

N° d'ordre :

Année : 1998

59 376
1 398
441

THESE

présentée à

l'UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE LILLE

pour l'obtention du titre de

DOCTEUR

En Productique : Automatique et Informatique Industrielle

par

ADEL GHITH

CONTRIBUTION A LA MODELISATION ET A LA SIMULATION DU COMPORTEMENT DYNAMIQUE DES TISSUS TEXTILES

Soutenue publiquement le 02 Février 1998 devant la commission d'examen :

M.

C. VASSEUR	Président et Directeur de recherche
D. ADOLPHE	Rapporteur
D. PINCHON	Rapporteur
J.M. CASTELAIN	Examineur
M. RAMMAH	Examineur
C. STROBE	Examineur
P. BRUNIAUX	Codirecteur

SCD LILLE 1



D 030 200917 9



à l'âme de mon Père

à ma Mère,

à ma femme,

à mon frère et mes sœurs,

Aux familles :

GHITH, STAXI, FAHALA et OVERTANI

Ce travail a été réalisé au sein du laboratoire GEMTEX de l'ENSAIT de Roubaix en collaboration avec le laboratoire I3D de l'université des sciences et technologie de Lille.

Je tiens, tout d'abord, à remercier Monsieur le Professeur Christian VASSEUR, Directeur du laboratoire I3D pour avoir accepté de diriger mes recherches et de présider le jury d'examen de ma thèse. Je tiens à lui exprimer ma profonde reconnaissance pour ses qualités humaines et scientifiques, pour l'intérêt qu'il a porté à mes travaux, pour le suivi de ce travail et pour sa contribution dans la rédaction de ce mémoire.

Je remercie profondément Monsieur le Professeur Daniel PINCHON pour avoir accepté d'être rapporteur de mes travaux, malgré ses nombreuses activités, qu'il trouve sur ces quelques lignes ma reconnaissance pour son apport dans la correction de mon mémoire.

Mes sincères remerciements vont également à Monsieur Dominique ADOLPHE, H.D.R. Maître de conférences à l'E.N.S.I.T.M. pour l'intérêt qu'il a porté à ce travail, pour sa contribution dans la réalisation de certains essais mécaniques et pour avoir accepté d'être rapporteur de mes travaux.

Mes vives remerciements s'adressent à Monsieur le Professeur Jean-Marie CASTELAIN, Directeur de l'E.N.S.A.I.T. de ROUBAIX, pour avoir accepté d'être membre de mon jury.

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à Monsieur le Professeur Mohamed RAMMAH, Directeur de l'E.N.I.M. (TUNISIE), pour la confiance, les conseils, les encouragements qu'il m'a fait et pour avoir accepté d'être membre de mon jury malgré ses nombreuses charges administratives et activités scientifiques.

Je remercie également Monsieur Chris STROBE, Ingénieur Responsable de la C.F.A.O. et de la Recherche à LECTRA SYSTEMES, pour l'intérêt qu'il porte à mes travaux et pour avoir accepté de juger ce modeste travail.

Je tiens à exprimer ma grande reconnaissance à Monsieur Pascal BRUNIAUX, Maître de conférences à l'E.N.S.A.I.T. de Roubaix pour l'encadrement de mes travaux de recherches, sa patience, sa rigueur scientifique et ses conseils.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	5
CHAPITRE I : MESURES, ESSAIS ET TRAVAUX EN TEXTILE	9
I-1 / MESURES ET ESSAIS	10
I-1-1 / Mesures classiques	11
I-1-1-1 / Mesures sur le fil	11
I-1-1-2 / Mesures sur le tissu	14
I-1-2 / Modélisation de certains essais mécaniques effectués sur le tissu	22
I-1-2-1 / Travaux de PEIRCE	22
I-1-2-2 / Travaux de GROSBERG	23
I-1-2-3 / Travaux de ABBOTT	24
I-1-2-4 / Travaux de KAWABATA	25
I-1-2-5 / Travaux de LINDBERG	26
I-2 / METHODES DE RECHERCHE DE FORMES	27
I-2-1 / Recherche de formes par des méthodes géométriques	28
I-2-2 / Recherche de formes par des méthodes mécaniques	29
I-2-3 / Recherche de formes par des méthodes énergétiques	29
I-3 / CONCLUSION	30
CHAPITRE II : MODELISATION DE LA DYNAMIQUE DES TISSUS	
II-1 / MODELES DYNAMIQUES	34
II-1-1 / Modèles d'observation	34
II-1-2 / Modèles de connaissance	37

II-2 / FORMULATION THEORIQUE DU MODELE RETENU	43
II-2-1 / Coordonnées curvilignes	47
II-2-1-1 / Changement de coordonnées	47
II-2-1-2 / Coordonnées curvilignes orthogonales	48
II-2-1-3 / Vecteurs unités dans le système de coordonnées curvilignes	49
II-2-1-4 / Propriétés des repères orthonormés	50
II-2-1-5 / Calcul de l'élément d'arc ds pour une surface dans le repère curviligne	51
II-2-2 / Equivalence de deux surfaces dans l'espace : Théorème de BONNET	53
II-2-3 / Formulation énergétique de la déformation des tissus	54
II-2-3-1 / Energie de déformation pour les solides	55
II-2-3-2 / Energie de déformation pour les surfaces (tissus)	56
II-2-3-3 / Dérivée première de l'énergie de déformation $\partial_r \xi(r)$	58
II-2-4 / Evaluation du frottement subi par le tissu	60
II-2-5 / Forces extérieures pouvant agir sur le tissu	61
 II-3 / EXPRESSION GENERALE DU MODELE RETENU	 63
 II-4 / CONCLUSION	 65
 CHAPITRE III : PARAMETRES DES TISSUS ET DETERMINATION DES COEFFICIENTS MECANQUES	 66
III-1 / CHOIX DES PARAMETRES DES TISSUS	67
III-1-1 / Choix des fils utilisés	67
III-1-2 / Choix des armures	68
III-1-3 / Tissus réalisés	69

III-2 / ANALYSE DES TISSUS ET ESSAIS MECANIQUES	70
III-2-1 / Analyse des tissus	70
III-2-1-1 / Réductions effectives	70
III-2-1-2 / Embuvages et retraits	72
III-2-1-3 / Epaisseurs des différents tissus	74
III-2-2 / Identification des coefficients mécaniques	75
III-2-2-1 / Masses des tissus par mètre carré	75
III-2-2-2 / Essais de traction	77
III-2-2-3 / Expression de la matrice W^1	90
III-2-2-4 / Essais de flexion	91
III-2-2-5 / Expression de la matrice W^2	96
III-3 / CONCLUSION	97
CHAPITRE IV : DISCRETISATION, SIMULATION ET RESULTATS	98
IV-1 / DISCRETISATION	99
IV-1-1 / Méthodes des différences finies	100
IV-1-1-1 / Maillage et approximation des dérivées partielles	100
IV-1-1-2 / Résolution	103
IV-1-2 / Méthodes des éléments finis	105
IV-1-2-1 / Formulation variationnelle	105
IV-1-2-2 / Formulation projective	106
IV-1-2-3 / Maillage	108
IV-1-2-4 / Plan de résolution par la méthode des éléments finis	108

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

La fabrication des vêtements et par la même des tissus est l'une des plus anciennes activités de l'humanité. La richesse et la complexité des tissés dans le monde, à l'heure actuelle, sont à l'image de la pérennité du tissage. La variété des modes de croisement des fils (toile, sergé, satin, jacquard, ...), la diversité des matières utilisées, qu'elles soient naturelles (coton, laine, lin, soie, ...) ou artificielles (polyester, viscose, acétate, nylon, ...) et les différentes finitions (unis, imprimés, ...) font des rues de nos villes des lieux de défilés de mode permanents et sans cesse renouvelés.

Compte tenu du caractère vivant, quelquefois imprévisible de cette matière souple, la modélisation du drapé et du comportement dynamique des tissus s'inscrit parfaitement dans le savoir faire et la sensibilité textiles. Toutefois, dès les premières recherches bibliographiques, l'enthousiasme de travailler sur une telle matière se transforme petit à petit en inquiétude devant l'absence d'outils d'aide à la modélisation dynamique de ce type de matériau.

La micro-géométrie des tissus, ainsi que les caractéristiques physiques des matériaux qui le compose situent les tissus dans la classe des surfaces discontinues, anisotropes, d'élasticité non-linéaire, de comportement de type " grandes déformations-petits déplacements " et aussi " grandes et petites déformations-grands déplacements. " et sujettes à l'hystérésis.

L'étude de ce type de surface n'a pas fait l'objet de beaucoup de travaux. L'intérêt de traiter le problème du comportement dynamique des tissus s'est manifesté, il y a une dizaine d'années à peine, avec les premières recherches en infographie [WEI 86] s'intéressant aux plis formés par les tissus sous certaines conditions.

Cette motivation avait des raisons économiques et industrielles visant à aboutir à un modèle représentant la dynamique des tissus. En simulant ce modèle dans des conditions réelles d'utilisation, on peut éviter d'une part certaines formes d'essayage dans la haute couture et d'autre part concevoir des tissus ayant une prédisposition à des effets esthétiques. Dans ces conditions, notre étude a pour but d'apporter une contribution à l'analyse des phénomènes de comportement dynamique des tissus.

Dans ce mémoire, nous consacrons la première partie du premier chapitre aux mesures et essais pratiqués sur le fil et les tissus. Ceci permet dans un premier temps de mesurer certaines propriétés physiques, soit pour comprendre certains comportements de ces structures, soit pour des raisons industrielles et économiques. Dans un second temps ceci est l'occasion de fournir une certaine chronologie de la recherche dans le domaine textile en allant des travaux de Peirce [PEI 30] à ceux de Kawabata [KAW 80]. Durant toute cette période le problème de la dynamique des tissus n'était pas abordé vu l'absence d'intérêt pour expliquer un tel phénomène. Dans la deuxième partie du premier chapitre, nous présentons quelques méthodes de recherche de formes utilisées dans plusieurs domaines scientifiques (mécanique, géométrie, énergétique ...).

Dans le deuxième chapitre, nous nous intéressons, dans une première partie, aux travaux relativement récents concernant la modélisation du comportement dynamique en textile. La deuxième partie est entièrement consacrée au développement du modèle retenu, qui est basé sur la théorie générale des modèles déformables présentée par Terzopoulos [TER 87] et appliquée aux tissus.

Après avoir identifié tous les paramètres du modèle, nous présentons, dans le troisième chapitre, les caractéristiques des tissus mis à l'étude et la mesure des coefficients mécaniques nécessaires à la simulation des évolutions dynamiques.

Ce troisième chapitre peut aussi servir de noyau pour une base de données sur les tissus dans le sens de la modélisation dynamique pour des applications dans le secteur de l'habillement. Ainsi, en choisissant des fils de chaîne et de trame associés à une armure donnée, avec une certaine réduction, nous espérons un jour prédire le drapé du tissu résultant.

Après avoir calculé les différents coefficients mécaniques nécessaires à la simulation des comportements dynamiques des tissus, nous avons consacré le quatrième et dernier chapitre à l'application de la méthode des éléments finis sur le modèle mis au point. Nous avons ensuite utilisé le logiciel MATLAB qui, moyennant certaines transformations et développements, permet de simuler et de représenter les évolutions dynamiques des tissus. Enfin, nous nous sommes intéressés à analyser l'influence de l'armure et de la nature du fil sur le comportement dynamique des tissus.

En conclusion, nous présentons quelques perspectives pour compléter le modèle mis au point et pour l'appliquer à un sujet en mouvement afin de le transférer sur un mannequin virtuel.

CHAPITRE I

MESURES, ESSAIS ET TRAVAUX EN TEXTILE

MESURES, ESSAIS ET TRAVAUX EN TEXTILE

Cette étude sur les mesures et les essais pratiqués en textile permet de montrer l'importance de certains travaux réalisés dans ce domaine et d'indiquer la chronologie de la recherche en textile.

La majeure partie des travaux relatifs à la physique des tissus est basée sur des mesures, des essais à caractère mécanique et sur la modélisation des propriétés mécaniques (modèles mécaniques, schémas rhéologiques, ...).

A côté des mesures et des essais conventionnels très courants dans l'industrie textile, pour qualifier et définir les modes d'utilisation de la matière textile, des méthodes de mesures liées au caractère fondamental de la physique des textiles sont développées dans les laboratoires de recherche. L'objectif est d'apporter une plus grande rigueur dans la validation et la compréhension des informations fournies par des méthodes dites conventionnelles.

