \rho_{fwp}}} + (1 - \alpha) \cdot Nwf \cdot \sqrt{\frac{Twf}{\phi \rho_{fwf}}})} + \alpha \cdot \frac{Nwp \times (\sqrt{\frac{Twf}{\phi \rho_{fwf}}} / \sqrt{\frac{Twp}{\phi \rho_{fwp}}}) Twp}{10 \cdot k \times (Rwf \times \sqrt{\frac{Twf}{\phi \rho_{fwf}}} + Nwp \times \sqrt{\frac{Twp}{\phi \rho_{fwp}}})} \quad (27)$$

Maximum weft Weight g/m<sup>2</sup>

$$Wweft_{max}(g/m^2) = \frac{Cwft_{max} \times Twf}{10} + (1 - \alpha) \frac{CNwf_{max} \times (d_1 / d_2) Twf}{10} \quad (28)$$

$$Wweft_{max}(g/m^2) = \frac{Rwf \times Twf}{10 \times (\alpha \cdot Nwp \cdot d_1 + Rwf \cdot d_2)} + (1 - \alpha) \frac{Nwf \times (d_1 / d_2) Twf}{10 \times (Rwp \cdot d_1 + Nwf \cdot d_2)} \quad (29)$$

$$Wweft_{max}(g/m^2) = \frac{Rwf \times Twf}{10 \cdot k \times (\alpha \cdot Nwp \cdot \sqrt{\frac{Twp}{\phi \rho_{fwp}}} + Rwf \cdot \sqrt{\frac{Twf}{\phi \rho_{fwf}}})} + (1 - \alpha) \frac{Nwf \times (\sqrt{\frac{Twp}{\phi \rho_{fwp}}} / \sqrt{\frac{Twf}{\phi \rho_{fwf}}}) Twf}{10 \cdot k \times (Rwp \cdot \sqrt{\frac{Twp}{\phi \rho_{fwp}}} + Nwf \cdot \sqrt{\frac{Twf}{\phi \rho_{fwf}}})} \quad (31)$$

Maximum woven fabrics Weight g/m<sup>2</sup>

$$Wweave_{max}(g/m^2) = Wweft_{max}(g/m^2) + Wwarp_{max}(g/m^2) \quad (32)$$

$$Wwarp_{max}(g/m^2) = \frac{Rwp \times Twp}{10 \cdot k \times (Rwp \cdot \sqrt{\frac{Twp}{\phi \rho_{fwp}}} + (1 - \alpha) \cdot Nwf \cdot \sqrt{\frac{Twf}{\phi \rho_{fwf}}})} + \alpha \cdot \frac{Nwp \times (\sqrt{\frac{Twf}{\phi \rho_{fwf}}} / \sqrt{\frac{Twp}{\phi \rho_{fwp}}}) Twp}{10 \cdot k \times (Rwf \cdot \sqrt{\frac{Twf}{\phi \rho_{fwf}}} + Nwp \cdot \sqrt{\frac{Twp}{\phi \rho_{fwp}}})} \quad (33)$$

$$Wweft_{max}(g/m^2) = \frac{Rwf \times Twf}{10 \cdot k \times (\alpha \cdot Nwp \cdot \sqrt{\frac{Twp}{\phi \rho_{fwp}}} + Rwf \cdot \sqrt{\frac{Twf}{\phi \rho_{fwf}}})} + (1 - \alpha) \frac{Nwf \times (\sqrt{\frac{Twp}{\phi \rho_{fwp}}} / \sqrt{\frac{Twf}{\phi \rho_{fwf}}}) Twf}{10 \cdot k \times (Rwp \cdot \sqrt{\frac{Twp}{\phi \rho_{fwp}}} + Nwf \cdot \sqrt{\frac{Twf}{\phi \rho_{fwf}}})} \quad (34)$$

Where:

Where:

- d1 : warp-thread diameter,
- d2 : filling-thread diameter.
- Cwp : Warp count per cm
- Cwf : Weft count per cm
- Twp : Warp linear density Tex
- Twf : Weft linear density Tex
- Nwf : Weft number of face change by report
- Nwp : Warp number of face change by report
- Rwp : Warp pattern report
- Rwf : Weft pattern report
- $\phi \rho_f$  : Fiber density (g/cm<sup>3</sup>)
- $\phi$  : Yarn packing fraction

First case :  $\alpha = 0$   
Straight Warp and Maximal Crimped Weft

$$Wwarp_{max}(g/m^2) = \frac{Rwp \times Twp}{10 \cdot k \times (Rwp \cdot \sqrt{\frac{Twp}{\phi\rho_{fwp}}} + Nwf \cdot \sqrt{\frac{Twf}{\phi\rho_{fwf}}})}$$

$$Wwft_{max}(g/m^2) = \frac{1}{10 \cdot k} \left\{ \sqrt{Twp \times \phi\rho_{fwp}} + \frac{Nwf \times (\sqrt{\frac{Twp}{\phi\rho_{fwp}}} / \sqrt{\frac{Twf}{\phi\rho_{fwf}}}) Twf}{(Rwp \cdot \sqrt{\frac{Twp}{\phi\rho_{fwp}}} + Nwf \cdot \sqrt{\frac{Twf}{\phi\rho_{fwf}}})} \right\} \quad (35)$$