Tous ces travaux sont réalisés pour mettre en évidence les propriétés qualitatives des matières textiles, en vue de modifier certaines caractéristiques mécaniques et pour répondre à des exigences industrielles ou commerciales de plus en plus sévères.

I-1 / MESURES ET ESSAIS :

Les modes de mesure de la qualité des tissus ont beaucoup évolué avec le développement de l'industrie textile. Historiquement, deux groupes de méthodes sont apparus. Le premier regroupe des mesures et des essais à caractère classique et qui sont les plus utilisées dans l'industrie textile, ce groupe permet de qualifier et de définir les modes d'utilisation.

Le second groupe peut être caractérisé par les travaux fondamentaux dans le domaine de la physique des textiles, ceux-ci ont permis et permettent de comprendre des comportements et des résultats donnés par les essais dits " classiques " .

I-1-1 / Mesures Classiques :

Ces mesures sont destinées à fournir des caractéristiques mécaniques bien déterminées. Elles deviennent de plus en plus sophistiquées grâce aux développements technologiques.

Plusieurs mesures sont pratiquées à la fois sur le fil et sur le tissu, alors que d'autres ne sont effectuées que soit sur le fil, soit sur le tissu. Il est à noter que toutes les éprouvettes soumises aux essais sont préalablement placées dans une atmosphère conditionnée dont la température est de $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ et dont l'humidité est de $65\% \pm 2\%$ Hr, sauf mention contraire.

I-1-1-1 / Mesures sur le fil :

Pour évaluer la qualité des fils destinés à être tissés, les essais suivants sont les plus couramment utilisés :

- détermination de la masse linéique (titre),
- détermination de la force et de l'allongement de rupture,
- détermination du coefficient de torsion du fil.

I-1-1-1-1 / Détermination de la masse linéique (titre) :

Plusieurs méthodes d'essais pour la détermination de la masse linéique sont utilisées. Deux types de masse linéique peuvent être calculées, la masse linéique conditionnée et la masse linéique déshydratée qui donne la masse linéique commerciale.

La masse linéique conditionnée est déterminée par la pesée d'une éprouvette de fil de longueur donnée dans l'atmosphère de conditionnement des textiles.

La masse linéique déshydratée est déterminée par la pesée d'une éprouvette de longueur donnée après dessiccation de celle-ci à l'étuve dans des conditions spécifiées [AFN 88].

Le système d'unité utilisé est le Tex et l'équation donnant la valeur de la masse linéique d'un fil est la suivante :

$$\text{Titre} = \frac{M}{L} \times 1000$$

avec :

M : masse du fil exprimée en gramme,

L : longueur du fil exprimée en mètre.

I-1-1-1-2 / Propriétés Mécaniques liées à la traction :

Cet essai est fréquemment utilisé pour déterminer la force et l'allongement de rupture des fils sous sollicitation de traction. Il existe deux modes opératoires pour ce type d'essai.

Le premier mode se base sur le principe de l'accroissement constant de la force de traction, alors que le second mode est basé sur l'accroissement constant de la vitesse de déplacement de la pince de traction.

Le second mode est le plus utilisé dans l'industrie textile [AFN 88]. Les caractéristiques principales dégagées de cet essai sont :

- la force de traction à la rupture,
- l'allongement à la rupture,
- le module d'élasticité.

D'un point de vue pratique, nous obtenons un diagramme force-allongement appelé aussi rhéogramme de traction; un exemple de ce diagramme ainsi que le principe de l'essai sont illustrés par la figure I-1.

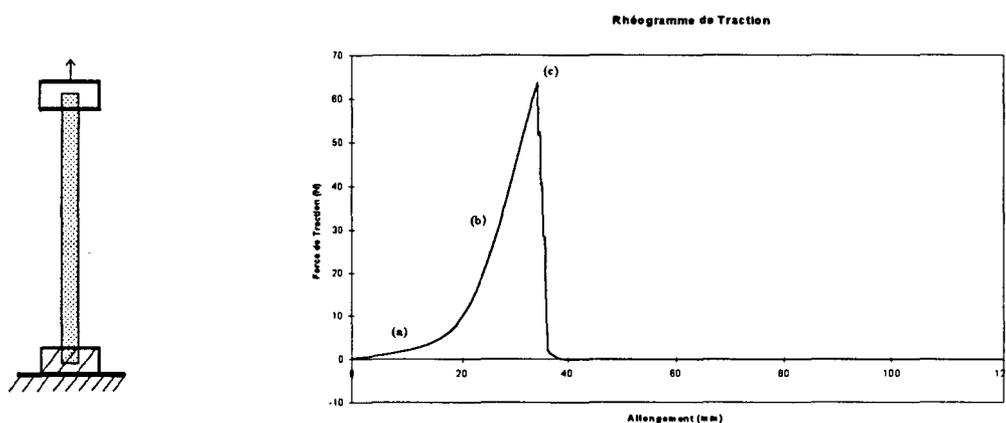


Figure I-1 : Principe et diagramme de traction.

Le diagramme de traction met en évidence trois zones de comportement mécanique du fil. La première zone (a) située au début de la traction est caractérisée par un coefficient de proportionnalité A entre la force de traction et l'allongement produit. Ceci est dû à l'alignement des fibres frisées ou ondulées dans le fil. La deuxième zone (b) est caractérisée par un autre coefficient de proportionnalité E (module d'élasticité de Hooke [ASH 91]). La troisième zone (c) correspond à la rupture nette du fil et définit l'allongement et la force à la rupture.

I-1-1-1-3 / Détermination de la torsion :

La torsion d'un fil est caractérisée par le sens et le nombre de tours par mètre. Une méthode de détermination de la torsion d'un fil s'effectue par le biais d'une détorsion-retorsion avec double contre épreuve [AFN 88].

Cette méthode présente l'avantage d'être applicable avec une précision très satisfaisante à tous les filets simples, aux filets "classiques", peignés ou cardés et aux filets réalisés en filature dite "à fibres libérées", prélevés sur enroulements ou extraits de tissus ou tricots.

Le sens de torsion des fils est indiqué par les lettres majuscules " S " ou " Z ". Le fil a une torsion " S " lorsque, tenu en position verticale, les spires ou hélices formées par les fibres ou les filaments sont inclinées dans la même direction que le trait oblique de la lettre " S ". Dans les mêmes conditions, le fil a une torsion " Z " lorsque ces spires ou ces hélices sont inclinées dans la même direction que le trait oblique de la lettre " Z " (cf. figure I-2).

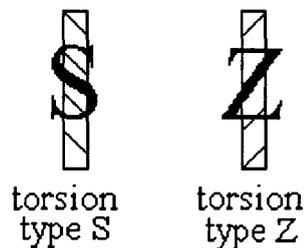


Figure I-2 : Sens de Torsion d'un Fil.

I-1-1-2 / Mesures sur le tissu :

La détermination des caractéristiques d'un tissu se fait en plusieurs endroits, ou sur plusieurs échantillons découpés dans une pièce, ou par prélèvement sur un article confectionné avec ce tissu.

I-1-1-2-1 / Détermination de l'armure [AFN 75] :

Un tissu est le résultat physique de l'entrecroisement choisi de deux séries de fils appelés chaîne (sens longitudinal) et trame (sens transversal). Le mode d'entrecroisement de ces deux séries de fil représente l'armure. Le rapport d'armure est le plus petit motif se répétant dans un tissu.

Il existe un nombre quasi infini de combinaisons de fils chaîne et trame donnant pour les mêmes fils des effets esthétiques et des propriétés mécaniques du tissu très différents.

La détermination de l'armure se fait en utilisant une loupe ou un système optique approprié et des aiguilles à décomposer. Le résultat est donné par le schéma d'armure. Les armures fondamentales servant de base pour tous les types d'entrecroisement sont la toile, le sergé et le satin.

L'armure toile est caractérisée par la disposition inverse des fils pairs et impairs, chaque fil de chaîne passe alternativement au-dessus et au-dessous de chaque fil de trame appelé aussi duite et réciproquement (cf. figure I-3).



Figure I-3 : Schéma de l'armure Toile.

L'armure sergé est caractérisée par un effet oblique qui s'obtient en décochant d'un fil à chaque trame, on peut former des sergés avec tous les nombres à partir de trois (cf. figure I-4).

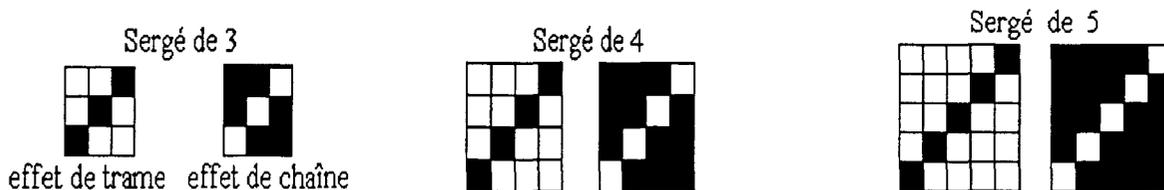


Figure I-4 : Différents schémas d'armures Sergé.

L'armure satin régulier est caractérisée par un seul " pris " ou " laissé " par chaîne et par trame, ce " pris " ou " laissé " présentant avec le précédent un décochement supérieur à 1. Ce décochement est un nombre premier par rapport au rapport d'armure. Les satins irréguliers sont des satins qui ne peuvent pas se construire d'après les principes énoncés ci-dessus. Les plus répandus sont les satins de 4 et de 6 (cf. figure I-5).

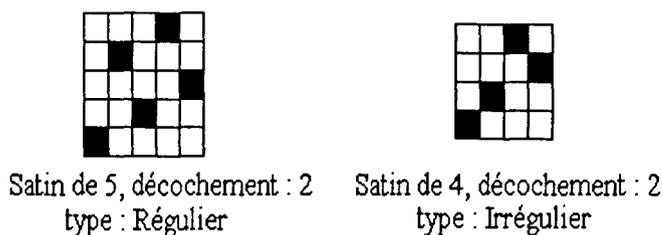


Figure I-5 : Schémas de l'armure Satin.

Plusieurs autres armures dérivées sont obtenues à partir des armures fondamentales. Leur nombre est pratiquement illimité. A titre d'exemples le cannelé, le reps et le natté sont des dérivées de la toile, le croisé, le chevron, la diagonale sont des dérivées du sergé, le satin à répétition et le satiné sont des dérivées de l'armure satin. D'autres types d'armure peuvent être obtenus en combinant des armures simples et/ou dérivées.

I-1-1-2-2 / Détermination de la masse d'un tissu [AFN 75] :

Deux modes opératoires sont utilisés pour la détermination de la masse d'une pièce de tissu. Le premier mode opératoire est utilisé lorsque la totalité de la pièce de tissu peut être conditionnée et le second lorsque seulement une partie de celle-ci peut l'être.

Le premier mode consiste à déterminer la longueur, la largeur et la masse d'une pièce de tissu préalablement conditionnée en atmosphère normale d'essai des textiles. Le calcul donne la valeur de la masse soit par unité de longueur pour une largeur donnée, soit par unité de surface.

Le second mode consiste à mesurer les valeurs précédemment citées dans une atmosphère ambiante après repos, compte tenu d'un facteur correcteur. Le facteur est obtenu par comparaison de la longueur, de la largeur et de la masse d'une partie spécifiée prélevée sur la pièce mise en état de repos et mesurée d'une part, dans une atmosphère ambiante et d'autre part dans une atmosphère normale de conditionnement.

I-1-1-2-3 / Epaisseur du tissu [AFN 75] :

Le principe est de comprimer le tissu à tester entre deux plaques planes, parallèles selon une pression spécifiée et de mesurer l'écartement entre ces plaques.

Dans cette expérience, un micromètre à cadran muni d'un palpeur circulaire plan, de surface comprise entre 5 cm² et 10 cm² est utilisé. Ce micromètre permet d'appliquer une pression de 0.1, 0.5, 1, 5 et 10 kPa à ± 2 % près et d'effectuer une lecture d'épaisseur à 1% près.

Il est recommandé d'éviter de faire des mesures sur des surfaces présentant des plis ou des déformations.