Second case :  $\alpha = 1$   
Maximal Crimped Warp and Straight Weft

$$Wwarp_{max}(g/m^2) = \frac{1}{10 \cdot k} \left\{ \sqrt{Twp \times \phi\rho_{fwp}} + \frac{Nwp \times (\sqrt{\frac{Twf}{\phi\rho_{fwf}}} / \sqrt{\frac{Twp}{\phi\rho_{fwp}}}) Twp}{10 \times (Rwf \cdot \sqrt{\frac{Twf}{\phi\rho_{fwf}}} + Nwp \cdot \sqrt{\frac{Twp}{\phi\rho_{fwp}}})} \right\}$$

$$Wwft_{max}(g/m^2) = \frac{Rwf \times Twf}{10 \cdot k \times (Nwp \cdot \sqrt{\frac{Twp}{\phi\rho_{fwp}}} + Rwf \cdot \sqrt{\frac{Twf}{\phi\rho_{fwf}}})} \quad (36)$$

Using same a way we can demonstrate that:  
Table 4: weight weavability limit and tightness relationships

Woven Fabrics	Maximum Warp and Weft Weight g/m <sup>2</sup>
1 Warp + 1 Weft	$Wwarp_{max}(g/m^2) = \frac{Rwp \times Twp}{10 \cdot k \times (Rwp \cdot \sqrt{\frac{Twp}{\phi\rho_{fwp}}} + (1 - \alpha) \cdot Nwf \cdot \sqrt{\frac{Twf}{\phi\rho_{fwf}}})} + \alpha \cdot \frac{Nwp \times (\sqrt{\frac{Twf}{\phi\rho_{fwf}}} / \sqrt{\frac{Twp}{\phi\rho_{fwp}}}) Twp}{10 \cdot k \times (Rwf \cdot \sqrt{\frac{Twf}{\phi\rho_{fwf}}} + Nwp \cdot \sqrt{\frac{Twp}{\phi\rho_{fwp}}})}$ $Wwft_{max}(g/m^2) = \frac{Rwf \times Twf}{10 \cdot k \times (\alpha \cdot Nwp \cdot \sqrt{\frac{Twp}{\phi\rho_{fwp}}} + Rwf \cdot \sqrt{\frac{Twf}{\phi\rho_{fwf}}})} + (1 - \alpha) \cdot \frac{Nwf \times (\sqrt{\frac{Twp}{\phi\rho_{fwp}}} / \sqrt{\frac{Twf}{\phi\rho_{fwf}}}) Twf}{10 \cdot k \times (Rwp \cdot \sqrt{\frac{Twp}{\phi\rho_{fwp}}} + Nwf \cdot \sqrt{\frac{Twf}{\phi\rho_{fwf}}})}$
1 Warp + n Wefts	$Wwarp_{max}(g/m^2) = \frac{Rwp \times Twp}{10 \cdot k \times (Rwp \cdot \sqrt{\frac{Twp}{\phi\rho_{fwp}}} + (1 - \alpha) \cdot \sum_i^n Nwfi \cdot \sqrt{\frac{Twf_i}{\phi\rho_{fwfi}}})} + \alpha \cdot \sum_i^n \frac{Nwp \times (\sqrt{\frac{Twf_i}{\phi\rho_{fwfi}}} / \sqrt{\frac{Twp}{\phi\rho_{fwp}}}) Twp}{10 \cdot k \times (Rwf_i \cdot \sqrt{\frac{Twf_i}{\phi\rho_{fwfi}}} + Nwp \cdot \sqrt{\frac{Twp}{\phi\rho_{fwp}}})}$ $Wwft_{max}(g/m^2) = \sum_i^n \frac{Rwf_i \times Twf_i}{10 \cdot k \times (\alpha \cdot Nwp \cdot \sqrt{\frac{Twp}{\phi\rho_{fwp}}} + Rwf_i \cdot \sqrt{\frac{Twf_i}{\phi\rho_{fwfi}}})} + (1 - \alpha) \sum_i^n \frac{Nwf \times (\sqrt{\frac{Twp}{\phi\rho_{fwp}}} / \sqrt{\frac{Twf_i}{\phi\rho_{fwfi}}}) Twf}{10 \cdot k \times (Rwp \cdot \sqrt{\frac{Twp}{\phi\rho_{fwp}}} + Nwf_i \cdot \sqrt{\frac{Twf_i}{\phi\rho_{fwfi}}})}$
n Warps + 1 Weft	$Wwarp_{max}(g/m^2) = \sum_i^n \frac{Rwp_i \times Twp_i}{10 \cdot k \times (Rwp_i \cdot \sqrt{\frac{Twp_i}{\phi\rho_{fwp_i}}} + (1 - \alpha) \cdot Nwf \cdot \sqrt{\frac{Twf}{\phi\rho_{fwf}}})} + \alpha \cdot \sum_i^n \frac{Nwp_i \times (\sqrt{\frac{Twf}{\phi\rho_{fwf}}} / \sqrt{\frac{Twp_i}{\phi\rho_{fwp_i}}}) Twp_i}{10 \cdot k \times (Rwf \cdot \sqrt{\frac{Twf}{\phi\rho_{fwf}}} + Nwp_i \cdot \sqrt{\frac{Twp_i}{\phi\rho_{fwp_i}}})}$ $Wwft_{max}(g/m^2) = \frac{Rwf \times Twf}{10 \cdot k \times (\alpha \cdot \sum_i^n Nwp_i \cdot \sqrt{\frac{Twp_i}{\phi\rho_{fwp_i}}} + Rwf \cdot \sqrt{\frac{Twf}{\phi\rho_{fwf}}})} + (1 - \alpha) \sum_i^n \frac{Nwf \times (\sqrt{\frac{Twp_i}{\phi\rho_{fwp_i}}} / \sqrt{\frac{Twf}{\phi\rho_{fwf}}}) Twf}{10 \cdot k \times (Rwp_i \cdot \sqrt{\frac{Twp_i}{\phi\rho_{fwp_i}}} + Nwf_i \cdot \sqrt{\frac{Twf}{\phi\rho_{fwf}}})}$