I-1-1-2-4 / Essai de traction :

L'essai de traction donnant la caractéristique mécanique Force-Allongement du tissu est très importante dans l'évaluation de sa qualité. Comme la traction sur fil, cet essai se fait par la mise sous tension d'une éprouvette de tissu sollicitée par une traction soit à accroissement constant de la force soit à vitesse constante d'allongement.

Dans un tissu, les propriétés Force-Allongement sont généralement différentes d'un sens à l'autre (sens chaîne, sens trame). Il faut donc au moins effectuer des mesures dans deux sens perpendiculaires. Pour réaliser cet essai, deux procédés peuvent être utilisés :

- mesures indépendantes, le tissu subit une traction dans un sens, puis dans l'autre, à l'aide d'une machine unidirectionnelle,
- mesures simultanées, le tissu subit des tractions simultanées dans les deux sens sur une machine bidirectionnelle.

I-1-1-2-4-1 / Traction uniaxiale [AFN 75] :

Cet essai est similaire à celui pratiqué sur le fil, l'éprouvette est soumise à la traction jusqu'à rupture. Afin d'éviter les problèmes de glissement ou cisaillement, il est nécessaire d'utiliser des mâchoires spécifiques pour chaque type de tissu (tissu traditionnel, tissu technique). En outre, la longueur de l'éprouvette doit être de 4 à 8 fois supérieure à sa largeur. La vitesse de la sollicitation, sa durée, la température et l'humidité influent sur le résultat de mesure, il faut donc respecter les normes en vigueur.

I-1-1-2-4-2 / Traction biaxiale :

La traction biaxiale s'effectue au moyen d'une machine dont le schéma de principe est donné figure I-6.

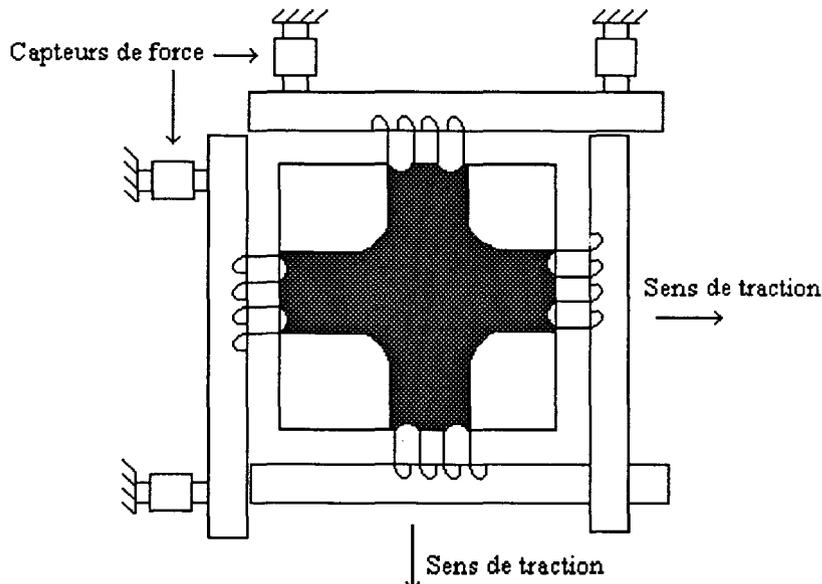


Figure I-6 : Principe de la machine à traction biaxiale.

En appliquant des vitesses de traction variables sur le sens chaîne et sur le sens trame, il est possible de produire un large spectre de sollicitations.

Supposons que Δl_1 soit l'allongement dans un sens, Δl_2 l'allongement dans l'autre sens, on peut avoir les combinaisons suivantes : $\Delta l_1 < \Delta l_2$, $\Delta l_1 > \Delta l_2$, $\Delta l_1 = \Delta l_2$.

- Si $\Delta l_1 = \Delta l_2$, il s'agit d'une traction biaxiale, avec déformation uniforme dans les deux sens.
- Si $\Delta l_1 = 0$ ou $\Delta l_2 = 0$ il s'agit d'une traction équivalente à la traction uniaxiale [KAG 88].

Il est à noter que la forme de la sollicitation biaxiale se rapproche de la sollicitation subie par le tissu lors de son utilisation courante.

I-1-1-2-5 / Essai de Cisaillement :

Deux types de cisaillement peuvent être définis [HEA 69] :

- le cisaillement simple, couramment rencontré, est défini comme suit : " si un objet de forme carrée ou rectangulaire se déforme parallèlement par rapport à deux cotés opposés, il est soumis à une sollicitation de cisaillement simple " (cf. figure I-7),

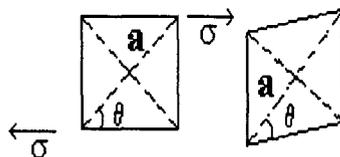


Figure I-7 : Principe du Cisaillement simple.

- le cisaillement pur peut être défini comme suit : " si un objet de forme carrée de diagonale a est soumis à une sollicitation σ garde la même surface mais pas l'angle θ , ce carré est soumis au cisaillement pur " (cf. figure I-8).

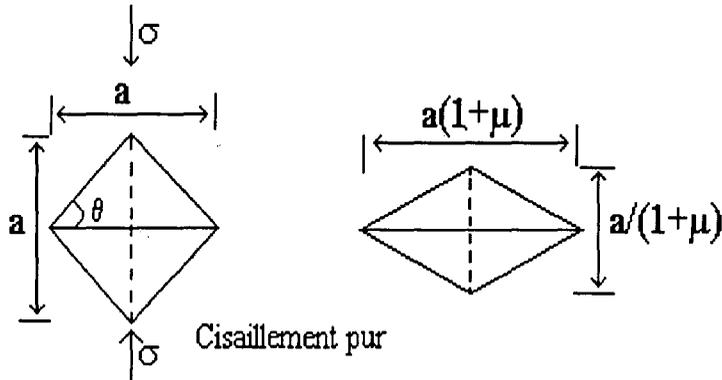


Figure I-8 : Principe du Cisaillement pur.

Les premières mesures de cisaillement ont été faites par B.Môrner et T.Eeg-Olofsson en 1957 [MOR 57], à l'aide d'un dynamomètre conventionnel. Ce dispositif permet d'appliquer deux forces parallèles, mais en sens inverse, pour réaliser un cisaillement simple.

D'autres équipes de recherche ont contribuées à améliorer cette technique pour perfectionner le dispositif et pour approfondir la modélisation de cet essai [BEH 61], [GRO 66], [CUI 64], [KAW 73].

I-1-1-2-6 / Essai de Flexion :

L'essai de flexion est un essai important pour apprécier la qualité d'un tissu. La flexion décrit la capacité de résistance à la déformation sous une sollicitation normale à la surface de tissu. La méthode la plus utilisée pour évaluer la flexion est la méthode dite " du flexomètre ".

Les premières expérimentations sur la flexion ont été effectuées par Peirce en 1930 [PEI 30], qui a développé un appareil appelé " flexomètre " permettant de mesurer la rigidité de flexion du tissu. Le mode opératoire est le suivant :

- placer une bande de tissu sur le support horizontal de l'appareil (partie hachurée),
- faire glisser cette bande en dehors du support jusqu'à ce que son extrémité libre intercepte une ligne oblique de référence d'inclinaison θ . On note alors, la longueur L cf. figure I-9.

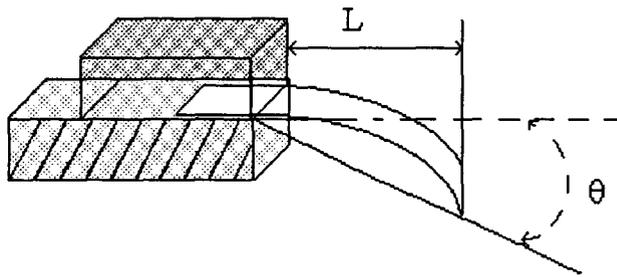


Figure I-9 : Principe de l'essai de Flexion.

Peirce a quantifié cet essai par la formule :

$$\frac{B}{W} = \frac{L^3 \cos(\theta / 2)}{8. \operatorname{tg} \theta}$$

avec :

B : rigidité à la flexion du tissu;

W : masse surfacique;

L : longueur " tombée " de tissu;

θ : angle entre le plan incliné et le plan horizontal.

Wei [WEI 89] a proposé une autre expression pour calculer la rigidité à la flexion B :

$$\frac{B}{W} = \frac{L^3 \cos \theta}{8 \theta}$$

D'autres essais sur le fil et le tissu peuvent être cités à titre indicatif : déchirement, arrachement, compression, perméabilité, éclatement, Cependant, ces essais, qui ne sont pas inintéressants, ne présentent que peu d'intérêt dans le cadre de notre étude.

I-1-2 / Modélisation de certains essais mécaniques effectués sur le tissu :

Depuis les années 30, plusieurs chercheurs ne se sont pas contentés de caractériser le textile en tant que matériau, mais ils ont aussi tenté de développer des modèles de comportement.

I-1-2-1 / Travaux de PEIRCE :

En 1930, Peirce publia dans le " Journal of Textile Institute " un travail fondamental, intitulé " The handle of cloth as a measurable quantity ", auquel on peut attribuer la première tentative d'exprimer les composantes élémentaires de la géométrie des textiles, en termes de mécanique et de physique, mesurées par des méthodes objectives et quantitatives [PEI 30].

Les principales propriétés considérées par Peirce sont la rigidité à la flexion, la résistance à la compression, l'épaisseur du tissu et le frottement de surface du tissu. Peirce a développé également quelques mesures telles que la densité, l'extensibilité

En 1937, il développa le modèle le plus connu dans la modélisation des propriétés mécaniques du tissu en fonction de sa contexture. Bien que ce modèle soit incomplet il constitue la base de la recherche dans ce domaine.

Ce modèle suppose une structure initiale du tissu d'armure toile, composée de fils uniformes de section circulaire (cf. figure I-10).

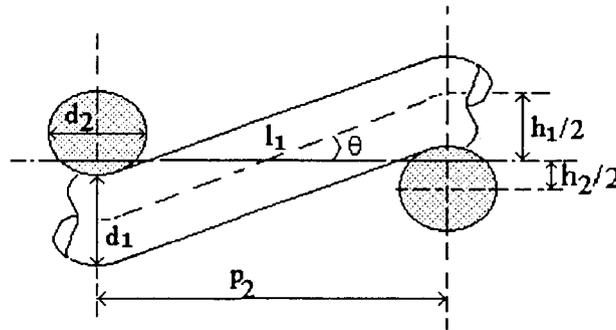


Figure I-10 : Modèle géométrique de Peirce.

A partir de ce modèle, plusieurs chercheurs ont proposé d'autres modèles, en modifiant les hypothèses de Peirce. On peut citer les travaux de Leaf et Olofsson en 1964 et de Grosberg en 1966 [LEA 64], [OLO 64], [GRO 66].

Les principales modifications apportées par ces travaux sont :

- la forme ellipsoïdale de la section du fil au lieu d'une section circulaire,
- la trajectoire de l'axe du fil de forme droite ou sinusoïdale

I-1-2-2 / Travaux de GROSBERG :

L'essentiel des travaux de ce chercheur a porté sur le comportement en flexion des structures textiles surfaciques. Le comportement en flexion [GRO 66] peut être modélisé à partir d'un système multicouches dans lequel sont définies deux zones :

- une zone où la pression entre fibres est faible et permet le glissement entre ces fibres. Ceci induit l'apparition d'un phénomène d'hystérésis dans le comportement en flexion des tissus,

- une zone où la pression entre fibres est grande interdisant tout glissement entre fibres.

A partir de ces considérations, Grosberg décrit le comportement en flexion d'un tissu par la relation :

$$M = M_0 + \frac{m}{\rho}$$

avec :

M : moment de flexion appliqué sur le tissu,

M_0 : moment dû aux forces de frottement dans la structure,

m : rigidité à la flexion,

ρ : rayon de courbure de la partie fléchie.

Dans ce modèle, la relaxation des contraintes internes et la fixation de la forme ne figurent pas parmi les paramètres intervenant dans la flexion.

I-1-2-3 / Travaux de ABBOTT :

Le modèle de G.M. Abbott [ABB 73], met en évidence la relation liant la composante de la résistance élastique et les paramètres de contexture. Pour cela il utilise le modèle géométrique de Peirce pour analyser le comportement en flexion de l'armure toile.

Il développe son analyse dans une première phase pour une structure non relaxée, où les fils enlevés deviennent rectilignes mais conservent leurs contraintes internes. Pour cette structure, il propose la relation suivante :

$$b = k(U_1 - U_0)$$

avec :

b : force élastique de flexion,

k : constante géométrique dépendante du tissu,

U_1 : énergie totale de déformation,

U_0 : énergie élastique de déformation dans le fil ondulé.

Dans une seconde phase, Abbott considère un tissu relaxé où les fils gardent une forme ondulée, c'est pour cette raison que la force élastique de flexion ne dépend plus de l'énergie élastique de déformation dans le fil et l'équation devient :

$$b = kU_1.$$

I-1-2-4 / Travaux de KAWABATA :

Plusieurs modèles et travaux sont élaborés par ce chercheur et son équipe depuis le début des années 70. Au départ, il a défini un modèle relatif à la traction biaxiale [KAW 73-1], en proposant une structure de tissu inspirée du modèle de Peirce, mais représentée de façon différente.

Les fils de chaîne et de trame sont représentés par des lignes qui se brisent en des points P_1 et P_2 sur l'axe perpendiculaire au plan du tissu comme illustré dans la figure I-11.

Lorsque le tissu subit une traction biaxiale, Kawabata tire les équations des allongements dans le sens chaîne et trame en se basant sur des considérations géométriques données par son modèle.

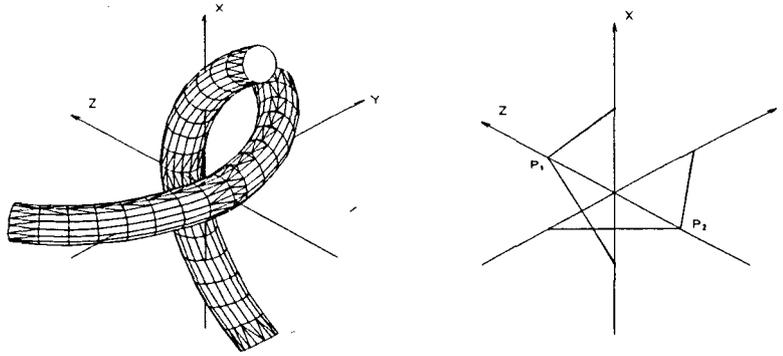


Figure I-11 : Structure de croisement des fils proposée par Kawabata.

Il propose de traiter le problème selon que les fils constituant le tissu sont compressibles ou incompressibles. Les équations élaborées sont modifiées en conséquence. A partir de cette analyse il traite aussi la traction uniaxiale. Dans ce cas il annule une des deux forces qui agissent sur le système [KAW 73-2].

Kawabata s'est également intéressé aux problèmes de cisaillement [KAW 73-2] et a aussi élaboré un système d'évaluation des tissus " Kawabata Evaluating System for Fabrics (K.E.S.F) " [KAW 80]. Cette chaîne de mesure caractérise et qualifie le tissu dans son adaptabilité au corps humain, dans le confort qu'il procure en habillement, dans son aspect visuel et aussi dans son état de surface.

I-1-2-5 / Travaux de LINDBERG :

Les travaux de Lindberg sont essentiellement fondés sur l'établissement de la relation liant les propriétés mécaniques élémentaires du tissu et ses qualités de mise en forme pour l'habillement.

Dans l'industrie de la confection, les coûts de fabrication sont fortement liés aux coûts d'assemblage des pièces constituant le vêtement, et donc au nombre de pièces. L'utilisation d'un tissu à haut pouvoir de déformation permet de minimiser ce nombre de pièces. Par conséquent ce pouvoir de déformation est une qualité importante qu'il convient de caractériser à partir de propriétés mécaniques élémentaires.

Selon Lindberg [LIN 60], les trois propriétés mécaniques les plus importantes à ce sujet sont :

- la rigidité à la flexion,
- l'extensibilité,
- l'équilibre et la stabilité dimensionnelle.

A partir des modèles cités précédemment, d'autres chercheurs ont développé de nouveaux modèles. A titre indicatif, on peut citer : les travaux de B. Olofsson sur le cisaillement, H.P. Lundgren sur la " main " qui est le concept de Kawabata connu sous le nom de "K.E.S.F."... .

I-2 / METHODES DE RECHERCHE DE FORMES :

La recherche de formes en textile qui prend en compte d'autres aspects que les aspects purement mécaniques a été peu développée. Cela peut s'expliquer par le fait que l'architecture des textiles techniques est caractérisée par une relation géométrie-forces (structures tendues). Par contre, dans le domaine de l'habillement, les produits textiles sont des systèmes a priori cinématiquement indéterminés pour lesquels les formes sont fortement dépendantes des forces appliquées et des points d'appuis.

Trois types d'approches peuvent être envisagées pour décrire le comportement dynamique d'une étoffe, à savoir :

- recherche de formes par des méthodes géométriques,
- recherche de formes par des méthodes mécaniques,
- recherche de formes par des méthodes énergétiques.

I-2-1 / Recherche de formes par des méthodes géométriques :

La première approche de la détermination de la forme des produits tissés peut être purement géométrique. L'objectif étant de fixer un certain nombre de points de passage obligé (contour) et de déterminer une surface dont on peut gérer la géométrie.

Une telle approche, bien que performante pour des surfaces simples, est difficilement applicable aux surfaces complexes ne présentant que peu de symétrie telles que les tissus. D'où la nécessité d'une description numérique de la surface par interpolation, lissage et approximation.

En effet, une surface peut être définie comme le lieu géométrique d'une courbe génératrice qui se déplace en se déformant. On peut alors considérer que chaque sommet des différents polygones caractérisant la surface suit ou parcourt une trajectoire prédéfinie [BEZ 86], [GAR 85].

En conséquence, ces modèles donnent des bons résultats pour une définition purement géométrique de la forme. Cependant, les grandeurs mécaniques et physiques attachées à de tels systèmes restent inexploitées.

I-2-2 / Recherche de formes par des méthodes mécaniques :

Etant donné que les caractéristiques de la structure et les comportements des éléments constituant le tissu sont complexes, la détermination des propriétés mécaniques est elle-même compliquée (calcul des propriétés mécaniques par des mesures et des essais).

Il est évident que si les fils, qui sont les composants élémentaires des tissus, ont un comportement élastique dans le cadre d'un usage d'habillement [GHI 96], [GHI 97-1], les tissus présentent un comportement global non-linéaire [AMI 89], [CHE 95]. Ceci résulte essentiellement du procédé de tissage, c'est à dire de la manière d'entrecroiser et de serrer les fils de chaîne et les fils de trame (armure, réduction, ...).

Dans ce cas, une approche surfacique, adoptant une discrétisation par éléments finis et pour laquelle les grandeurs cinématiques peuvent être calculées en tout point de la surface, est la plus appropriée pour la recherche de forme.

I-2-3 / Recherche de formes par des méthodes énergétiques :

Cette méthode est fondée sur le principe qu'un tissu, après relaxation, tend vers un état d'énergie minimale, dans lequel les forces et les couples internes et externes sont mécaniquement équilibrés.

Le point de départ de cette méthode consiste en l'identification et la formulation de toutes les contributions énergétiques élémentaires du système. Ce principe appliqué à l'étude des déformations des structures textiles, permet de mettre en évidence quatre termes essentiels d'énergie de déformation [JON 77] : les énergies de flexion, de torsion, de compression latérale et d'extension longitudinale (traction) des fils. Il en résulte l'équation énergétique suivante :

$$E = \sum_{i=1}^n \int (E_b + E_r + E_c + E_t) ds$$

avec :

E : énergie totale du tissu,

E_b : l'énergie de flexion,

E_r : l'énergie de torsion,

E_c : l'énergie de compression latérale,

E_t : l'énergie de traction,

n : nombre total de cellule.

Il est probable que la méthode la plus complète et la plus réaliste consiste à combiner les points forts des trois méthodes, pour n'en faire qu'une. C'est ce qui a été fait en partie dans le cadre de cette étude.

I-3 / CONCLUSION :

Dans une première partie de ce chapitre, nous avons présenté quelques essais et mesures pratiqués à la fois sur le fil et sur le tissu. Cette présentation est donnée dans le but d'une part, de montrer la chronologie de la recherche en textile, et d'autre part, d'étudier quelques essais mécaniques élémentaires pratiqués sur le fil et le tissu dont les résultats sont en implication directe avec les déformations du tissu lors d'une évolution dynamique.

Dans la seconde partie de ce chapitre, nous avons présenté les différentes méthodes employées dans la recherche de formes. Ceci pour essayer de dégager une méthode qui tient compte de la plus part des paramètres mis en jeu dans la modélisation du comportement dynamique des tissus.

Dans le chapitre suivant, nous présentons des travaux relativement récents traitant de l'aspect de la dynamique des tissus et nous développons les expressions mathématiques du modèle retenu.

CHAPITRE II

MODELISATION DE LA DYNAMIQUE DES TISSUS

MODELISATION DE LA DYNAMIQUE DES TISSUS

Amirbayat [AMI 89] considère que les tissus sont caractérisés par les propriétés suivantes :

- structure discontinue,
- hautement anisotrope,
- comportement non linéaire,
- cycles d'hystérésis dans certaines phases du comportement.

Toutes ces caractéristiques sont vérifiables expérimentalement. La discontinuité de la matière textile se manifeste par des singularités et des points de changement de courbure qui apparaissent sur certains plis. Ces caractéristiques géométriques résultent essentiellement des faibles coefficients de rigidité de cette matière. La non linéarité apparaît sur les essais de traction où les diagrammes de traction non linéaires font apparaître plusieurs zones de comportement [BRE 92]. L'anisotropie est mise en évidence par la différence des coefficients d'élasticité dans le sens chaîne et dans le sens trame. Le phénomène d'hystérésis se vérifie par des essais simples tels que la flexion selon la méthode de Kawabata (essais à faibles contraintes) [KAW 80], la traction, la compression,

Par ailleurs, le textile est un matériau sujet à un vieillissement et une fatigue relativement plus précoce que d'autres matériaux tels que les plastiques, le verre, les aciers

II-1 / MODELES DYNAMIQUES :

Les différents travaux abordant la modélisation de la dynamique des tissus, publiés à ce jour, font apparaître deux approches :

- la première est basée sur l'observation des phénomènes réels. Les règles décrivant le comportement des tissus sont alors induites à partir de cette observation. Cette approche conduit à des modèles d'observation.
- la seconde, plus utilisée, vise à développer des théories conduisant à des équations dont la solution est une représentation de l'entité concernée. Cette seconde approche conduit à des modèles de connaissance où sont définis des procédures et des étapes telles que la linéarisation, la discrétisation et la résolution pour arriver à la solution.

II-1-1 / Modèles d'observation :

Ces modèles nécessitent le développement d'outils informatiques exigeant une grande vitesse d'exécution et des capacités de mémoire importantes. Par ailleurs, la présentation des résultats a conduit les infographistes à aborder la modélisation des structures textiles à partir d'une approche infographique et géométrique.

L'un des premiers infographistes qui se soit intéressé à la forme du tissu est Weil [WEI 86]. Il reconnaît le pli comme étant l'entité géométrique de base d'un tissu. Il a élaboré une méthode de calcul des plis d'un tissu accroché en différents points. Pour cela, il a développé un algorithme permettant le calcul de toute la partie du drap inscrite dans le polygone convexe des points d'accroche (cf. figure II-1). Par cet artifice de calcul, il simule la formation de gros plis.

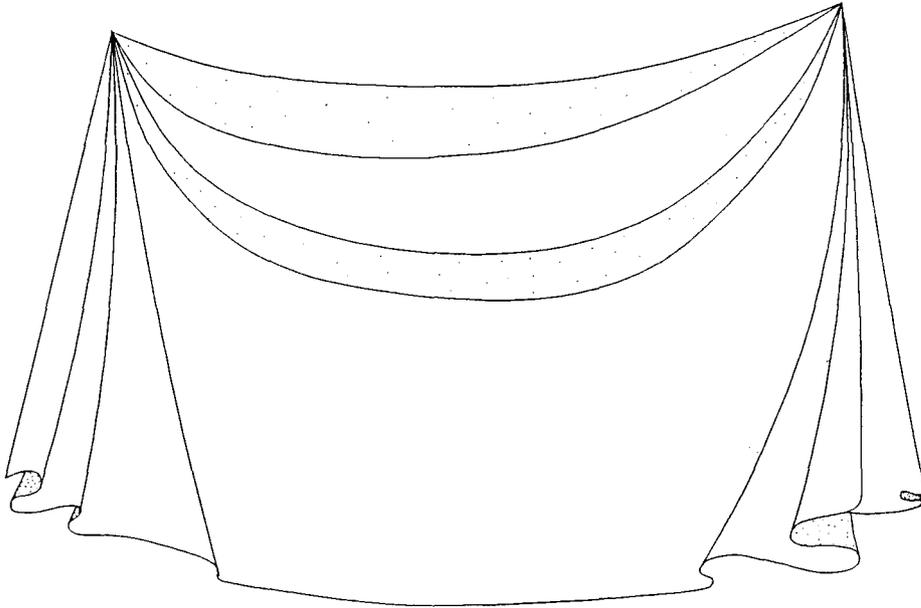


Figure II-1: Approche de Weil.