**Experimental procedure**

**Materials**

Table 2 compiles the information related to the rapier, the air jet and the projectile weaving machines.

Table 2: Rapier weaving machine

Weaving machine		Rapier	Air jet	Projectile
Weaving speed		420 picks/min	580 picks/min	345 picks/min
Warp	Yarn count	26 yarns per cm	24 yarns par cm	24 yarns per cm
	material	cotton	polyester	cotton
	Linear density	40 tex	300 dtex	50 tex
Weft	Yarn count	≥10 picks par cm	≥10 picks par cm	≥10 picks par cm
	material	Cotton and polyester	Cotton and polyester	Cotton and polyester
	Linear density	variable	variable	variable
Drawing-in width		175 cm	180 cm	184 cm

The weft cotton count is 10, 14, 18, 22, 26, 30, 34, 40, 46 and 50 tex and weft polyester count 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 and 600 dtex

Parameters:

- Stationary parameters : warps and its characteristics
- Variable parameters (weft) : weft count, titres of de weft and material
- Variable parameters (warp) : warp tension to insert picks per cm
- Variable parameters (pattern) : (n Warps+ 1 Weft) and (1 Warp+ n Wefts)

**Procedure**

We have produced a representative number of simple and complex patterns with different qualities of weft while increasing weft count and warp tension until saturation of woven fabrics.

**Results and discussion**

If the formulated hypotheses are respected and by definition, the warp saturation index or weft saturation index is reached when the warp count or weft count is respectively equal to the maximal warp count or maximal weft count.

*Weight Warp saturation index* ⇒  $Wlswp = 100\%$

Or

*Weight Weft Saturation index* ⇒  $Wlswf = 100\%$

But the given hypotheses are not entirely true. Indeed:

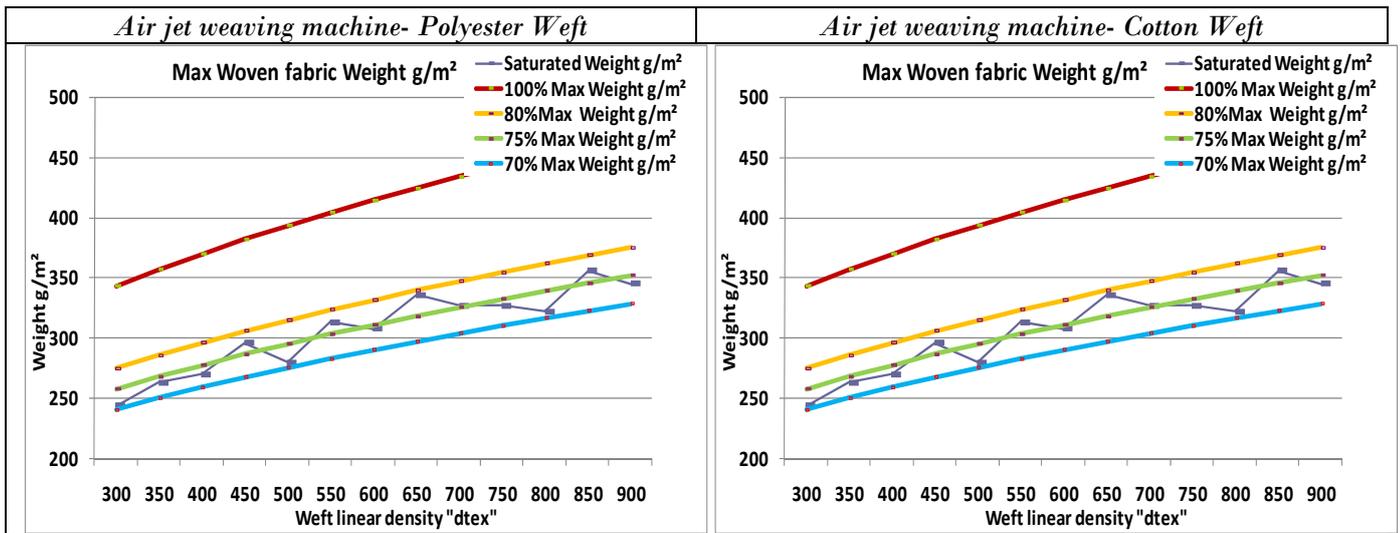
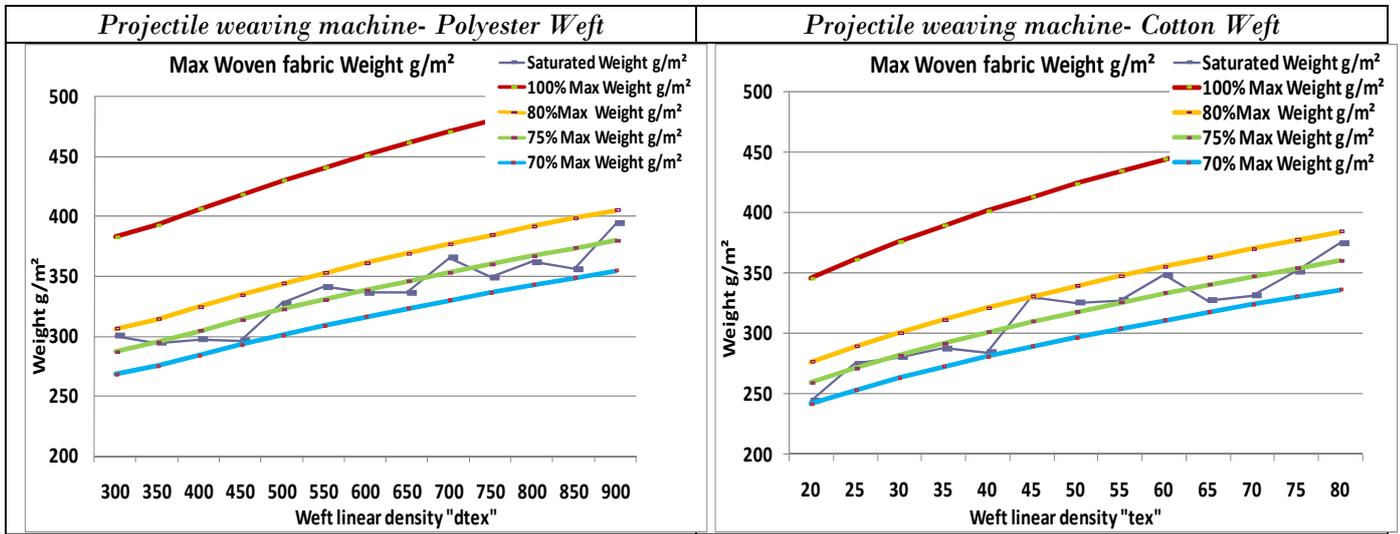
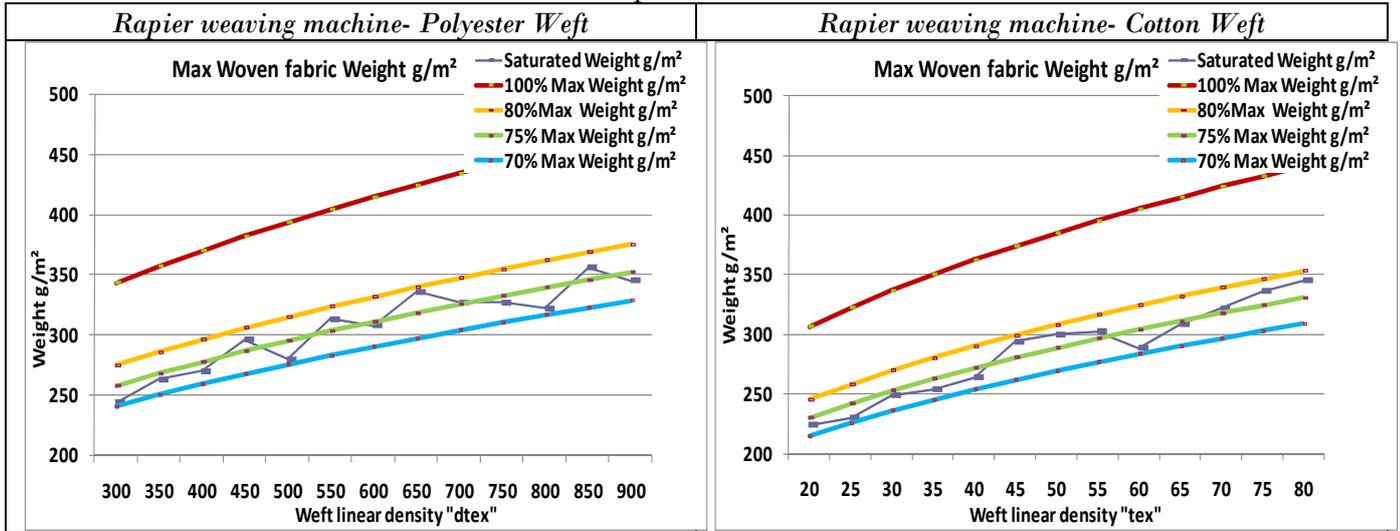
- The diameter of thread is not cylindrical; in particular, threads partially flatten at the time of interweaving (criss-crosses);
- In the most contracted contexture, we may have partial superposition of threads and distortion of these (modification of the obvious diameter),
- The crimp percentage and the take-up percentage are not practically equal to zero in woven fabrics;
- Material areal density depends on many factors as materiel, curliness, type of spinning, etc.