L'inconvénient de cette méthode réside dans le fait qu'elle est statique, puisque le mouvement du tissu est pratiquement prédéfini d'avance.

Après cette tentative, Kunii et Gotoda [KUN 90] intègrent dans leur modélisation non seulement les aspects géométriques mais également les aspects dynamiques. La méthode qu'ils proposent est basée sur l'observation des caractéristiques géométriques du tissu. Ils remarquent des singularités sur la surface des tissus et développent un modèle basé sur la théorie des singularités auxquelles ils ajoutent certains contours projetés.

Dans le but d'animer les plis, les auteurs font par ailleurs, les observations suivantes:

- au fur et à mesure que le pli se forme, il s'amincit,
- les points de branchements se déplacent de manière à creuser le pli,

Les résultats obtenus par cette approche ne sont pas réalistes. Etant donné que la formation des plis est conditionnée par les positions des points d'attaches auxquelles le tissu est accroché.

D'autres chercheurs ont essayé d'utiliser d'autres techniques afin de se rapprocher le plus possible des phénomènes réels engendrés par les plis dans un tissu. Parmi eux se placent les travaux de Tsopelas [TSO 91], proches de ceux de Kunii. Ces travaux ont pour objectif de modéliser les plis de froissement qui apparaissent sur des vêtements.

Tsopelas constate, dans l'ensemble des plis apparaissant sur les jambes ou les manches d'un costume, une suite continue de primitives unitaires en forme de losange. Une illustration de ce phénomène est donnée figure II-2.

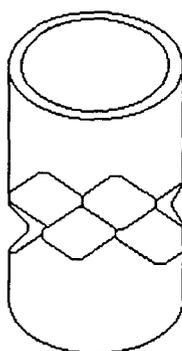


Figure II-2: Apparition des losanges en compression axiale.

La méthode utilisée par ce chercheur consiste à placer d'une façon interactive les sommets des losanges sur la surface du vêtement. Ceux-ci vont se déformer sous le contrôle de l'opérateur de la manière suivante :

- des segments formant le losange sont sélectionnées et sont discrétisées en un certain nombre d'élastiques,
- ces élastiques se déforment ensuite sous l'action de la gravité et des forces appliquées en leurs extrémités,
- une surface paramétrique est construite à partir des courbes résultantes.

Cette méthode est critiquable par le fait que l'arrangement des plis sur la surface du tissu, ainsi que l'intensité des forces appliquées aux élastiques ne sont pas gérés par le modèle. Seule la géométrie de la surface délimitée par le losange est calculée automatiquement.

La démarche infographique traduisant les modèles d'observation tient compte essentiellement des caractères géométriques de la matière textile. Elle n'utilise pas les propriétés intrinsèques du matériau. Dans ce sens, elle ne permet pas d'obtenir des résultats correspondant à la réalité physique, même si ses résultats peuvent paraître assez réalistes.

Une approche procédurale, exploitant les caractéristiques mécaniques et les relations mathématiques appliquées à la mécanique des tissus, peut apporter une modélisation plus conforme à la réalité physique.

II-1-2 / Modèles de connaissance :

Les caractéristiques particulières du matériau à modéliser ne permettent pas de mettre en œuvre uniquement les outils de la mécanique des solides. Plusieurs équipes de recherche travaillent actuellement pour trouver un modèle qui s'adapte au tissu et qui permet de le modéliser dans des conditions réelles d'utilisation.

Une synthèse des travaux de certaines équipes est présentée ci-dessous.

Amirbayat [AMI 89], décrit les particularités géométriques du pli d'un tissu. Il élabore un modèle géométrique, dont les paramètres sont liés aux quantités physiques mesurables. Selon l'auteur, la différence fondamentale entre le tissu et les autres matériaux réside dans la relation entre les déformations dans le plan et celles hors du plan.

Cette constatation est vérifiable trivialement, car le tissu épouse les formes avec lesquelles il est en contact cf. figure II-3. De plus, il existe une grande différence entre les formes de flambage rondes des plis du tissu et celles constantes du papier. Ainsi des zones de double courbure sur le tissu sont à prendre en compte.

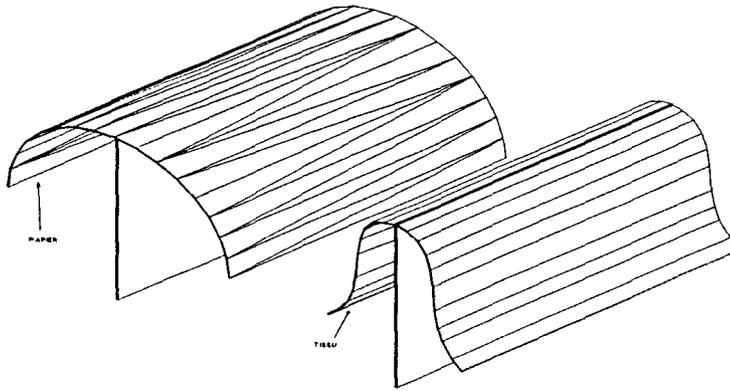


Figure II-3 : Différence de formes entre le tissu et le papier

Par l'observation, Amirbayat remarque qu'un plissé complexe est une combinaison d'entités géométriques de base, de type unique, appelées pli à trois branches. Le pli à trois branches, dans sa forme la plus simple, est obtenu en compressant radialement un disque de tissu selon trois points équidistants. Il distingue deux zones : une zone A, centrale et circulaire, ayant une double courbure et une zone B, périphérique, ne contenant que des plis de courbure simple (cf. figure II-4).

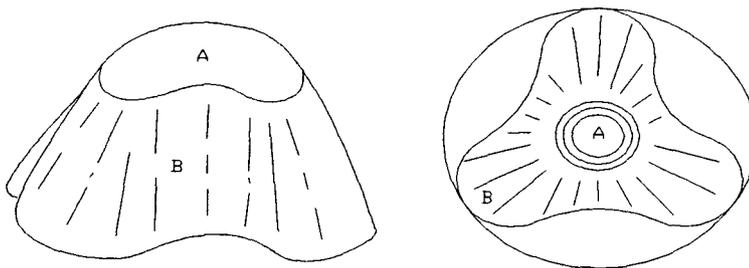


Figure II-4 : Différentes zones de courbures selon Amirbayat.

Le modèle physique élaboré est basé sur la théorie des membranes élastiques isotropes. Il s'appuie sur l'approximation des différentes énergies dans le tissu et la minimisation de l'énergie totale. Les énergies considérées par Amirbayat sont :

- l'énergie des forces qui agissent dans le plan de la membrane,
- l'énergie de flexion,
- l'énergie de traction sur toute la surface du tissu,
- l'énergie potentielle.

Ce modèle est critiqué sur le fait que les hypothèses géométriques (plis à trois branches avec double courbure dans une zone et une courbure simple dans une autre zone) ne sont pas vérifiées pour tous les types de tissu et dans toutes les circonstances d'utilisation.

Une autre approche a été développée par Breen [BRE 94-1,2]. Il considère que l'échec de la modélisation des tissus jusqu'à présent est dû au fait que les tissus sont considérés comme des structures continues et homogènes. Son approche consiste à élaborer des expressions d'énergies inspirées de la micro-géométrie du tissu plutôt que de déduire des expressions de l'énergie des équations différentielles de la mécanique des milieux continus.

Il représente alors le tissu comme un maillage 2-D. La figure II-5 donne une illustration du maillage utilisé.

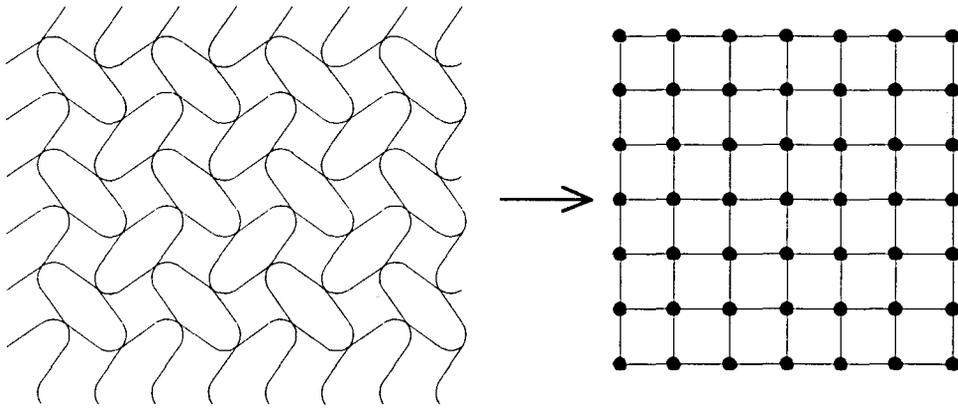


Figure II-5 : Maillage 2-D considéré par Breen.

A chaque point du maillage est associée une fonction d'énergie U . Cette fonction est décomposée en une énergie d'élongation U_e , de torsion hors du plan U_b , de torsion dans le plan U_t , de gravité U_g et de répulsion avec les autres points U_r . L'énergie de répulsion proposée découle de la force de répulsion point à point utilisée en modélisation moléculaire.

A notre avis, les forces de répulsion agissent de manière à conserver les distances des points du maillage représentant le tissu. De cette manière, le comportement macroscopique de la surface est en quelque sorte prédéfini.

J. Ascough [ASC 96] présente une méthode basée sur l'utilisation de la théorie des éléments finis pour simuler le comportement dynamique du drapé. Il utilise un élément fini unidimensionnel de type poutre avec des propriétés de masse et de rigidité correspondant aux paramètres des tissus. Cet élément peut représenter des propriétés d'isotropie ou d'orthotropie du tissu s'il est utilisé avec une décomposition appropriée du domaine.

L'analyse du problème invoquant des grands déplacements peut être traitée grâce à l'utilisation d'une matrice de considérations géométriques initiales ou une matrice de rigidité initiale adéquate. L'équation utilisée par J. Ascough est de la forme :

$$[K]\{U\} = \{P\}$$

avec :

$[K]$: représentant la matrice de rigidité;

$\{U\}$: vecteur des déplacements;

$\{P\}$: vecteur représentant les forces appliquées sur le tissu.

Il décompose ensuite la matrice de rigidité en deux matrices, une représentant les termes de rigidité mécanique et l'autre les termes de rigidité géométrique. La discrétisation en éléments finis est donnée par la figure II-6. Comme il le reconnaît, l'utilisation de l'élément fini unidimensionnel de type poutre n'est pas la meilleure solution. Cependant, il n'a pas envisagé de le modifier et de poursuivre avec cette méthode. De ce fait, nous déduisons la difficulté de simuler et de développer un élément fini qui s'adapte aux caractéristiques des tissus.

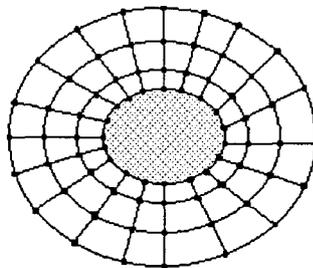


Figure II-6 : Modèle de J. Ascough discrétisé en éléments finis

Parallèlement à ces travaux, une autre équipe composée de B. Chen et M. Govendaraj [CHE 95] a développé un autre modèle pour simuler le drapé des matières textiles. Le modèle considéré est basé sur la théorie des coques flexibles. L'équation considérée est la même que celle utilisée par Ascough :

$$[K]\{\Delta q\} = \{\Delta f\}$$

avec :

$\{\Delta q\}$: vecteur des déplacements,

$\{\Delta f\}$: vecteur forces appliquées sur le tissu.