Therefore it is quite normal that the practical weight limit of weavability is different from the theoretical limits.

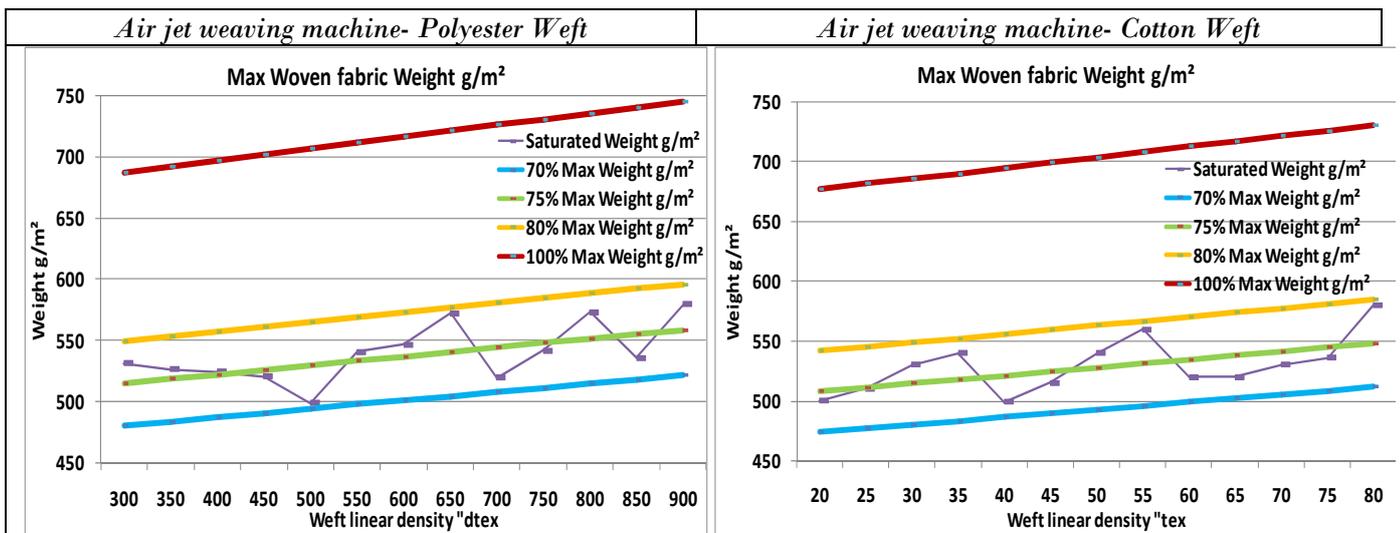
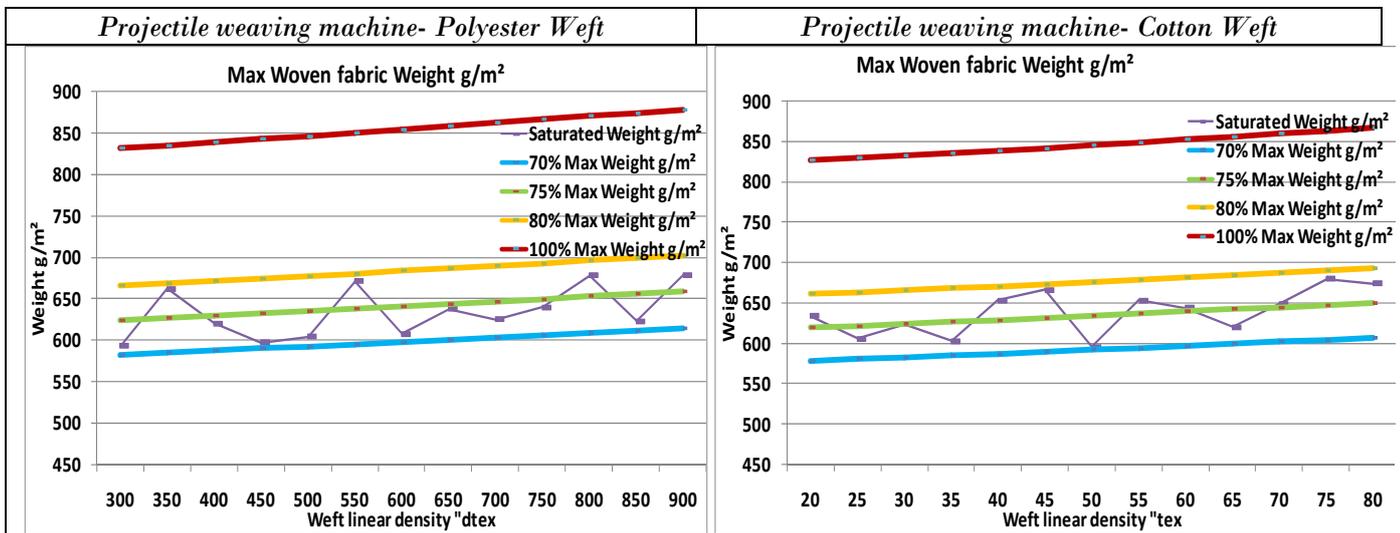
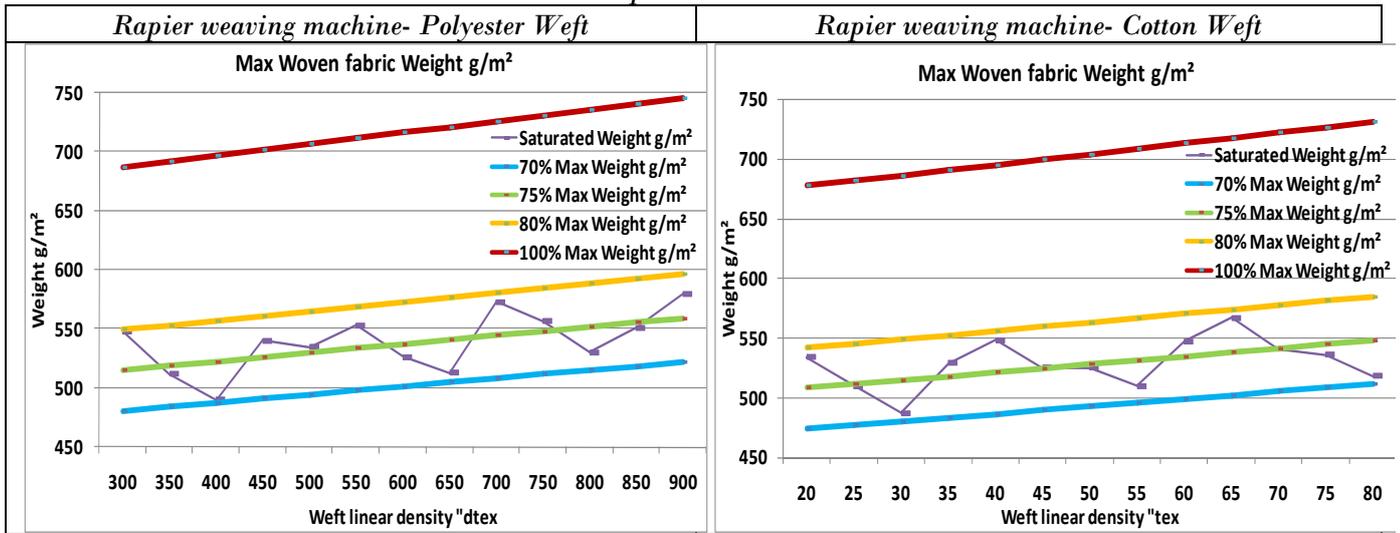
**Validation of the weight weavability-limit and tightness relationships**

**And the experiences that we undertook showed that the practical limit of weavability for simples and complexes woven fabric is at 75% (±5%) of Weight Woven fabric Saturation index**

Simple weave



Complex weave



### **Conclusion**

The theoretical relations were examined (Table 4: weavability limit and tightness relationships) and found to agree with experimental results. It was concluded that the theoretical relations and the graphs derived from them were useful tools for weavers in predicting whether a proposed fabric construction was weavable.

The weight weavability limit and tightness relationship that has just been defined presents a certain number of substantial advantages:

- ✓ They are universally used
- ✓ They are independent of the weaving machine used;
- ✓ They allow the comparison of different woven fabrics;
- ✓ They allow an optimal choice of contextures

## 8.2 REFERENCES

- [1] D.P. Adams, E.R. Schwarz, and S. Backer. *The Relationship between the Structural Geometry of a Textile Fabric and its Physical Properties. Part VI: Nomographic Solution or the Geometric Relationships in Cloth Geometry.* *Text. Res. J.*, 1956, 26, 653-665.
- [2] M.W. Alford. *Ratio Comparison of Fabric Structures.* *J. Text. Inst.*, 1964, 55, T83-98.
- [3] T.R. Ashenhurst. *A treatise on textile calculations and the Structure of Fabrics*, 1884.1 Broadbent, London.
- [4] H. Bogaty, G.H. Lourigan, and H.E. Hanis. *Structural Compactness of Woven Wool Fabrics and their Behavior in Modern Washing Machines.* *Text. Res. J.*, 1958., 28, 733-737.
- [5] S. Brierley. *Theory and Practice of Cloth Setting.* *Text. Mfr*, 1931, 58, 3-4.
- [6] S. Brierley. *Theory and Practice of Cloth Setting.* *Text. Mfr*, 1931, 58, 47-49.
- [7] S. Brierley. *Cloth Setting Reconsidered. Part I.* *Tex. Mfr*, 152, 79, 349-351.
- [8] S. Brierley. *CLOUI Setting Reconsidered. Part II.* *Text. Mfr.* 1952. 79, 431-433.
- [9] S. Brierley. *Cloth Setting Reconsidered. Part III.* *Text. Mfr.* L952, 79, 449-453.
- [10] S. Brierley. *Cloth Setting Reconsidered. Part IV.* *Text. Mfr,* L952, 79, 533-537.
- [11] J.J. Brown and R.A. Rusca. *the Effect of Fabric Structure on Fabric Properties.* *Text. Res. J.*, 1955.5, 25,472-476.
- [12] K.J. Butler and W.T. Cowhig. *Yam Irregularity Picture Recorder.* *Skinner 's Silk & Rayol1 Rec.*, L954, 28, 1178-118 1.
- [13] H. Catling. *Some Effects of Sinusoidal Periodic Yam Thickness Variation on the Appearance of Woven Cloth.* *J. Text. Insl.*, 1958, 49, T232-T246.
- [14] N.H. Chamberlain and D.C. Snowden. *Loom Study by Means of the Cathode Ray Oscillograph. Part I: Variation in Individual Warp Thread Tension during the Weaving Cycle.* *J. Text. Inst.*, l.2.48, 39, T23-T43.
- [15] J.B Dickson. *Practical Loom Experience on Weavability Limits.* *Text. Res. J.*, 1948. 24. 1083-1093.
- [16] P. Ellis and D.L. Munden. *A Theoretical Analysis and Experimental Study of the Plain Square Weave. Part I: The Effect of Seu and Degree of Relaxation on the Measured Cross-sectional Dimensions of Yarns.* *J. Text.inst.*, 1973, 64, 279-294.
- [17] R. Foster. *Weaving Investigations Periodic Patterning in Fabrics.* *J. Text. Inst.*, L952, 43 P742-P754.
- [18] S. Galuszynski. *Fabric Tightness: A Coefficient to Indicate Fabric structure.* *J. Text. Inst.*, 981 72,44-49.
- [19] N.C. Gee. *Cloth Setting and Setting Theories.* *Text. Mfr*, 1953, 80, 381-384.
- [20] N.C. Gee. *Cloth Setting and Setting Theories.* *Text. Mfr*, 1953, 80, 399-401.
- [21] H.C. Haller. *Maximum Construction Tables for Fabrics of Creslan Acrylic Fiber and Other Fibers.* Paper presented at National Meeting of AATCC, Philadelphia, PA, USA, 1960.
- [22] J.B. Hamilton. *A Direct Method for Measuring Yam Diameters and Bulk Densities under Conditions of Thread Flattening.* *J. Text. Inst.*, 1959,50, T655-T672.
- [23] J.B. Hamihon. *A General System of Woven Fabric Geometry.* *J. Text. Inst.*, 1964,55, T66-T82.
- [24] J. W.S. Hearle, P. Grosberg, and S. Backer. *Structural Mechanics of Fibers. Yarns and Fabrics*, Vol. I, Wiley Interscience, New York, NY, USA, 1969.
- [25] E.R. Kaswell. *Textile Fibers, Ya'l1s. and Fabrics: A Comparative Survey of Their Behavior with Special Reference to Wool*, Reinhold, New York, NY, USA, 1953.
- [26] A. Kemp. *An Extension of Peirce's Cloth Geometry to the Treatment of Non-circular Threads.* *J. Text. Inst.*, 1958, 49, T44-T47.
- [27] W. Law. *A Practical Treatise on Cloth Building.* *Wool Rec.*, 1922, 21,968 et seq. (series concluding on 1486).
- [28] L. Love. *Graphical Relationships in Cloth Geomelty for Plain, Twill, and Sateen Weaves.* *Text. Res. J.*, 1954, 24, 1073-1083.
- [29] A. Newton. *The comparison of Woven Fabrics by Reference to their Tightness.* *J. Text. Inst.*, 1995,86,232-240.
- [30] A. Newton. *Tightness Comparison of Woven fabrics.* *Indian Text. J.* 1991, 101, Feb., 38-40.
- [31] E. V. Painter. *Mechanics of Elastic Performance of Textile Materials. Part VIII: Graphical Analysis of Fabric Geometry.* *Text. Res. J.* 1952, 22, 153-169,
- [32] F.T. Peirce. *The Geometry of Cloth Structure.* *J. Text. Inst.*, 1937, 28, T45-112.