Cette équipe a utilisé un élément fini à deux dimensions et neuf noeuds, chaque noeud possède cinq degrés de libertés. Une illustration de l'élément fini est présentée figure II-7.

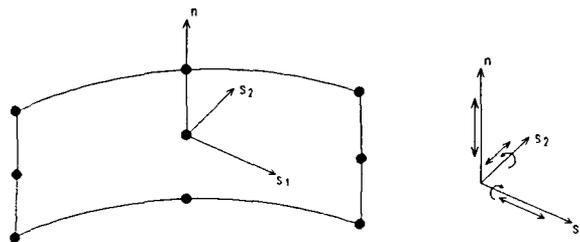


Figure II-7: Elément fini utilisé par Chen et Govendaraj.

Les auteurs considèrent que le tissu est composé d'un certain nombre de couches très fines plaquées les unes contre les autres pour former son épaisseur. Ils ne s'intéressent qu'à la couche médiane. L'élément fini représente alors un élément de surface de la couche médiane.

Ils supposent aussi que la normale à la couche médiane non déformée reste la normale de cette couche pendant la déformation et que durant la déformation les contraintes restent planes et parallèles au plan tangent à la surface médiane.

Les résultats obtenus se rapprochent de la réalité sans convaincre. Ceci est peut être dû à l'hypothèse faite sur les contraintes (contraintes planes et tangentes à la surface médiane).

A la suite de ces travaux les auteurs effectuent une étude paramétrique, pour analyser l'influence des coefficients mesurables physiquement sur le tissu, tels que le module d'Young dans les sens chaîne et trame, le coefficient de Poisson et le module de cisaillement [CHE 96].

La recherche dans le domaine du comportement dynamique des tissus est très récente, milieu des années 80; c'est pourquoi aucun modèle réellement satisfaisant n'a émergé jusqu'à présent.

Par ailleurs, la théorie générale des modèles déformables proposée par Terzopoulos [TER 88], semble pouvoir donner des résultats intéressants pour le matériau textile. C'est cet aspect que nous développons dans la suite de ce chapitre.

II-2 / FORMULATION THEORIQUE DU MODELE RETENU :

Le tissu possède un effet de mémoire dans son comportement. Quasiment toutes ses déformations sont de type élastique. Les modèles à déformations élastiques retrouvent leurs configurations de référence ou initiales dès que les forces appliquées causant cette déformation cessent d'exister.

La formulation théorique des déformations s'exprime dans un repère euclidien à 3 dimensions où les positions de chaque point du matériau sont définies par :

$$r(u, t) = [x_1(u, t), x_2(u, t), x_3(u, t)]$$

avec : r : position d'un point du modèle,

u : repère lié au matériau,

t : temps.

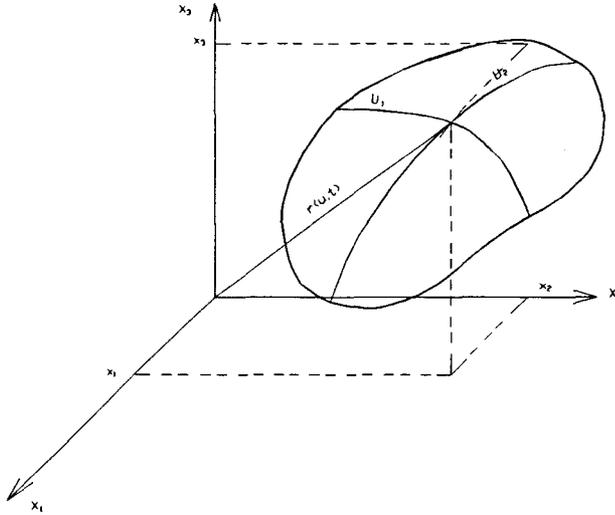


Figure II-8 : Représentation de la position d'un point du modèle

La position du modèle dans la configuration stable (non déformée) ou initiale est spécifiée par :

$$r^0(u) = [x_1^0(u), x_2^0(u), x_3^0(u)].$$

Un modèle dynamique est décrit complètement en fonction de ses coordonnées spatiales et du temps, les grandeurs essentielles dans ce modèle sont :

- la position : $r(u, t)$,
- la vitesse : $\frac{\partial r(u, t)}{\partial t}$,
- l'accélération : $\frac{\partial^2 r(u, t)}{\partial t^2}$.

Les équations décrivant la dynamique du modèle sont celles de Lagrange [GOL 80], elles expriment le mouvement d'un corps dans un référentiel d'inertie ϕ par :

$$\mu \frac{\partial^2 r}{\partial t^2} - \gamma \frac{\partial r}{\partial t} + \lambda r = f(u, t).$$

Pendant le mouvement les forces externes $f(u, t)$ équilibrent dynamiquement la somme des :

- forces d'inerties dues à la densité de masse $\mu(u)$,
- forces de frottement dépendant de la vitesse $\gamma(u)$,
- forces internes au modèle $\lambda(u)$ qui s'opposent à la déformation.

Ce type d'équation ou modèle est valable pour tous les matériaux rigides, mais il ne peut pas être appliqué au tissu car les forces et les contraintes internes dans les tissus ne peuvent pas être ramenées à la simple expression $\lambda(u) \cdot r$.

Les forces internes qui agissent sur le tissu afin de le ramener à sa configuration initiale peuvent s'exprimer par une fonction de variation d'énergie qui tient compte de la spécificité du matériau textile [GHI 97-2], [GHI 97-3].

La fonction de variation d'énergie que nous avons adoptée pour modéliser le comportement dynamique du tissu découle de la théorie de la géométrie différentielle et est représentée par l'expression $\xi(u)$ qui est détaillée plus loin dans ce chapitre.

Les forces internes dans le tissu sont alors traduites par le terme $\partial_r \xi(u)$ qui n'est autre que la dérivée par rapport à la position (r) de la fonction, toujours positive ou nulle, de la variation d'énergie.

Les équations de Lagrange du mouvement relatives aux modèles déformables s'écrivent alors :

$$\mu \frac{\partial^2 \mathbf{r}}{\partial t^2} - \gamma \frac{\partial \mathbf{r}}{\partial t} + \partial_r \xi(u) = f(u, t)$$

Dans cette équation modèle apparaissent différents termes.

- l'expression $\mu(u) \frac{\partial^2 \mathbf{r}}{\partial t^2}$ représente la densité de masse qui multipliée par l'accélération donne les forces d'inerties du modèle. Il est à remarquer qu'il est possible de prendre une densité de masse constante qui traduit une distribution uniforme de celle-ci sur le domaine considéré.
- l'expression $\gamma(u) \frac{\partial \mathbf{r}}{\partial t}$ représente les forces de frottement qui ralentissent la dynamique du modèle, cette expression est détaillée au paragraphe II-2-4.
- la dérivée première de la fonction d'énergie $\partial_r \xi(u)$ représentant les forces et contraintes internes dans le tissu nécessite l'utilisation de la théorie de la géométrie différentielle. De ce fait, nous sommes amenés à définir un repère associé au tissu lors de ces déformations. Ce repère utilise les coordonnées curvilignes pour traduire la notion d'équivalence de deux surfaces, d'un point de vue déformations, dans l'espace par l'utilisation du théorème de BONNET [BOS 65], [THO 79]. Ceci permet d'exprimer finalement le terme relatif à l'énergie de déformation pour les surfaces.
- l'expression $f(u, t)$ n'est autre que la contribution des forces extérieures dans le modèle, cette contribution est explicitée dans le paragraphe II-5.

Dans ce qui suit, nous présentons les outils mathématiques nécessaires à la mise en place de notre modèle.

Dans un premier temps, nous utilisons la géométrie différentielle pour exprimer l'énergie de déformation des tissus (paragraphe II-2-1,II-2-2 et II-2-3).

Dans un second temps, nous donnons une évaluation du frottement subi par le tissu (paragraphe II-2-4). Finalement, nous présentons les différentes formes que peuvent prendre les forces extérieures (paragraphe II-2-5) et nous présentons l'expression générale du modèle (paragraphe II-3).

II-2-1 / Coordonnées Curvilignes [MUR 73] :

II-2-1-1 / Changement de coordonnées :

Soit (x, y, z) les coordonnées cartésiennes d'un point P quelconque, relative à un repère X, et soit (u_1, u_2, u_3) les coordonnées de ce même point par rapport à un autre repère U:

$$x = f_1(u_1, u_2, u_3), \quad y = f_2(u_1, u_2, u_3), \quad z = f_3(u_1, u_2, u_3)$$

Supposons que les équations de la relation précédente puissent se résoudre en u_1, u_2, u_3 comme fonctions de x, y, z . Nous avons alors:

$$u_1 = g_1(x, y, z), \quad u_2 = g_2(x, y, z), \quad u_3 = g_3(x, y, z)$$

Les deux précédentes relations doivent prendre une seule valeur en chaque point et posséder des dérivées continues, de sorte que la correspondance entre (x, y, z) et (u_1, u_2, u_3) soit unique, pour définir un changement de repère. Nous avons alors :

$$g_i^{-1} = f_i, \quad i = 1, 2, 3.$$

Etant donné un point P de coordonnées cartésiennes (x, y, z) , appelées aussi rectangulaires, nous pouvons lui associer un seul ensemble de coordonnées (u_1, u_2, u_3) appelées les coordonnées curvilignes de P. Les équations précédentes définissent un changement de repère.

II-2-1-2 / Coordonnées curvilignes orthogonales :

Les surfaces $u_1 = c_1, u_2 = c_2, u_3 = c_3$ où c_1, c_2 et c_3 sont des constantes, s'appellent surfaces de coordonnées. Celles-ci se coupent chacune deux à deux en suivant des courbes appelées courbes de coordonnées (cf. figure II-9).

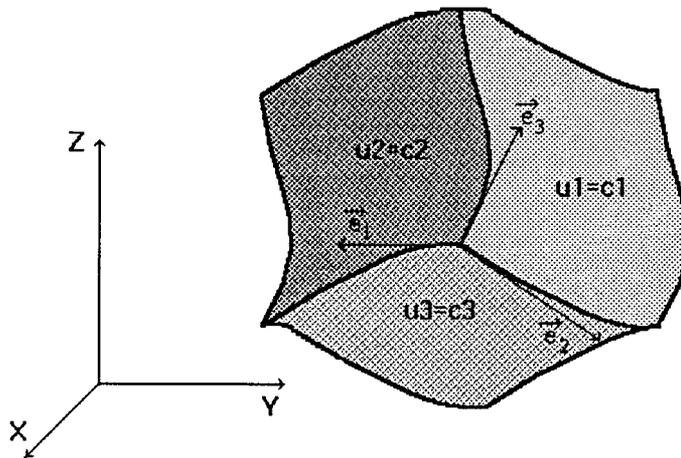


figure II-9 : Surfaces et Courbes de coordonnées.

Si les surfaces de coordonnées se coupent en formant des angles droits à un point P, le système de coordonnées curvilignes $(\vec{e}_1, \vec{e}_2, \vec{e}_3)$ en ce point est orthogonal. Les courbes de coordonnées du système de coordonnées curvilignes sont analogues aux axes de coordonnées x, y et z du repère rectangulaire ou cartésien.

II-2-1-3 / Vecteurs unités dans les systèmes de coordonnées curvilignes :

Soit $\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$, le vecteur position d'un point P dans le repère général cartésien. Ce vecteur est exprimé dans le repère de coordonnées curvilignes par la relation suivante : $\vec{r} = \vec{r}(u_1, u_2, u_3)$.

Un vecteur tangent à la courbe u_1 en P (pour laquelle u_2 et u_3 sont constants) est donné par l'expression : $\frac{\partial \vec{r}}{\partial u_1}$. Le vecteur unitaire dans cette direction se traduit par l'expression :

$$\vec{e}_1 = \frac{\frac{\partial \vec{r}}{\partial u_1}}{\left| \frac{\partial \vec{r}}{\partial u_1} \right|} \text{, ainsi : } \frac{\partial \vec{r}}{\partial u_1} = h_1 \vec{e}_1, \text{ avec } h_1 = \left| \frac{\partial \vec{r}}{\partial u_1} \right|.$$

De même, si \vec{e}_1 et \vec{e}_2 sont des vecteurs unités tangents aux courbes u_2 et u_3 en P respectivement, nous avons alors :

$$\frac{\partial \vec{r}}{\partial u_2} = h_2 \vec{e}_2, \text{ avec } h_2 = \left| \frac{\partial \vec{r}}{\partial u_2} \right| \text{ et } \frac{\partial \vec{r}}{\partial u_3} = h_3 \vec{e}_3, \text{ avec } h_3 = \left| \frac{\partial \vec{r}}{\partial u_3} \right|.$$

D'autre part, puisque $\nabla \bar{u}_1$ (gradient de u_1) est un vecteur en P normal à la surface $u_1 = c_1$, un vecteur unitaire dans cette direction est : $\vec{E}_1 = \nabla \bar{u}_1 / |\nabla \bar{u}_1|$. De même, les vecteurs unités $\vec{E}_2 = \nabla \bar{u}_2 / |\nabla \bar{u}_2|$ et $\vec{E}_3 = \nabla \bar{u}_3 / |\nabla \bar{u}_3|$ sont normaux aux surfaces $u_2 = c_2$ et $u_3 = c_3$ respectivement.

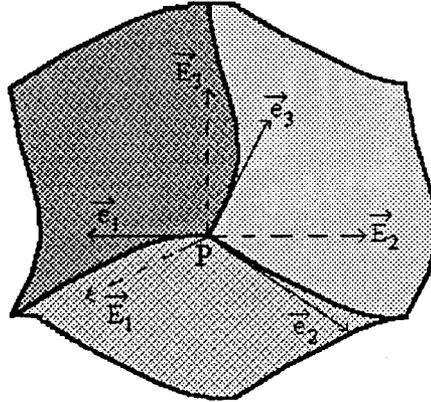


Figure II-10 : Système de coordonnées curvilignes

Ainsi, en tout point P d'un système de coordonnées curvilignes il existe, en général, deux ensembles de vecteurs unités l'un tangent aux courbes de coordonnées $(\vec{e}_1, \vec{e}_2, \vec{e}_3)$ et l'autre perpendiculaire aux surfaces de coordonnées $(\vec{E}_1, \vec{E}_2, \vec{E}_3)$.

Ces ensembles peuvent avoir des directions confondues si le système de coordonnées curvilignes est orthogonal. Alors ils présentent une analogie avec les vecteurs unitaires \vec{i} , \vec{j} et \vec{k} du repère cartésien, mais différent de ce dernier car ils changent de direction d'un point à un autre.

II-2-1-4 / Propriétés des repères orthonormés :

Soient \vec{x} et \vec{y} deux vecteurs; les coordonnées $\vec{x} = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$ et $\vec{y} = [y_1, y_2, \dots, y_n]^T$ de ces deux vecteurs dans un repère $R_0(e_1, e_2, \dots, e_n)$ qui est orthonormé se présentent sous la forme condensée :

$$\vec{x} = \sum_i x_i \cdot \vec{e}_i \text{ et } \vec{y} = \sum_i y_i \cdot \vec{e}_i .$$

Le produit scalaire de ces deux vecteurs par rapport au repère R_0 , donne le résultat suivant :

$$\bar{x} \cdot \bar{y} = x_1 \cdot y_1 + x_2 \cdot y_2 + \dots + x_n \cdot y_n = \sum_i x_i \cdot y_i.$$

Dans un autre repère quelconque noté $R(e'_1, e'_2, \dots, e'_n)$. Nous avons :

$$\bar{x} = \sum_i x'_i \cdot \bar{e}'_i \quad \text{et} \quad \bar{y} = \sum_i y'_i \cdot \bar{e}'_i$$

Le même produit scalaire par rapport au repère quelconque R est donné par :

$$\bar{x} \cdot \bar{y} = \left(\sum_i x'_i \cdot \bar{e}'_i \right) \cdot \left(\sum_j y'_j \cdot \bar{e}'_j \right) = \sum_i \sum_j (x'_i \cdot y'_j) \cdot (\bar{e}'_i \cdot \bar{e}'_j)$$

En posant $G_{ij} = \bar{e}'_i \cdot \bar{e}'_j$, nous obtenons : $\bar{x} \cdot \bar{y} = \sum_i \sum_j x'_i \cdot y'_j \cdot G_{ij}$.

Cette dernière relation donne le produit scalaire de deux vecteurs \bar{x} et \bar{y} d'un espace euclidien E rapporté à un repère quelconque R. Notons que dans un repère orthonormé, le produit intérieur G_{ij} est soit nul si l'indice i est différent de l'indice j, soit égal à 1 si les deux indices sont égaux.

II-2-1-5 / Calcul de l'élément d'arc ds pour une surface dans le repère curviligne:

Il s'agit de calculer l'élément d'arc pour une surface, on a $\vec{r} = \vec{r}(u_1, u_2)$ comme le montre la figure II-11.

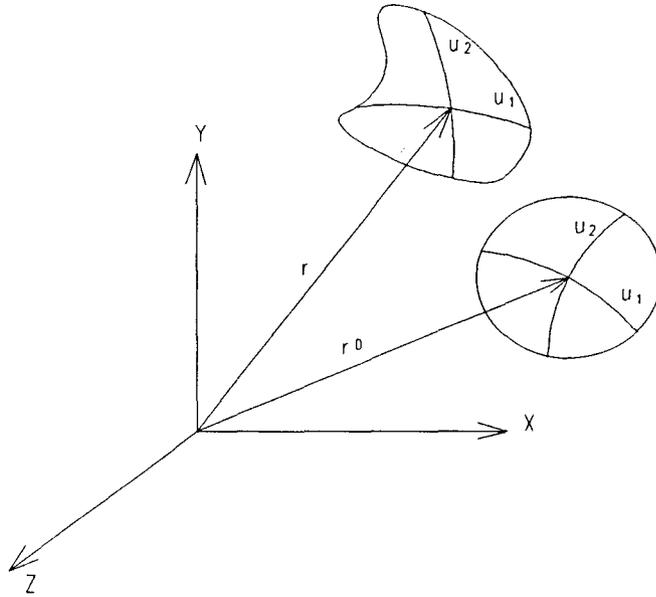


Figure II-11 : Eléments d'arc pour une surface.

De $\vec{r} = \vec{r}(u_1, u_2)$, nous tirons :

$$d\vec{r} = \frac{\partial \vec{r}}{\partial u_1} du_1 + \frac{\partial \vec{r}}{\partial u_2} du_2.$$

La différentielle de l'arc ds (aussi appelée abscisse curviligne) se détermine à partir de la relation suivante : $ds^2 = d\vec{r} \cdot d\vec{r}^T$, qui est égale à :

$$ds^2 = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 G_{ij} du_i du_j. \text{ Avec } G_{ij} = \frac{\partial \vec{r}}{\partial u_i} \cdot \frac{\partial \vec{r}}{\partial u_j}$$

Le résultat ds^2 constitue la première forme quadratique fondamentale. C'est une forme définie positive, sa valeur est indépendante du choix des coordonnées locales. Ses coefficients G_{ij} sont les composantes d'un tenseur symétrique, appelé tenseur métrique.

II-2-2 / Equivalence de deux surfaces dans l'espace : Théorème de BONNET.

Comme nous l'avons vu au paragraphe précédent, le tenseur G_{ij} constitue la première forme quadratique fondamentale. Ce résultat, étant indépendant du repère du travail, constitue un outil pour comparer et identifier la déformation des solides dans l'espace.

En effet, la forme tridimensionnelle d'un solide est déterminée par les distances euclidiennes et les angles entre les directions de ses points voisins. Ces distances et angles locaux varient lorsque le solide se déforme et sont mesurées par le tenseur métrique G_{ij} .

D'après, la théorie de la géométrie différentielle [BOS 65], [CHO 68], [THO 79], [TER 88], [STR 61] deux propositions importantes en émergent pour définir la forme des solides et des surfaces.

Proposition 1 :

"Deux solides dans l'espace ont la même forme instantanée (peuvent différer par un mouvement rigide seulement) si au même instant t leurs tenseurs métriques sont des fonctions identiques des coordonnées spatiales $U = (u_1, u_2, u_3)$."

Si un corps est fin dans une ou plusieurs de ses directions, alors une ou plusieurs dimensions sont très petites par rapport aux autres. Les distances entre ses points proches ne suffisent plus à déterminer sa forme. L'égalité des tenseurs métriques est nécessaire mais non suffisante pour déterminer la forme d'une surface dans l'espace, ce qui nous amène à énoncer la deuxième proposition.

Proposition 2 :

"Deux surfaces ont la même forme si leurs tenseurs métriques et leurs tenseurs de courbures tous deux des matrices 2x2, sont, au même instant t, des fonctions identiques des coordonnées spatiales $U = (u_1, u_2)$."

Cette proposition est en accord avec le théorème de BONNET dont l'énoncé est le suivant :

" Une hypersurface de ξ^n est entièrement déterminée, à un déplacement euclidien près, par la connaissance de ses deux premières formes fondamentales." [LEL 63], [PHA 69].

La deuxième forme fondamentale est donnée par le tenseur de courbure B_{ij} dont l'expression est la suivante :

$$B_{ij}(r(u, t)) = \bar{n} \cdot \frac{\partial^2 \bar{r}}{\partial u_i \partial u_j}$$

avec :

$$\bar{n} = \frac{\frac{\partial \bar{r}}{\partial u_1} \wedge \frac{\partial \bar{r}}{\partial u_2}}{\left| \frac{\partial \bar{r}}{\partial u_1} \wedge \frac{\partial \bar{r}}{\partial u_2} \right|} : \text{vecteur unitaire normal à la surface.}$$

II-2-3 / Formulation énergétique de la déformation des tissus :

En utilisant la première et la deuxième forme fondamentale, Terzopoulos et al. [TER 87], [TER 88] définissent la fonctionnelle de l'énergie pour les solides et les surfaces comme l'intégrale de la norme euclidienne de la différence entre les tenseurs

du solide déformé et les tenseurs du solide à l'état naturel pondéré par des coefficients de rigidité.

Cette fonctionnelle d'énergie tend à ramener les déformations des corps à leurs états naturels. L'énergie de déformation doit satisfaire les conditions suivantes :

- la fonctionnelle d'énergie est nulle quand le modèle est dans sa forme naturelle,
- la fonctionnelle d'énergie doit croître quand le modèle se déforme et perd sa forme initiale.

II-2-3-1 / Energie de déformation pour les solides :

D'après la Proposition 1, la forme d'un solide Ω dans l'espace est complètement identifiée en utilisant seulement le tenseur métrique G_{ij} . Terzopoulos et al. expriment la fonctionnelle d'énergie comme :

$$\xi(r) = \int_{\Omega} |G_{ij} - G_{ij}^0|_{w^1}^2 du_1 du_2 du_3 \quad i, j = \{1, 2, 3\}$$

avec :

$$G_{ij}^0 : \text{forme initiale du tenseur métrique, } G_{ij}^0 = \frac{\partial \mathcal{F}^0}{\partial u_i} \cdot \frac{\partial \mathcal{F}^0}{\partial u_j},$$

w^1 : matrice de pondération qui dépend de la rigidité du solide.

II-2-3-2 / Energie de déformation pour les surfaces (tissus) :

Pour une surface Σ , la fonctionnelle de l'énergie de déformation qui tient compte du théorème de Bonnet s'exprime comme suit :

$$\xi(r) = \int_{\Sigma} \left[\left| G_{ij} - G_{ij}^0 \right|_{w^1}^2 + \left| B_{ij} - B_{ij}^0 \right|_{w^2}^2 \right] du_1 du_2 .$$

Le tenseur de courbure de l'état déformé de la surface est représenté par B_{ij} , alors que B_{ij}^0 représente le tenseur de courbure à l'état naturel ou initial.

La norme des matrices $\left[G_{ij} - G_{ij}^0 \right]_{w^1}$ et $\left[B_{ij} - B_{ij}^0 \right]_{w^2}$ est pondérée par les fonctions $w_{ij}^1(u_1, u_2)$ et $w_{ij}^2(u_1, u_2)$.