- [33] D.E.A. Plate and K. Hepworth. *Beat-up Forces in Weaving. Part II.* J. Text. Inst., 1973, 64,233-249.
- [34] H.W. Russell. *Help for Designers. Construction Factor - An Aid to FabJic Evaluation and Design.* Text. Industr 1965,129, No. 6, 51-53.
- [35] E.B. Sehuler. *Analysis of Loom Stoppages.* M.S. Thesis, North Carolina State University, 1993.
- [36] A.M. Seyam. *On the Mechanics of Woven Fabrics.* Doctoral Thesis, North Carolina State University, 1985.
- [37] A.M. Seyam. *Weavability Limit of Yarns with Thickness Variation in Shuttleless Weaving: The Single Weft Yarn Feeder Case.* Text. Res. J., 2000, 70, 129-134.
- [38] A.M. Seyam and A. El-Shiekh. *Mechanics of Woven Fabrics. Part 1: Theoretical Investigation of Weavability Limit of Yarns with Thickness Variation.* Tex. Res. J., 1990, 60,389-404.
- [39] A.M. Seyam and A. El-Shiekh. *Mechanics of Woven Fabrics. Part II: Experimental Study of Weavability Limit of Yarns with Thickness Variation.* Text. Res. J., 1990, 60,457-463.
- [40] A.M. Seyam and A. El-Shiekh. *Mechanics of Woven Fabrics. Part IV: Critical Review of Fabric Degree of Tightness and its Applications.* Text. Res. J., 1994, 64, 653-662.
- [41] D.C. Snowden. *Some Factors Influencing the Number of Warp Breakages in Woolen and Worsted Weaving.* J.Textl. inst., 1949,40, P317-P330.
- [42] D.C. Snowden. *Some Aspects of Warp Tension.* J. Text. inst., 1950, 41, P237-P249.
- [43] D.C. Snowden. *Construction of Woven Fabrics with Particular Reference to Weave Values and Sett/Count/Weight Calculations.* Text. Inst. Industr., 1967,5, 137-140.
- [44] L.I. Weiner. *Textile Fabric Design Tables,* Technomatic, Stamford, CT, USA, 1971.
- [45] L.1. Weiner and J.E. Johnston. *Design Tables for Cotton Fabrics (Textile Series Report 128),* US Army Natick Laboratories, Natick, MA, USA, 1964.
- [46] Booten, E., *Die Berechnung wirtschaftlicher Gewebekonstruktionen* Textilbetrieb 1976.
- [47] Henry Darcy. *Oil & Gas Science and Technology / La loi de Darcy,* - 1856Rev IFP Volume 61.
- [48] KAWABATA S., NIWA M., KAWAI H. *The finite deformation theory of the plain weave fabrics –part I: the Biaxial deformation theory.* Journal of Textile Institute, 1973,vol 63,pp 21-46.
- [49] KAWABATA, S., NIWA, M., KAWAI, H. *The finite deformation theory of plain weave fabrics. Part II: The uniaxial deformation theory.* Journal of Textile Institute, 1973, vol 64, pp 47–61.
- [50] KAWABATA, S., NIWA, M., KAWAI, H. *The finite deformation theory of plain weave fabrics. Part 3: The shear deformation theory.* Journal of Textile Institute, 1973, vol64, pp 62–85.
- [51] KAWABATA S. *The standardisation and analysis of hand evaluation,* The Textile Machinery Society of Japan, Osaka, 1980.
- [52] KAWABATA S., INOUE M. , NIWA, M. *Theoretical analysis of the non linear deformation properties of a triaxial weave under biaxial stress fields.* Composites Science and Technology, 1996, vol 56, pp 261-271.
- [53] PEIRCE F.T. *The Handle of Cloth as a measurable Quantity,* Journal Textile Institute, 1930, N°21, p 377.
- [54] PEIRCE F.T. *The Geometry of Cloth structure,* Journal Textile Institute, 1937, N°28, pp 45-97.
- [55] GROSBERG P., PARK B. J. *The Mechanical Properties of Woven Fabrics (Part V: The Initial Modulus and the Frictional Restraint in Shearing of Plain Weave Fabrics),* Textile Research Journal, 1966, N°5, p 420.
- [56] GROSBERG P. *The Mechanical Properties of Woven Fabrics (Part II: The Bending of Woven Fabrics),* Textile Research Journal, 1966, N°3, pp 205-211.
- [57] GROSBERG P. *The Mechanical Properties of Woven Fabrics (Part I: The Initial Load Extension Modulus of Woven Fabrics),* Textile Research Journal, 1966, N°1, p 71.
- [58] ABBOTT G.M., GROSBERG P., LEAF G.A.V. *The Elastic Resistance to Bending of Plain-woven Fabrics,* Journal Textile Institute, 1973, N°6 , pp 346-362.
- [59] OLOFSON B. *A General Model of a Fabric as a Geometric -Mechanical Structure,* Journal Textile Institute, 1964, N°55, pp 541-557.
- [60] OLOFSON B. *A study of inelastic Deformations of Textile Fabrics,* Journal Textile Institute, 1967, N°6, p 221.