II-2-3-2-1 : Calcul de la fonctionnelle de l'énergie de déformation :

Soit $\left[G_{ij} - G_{ij}^0 \right] = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} \\ g_{21} & g_{22} \end{bmatrix}$ la matrice du tenseur métrique de la surface, et soit

$\left[W^1 \right] = \begin{bmatrix} w_{11}^1 & w_{12}^1 \\ w_{21}^1 & w_{22}^1 \end{bmatrix}$ la matrice de pondération. La quantité $\left| G_{ij} - G_{ij}^0 \right|_{w^1}$ est donnée

par l'expression suivante : $\left| G_{ij} - G_{ij}^0 \right|_{w^1} = \left(\sum_{i,j=1}^2 w_{ij}^1 \cdot g_{ij}^2 \right)^{1/2}$,

de même, $\left| B_{ij} - B_{ij}^0 \right|_{w^2} = \left(\sum_{i,j=1}^n w_{ij}^2 \cdot b_{ij}^2 \right)^{1/2}$, où les termes b_{ij} représentent les

composantes du tenseur de courbure $\left[B_{ij} - B_{ij}^0 \right]$.

La fonctionnelle de l'énergie d'une surface d'après la théorie des modèles déformables [TER 87-88], se traduit donc par l'expression suivante :

$$\xi(r) = \int |G_{ij} - G_{ij}^0|_{w^1}^2 + |B_{ij} - B_{ij}^0|_{w^2}^2 du_1 du_2 = \int \sum_{i,j=1}^2 (w_{ij}^1 \cdot g_{ij}^2 + w_{ij}^2 \cdot b_{ij}^2) du_1 du_2 .$$

II-2-3-2-2: Identification des matrices de pondération $[W^1]$ et $[W^2]$:

Les matrices $[W^1]$ et $[W^2]$ sont des matrices de pondération de l'énergie de déformation d'une surface. Elles expriment la nature de la matière modélisée sous forme de coefficients. Ces derniers représentent les caractéristiques mécaniques propres au tissu et sont obtenus par des mesures et des essais pratiqués sur celui-ci, selon des méthodes, en partie, indiquées au chapitre I et explicitées en détails dans le chapitre suivant.

La matrice $[W^1] = \begin{bmatrix} w_{11}^1 & w_{12}^1 \\ w_{21}^1 & w_{22}^1 \end{bmatrix}$ exprime les tensions surfaciques auxquelles le tissu est assujetti pendant les déformations.

avec :

- w_{11}^1 : coefficient de résistance à l'allongement sur l'axe u_1 , qui est une fonction du module d'Young élastique dans le sens u_1 et du coefficient de Poisson. L'axe u_1 peut représenter le sens chaîne de tissu (resp. trame).
- w_{22}^1 : coefficient de résistance à l'allongement sur l'axe u_2 , qui est une fonction du module d'Young élastique dans le sens u_2 et de coefficient de Poisson. L'axe u_2 peut représenter le sens trame du tissu (resp. Chaîne).
- w_{12}^1, w_{21}^1 : coefficients de résistance au cisaillement qui peuvent être exprimés en fonction des modules d'Young et du coefficient de Poisson.

Il est tout à fait normal que cette matrice soit liée aux coefficients de la première forme fondamentale étant donné qu'elle caractérise les allongements dans les sens chaîne et trame.

La matrice $[W^2] = \begin{bmatrix} w_{11}^2 & w_{12}^2 \\ w_{21}^2 & w_{22}^2 \end{bmatrix}$ exprime les tensions relatives à la flexion et à la torsion de tissu.

avec :

- w_{11}^2, w_{22}^2 : coefficients de la résistance à la flexion respectivement dans les sens u_1 et u_2 .
- w_{12}^2, w_{21}^2 : coefficients de résistances à la torsion.

Il est à noter que cette matrice pondère la norme du tenseur de courbure résultant. En ce sens, alors que le tenseur de courbure caractérise une géométrie, la matrice $[W_2]$ associée à ce tenseur caractérise les forces engendrées par les déformations du tissu.

Ce résultat est tout à fait attendu, car les flexions subies par le tissu ont une influence fondamentale sur la normale en chaque point de la surface.

II-2-3-3 / Dérivée première de l'énergie de déformation $\partial_r \xi(r)$:

Dans le paragraphe II-3-2 de ce chapitre, il a été montré que l'énergie de déformation d'une surface [TER 87], [TER 88] est égale à :

$$\xi(r) = \int \left| G_{ij} - G_{ij}^0 \right|_{w_1}^2 + \left| B_{ij} - B_{ij}^0 \right|_{w_2}^2 du_1 du_2 = \int \sum_{i,j=1}^2 \left(w_{ij}^1 \cdot g_{ij}^2 + w_{ij}^2 \cdot b_{ij}^2 \right) du_1 du_2.$$

Une approximation de la dérivée première de cette expression par rapport à la position (variable r) est donnée par la formule suivante [TER 87], [TER 88] :

$$\delta_r \xi(r) \approx \sum_{i,j=1}^2 -\frac{\partial}{\partial u_i} \left(\alpha_{ij} \cdot \frac{\partial \vec{r}}{\partial u_j} \right) + \frac{\partial^2}{\partial u_i \partial u_j} \left(\beta_{ij} \cdot \frac{\partial^2 \vec{r}}{\partial u_i \partial u_j} \right)$$

avec :

$$\alpha_{ij} = w_{ij}^1 \cdot \left(\frac{\partial \vec{r}}{\partial u_i} \cdot \frac{\partial \vec{r}}{\partial u_j} - \frac{\partial \vec{r}^0}{\partial u_i} \cdot \frac{\partial \vec{r}^0}{\partial u_j} \right) = w_{ij}^1 \cdot g_{ij};$$

$$\beta_{ij} = w_{ij}^2 \cdot \left(\vec{n} \cdot \frac{\partial^2 \vec{r}}{\partial u_i \partial u_j} - \vec{n}^0 \cdot \frac{\partial^2 \vec{r}^0}{\partial u_i \partial u_j} \right) = w_{ij}^2 \cdot b_{ij};$$

où :

$$\vec{n} = \frac{\frac{\partial \vec{r}}{\partial u_i} \wedge \frac{\partial \vec{r}}{\partial u_j}}{\left| \frac{\partial \vec{r}}{\partial u_i} \wedge \frac{\partial \vec{r}}{\partial u_j} \right|} \quad \text{et} \quad \vec{n}^0 = \frac{\frac{\partial \vec{r}^0}{\partial u_i} \wedge \frac{\partial \vec{r}^0}{\partial u_j}}{\left| \frac{\partial \vec{r}^0}{\partial u_i} \wedge \frac{\partial \vec{r}^0}{\partial u_j} \right|}.$$

L'expression complète de cette dérivée d'énergie est alors :

$$\delta_r \xi(r) \approx \sum_{i,j=1}^2 -\frac{\partial}{\partial u_i} \left(w_{ij}^1 \cdot \left(\frac{\partial \vec{r}}{\partial u_i} \cdot \frac{\partial \vec{r}}{\partial u_j} - \frac{\partial \vec{r}^0}{\partial u_i} \cdot \frac{\partial \vec{r}^0}{\partial u_j} \right) \cdot \frac{\partial \vec{r}}{\partial u_j} \right) + \frac{\partial^2}{\partial u_i \partial u_j} \left(w_{ij}^2 \cdot \left(\vec{n} \cdot \frac{\partial^2 \vec{r}}{\partial u_i \partial u_j} - \vec{n}^0 \cdot \frac{\partial^2 \vec{r}^0}{\partial u_i \partial u_j} \right) \cdot \frac{\partial^2 \vec{r}}{\partial u_i \partial u_j} \right)$$

qui peut être ramenée sous une forme plus réduite comme :

$$\delta_r \xi(r) \approx \sum_{i,j=1}^2 -\frac{\partial}{\partial u_i} \left(w_{ij}^1 \cdot g_{ij} \cdot \frac{\partial \vec{r}}{\partial u_j} \right) + \frac{\partial^2}{\partial u_i \partial u_j} \left(w_{ij}^2 \cdot b_{ij} \cdot \frac{\partial^2 \vec{r}}{\partial u_i \partial u_j} \right)$$

Cette expression représente une évaluation des différentes formes de contraintes présentes lors des déformations du tissu.

II-2-4 / Evaluation du frottement subi par le tissu :

Le frottement subi par le tissu est le coefficient le plus délicat à évaluer. D'une part, ce coefficient représente essentiellement la résistance engendrée par le milieu ambiant sur le tissu. D'autre part, il ne faut pas qu'il soit trop important pour ne pas modifier le comportement simulé qui doit se rapprocher du comportement naturel.

Les hypothèses émises sur le coefficient de frottement sont :

- le frottement est fluide, il est associé à la vitesse de déplacement,
- il vérifie la notion de " Dumping orthogonal" [MOD 85] [ZEI 77] se traduisant par un coefficient multipliant la masse et un autre multipliant la rigidité. Il est exprimé par :

$$\gamma = C_m [M] + C_k [W^1]$$

avec :

$[M]$: Matrice de la distribution de masse dans le tissu,

$[W^1]$: Matrice de rigidité surfacique de tissu,

C_m : Coefficient de pondération de la matrice de masse,

C_k : Coefficient de pondération de la matrice rigidité.

Les coefficients de pondération C_m et C_k sont pris de façon à ce que la résultante de l'amortissement fluide représente une résistance du milieu ambiant sur le tissu.

La méthode idéale pour quantifier ce coefficient consiste à :

- comparer le tombé réel enregistré par une caméra et celui enregistré sur un ordinateur avec le tombé simulé,
- ajuster ensuite ce coefficient de façon à faire coïncider le comportement simulé et le comportement réel.

Cette façon de procéder ne peut être mise en application que si tous les autres paramètres du modèle sont obtenus par des essais indépendants de la simulation.

II-2-5 / Forces extérieures pouvant agir sur le tissu :

L'application des forces extérieures au modèle permet de lui conférer une interaction avec le milieu extérieur, d'où un comportement réaliste. Généralement, les forces extérieures les plus prises en compte, sont :

- les forces de la pesanteur,
- les forces aérodynamiques qui peuvent s'exprimer, par exemple, par l'action du vent sur le tissu,
- les forces répulsives dues à la collision du modèle avec des objets impénétrables, statiques ou en mouvement.

Les forces de la pesanteur qui agissent sur le modèle sont données par l'expression courante :

$$F_g = \rho(u).s.g$$

où :

$\rho(u)$: distribution de la masse surfacique dans le tissu,

s : surface du tissu,

g : accélération de la pesanteur.

Les collisions dynamiques entre les systèmes à déformation élastique et les obstacles impénétrables peuvent être exprimées par une fonction de type exponentiel de forme: $c. \exp\left(-\frac{f(x)}{\varepsilon}\right)$ autour de chaque obstacle [TER 87], [TER 88].

La fonction $f(x)$ est la fonction implicite de l'obstacle, les constantes c et ε sont choisies telles que la force répulsive résultante exprimée comme le gradient de la fonction exponentielle croisse rapidement quand le modèle déformable cherche à percuter l'obstacle.

La force répulsive résultante [TER 87], [TER 88] est donnée par l'expression suivante :

$$f_r(x, t) = -c \left[\left(\frac{\nabla f(x)}{\varepsilon} \right) \exp\left(-\frac{f(x)}{\varepsilon}\right) * \vec{n} \right] * \vec{n}$$

où :

\vec{n} est la normale en chaque point de la surface de tissu.

II-3 / EXPRESSION GENERALE DU MODELE RETENU :

Dans notre modèle, afin de tenir compte de toutes les variables et grandeurs qui agissent sur le tissu, il a été nécessaire de mettre en avant les points importants qui suivent :

- une importance fondamentale est donnée à l'effet de l'inertie dans le modèle. Cette inertie se traduit par une distribution uniforme et constante de la masse sur le tissu.
- le frottement subi par le tissu est pris en compte; il satisfait aux hypothèses émises dans le paragraphe II-2-4. Nous pouvons remarquer que l'amortissement fluide est une contrainte subie par le tissu et, de ce fait, son expression peut changer de côté dans l'équation du modèle.
- les déformations engendrées par le mouvement du tissu et les contraintes internes de cette structure découlent d'une expression énergétique qui tient compte de la nature et des propriétés physiques du matériau.
- les forces extérieures; que nous avons choisies pour agir sur le tissu sont les forces de la pesanteur. Etant donné que nous travaillons dans le sens d'un tombé de tissu pouvant représenté un drapé.

L'expression générale de notre modèle se ramène au système d'équations suivant :

$$\left\{ \begin{array}{l} m \frac{\partial^2 \vec{r}}{\partial t^2} - \gamma \frac{\partial \vec{r}}{\partial t} + \partial_r \xi(u) = f(r, t) \\ \gamma = C_m \cdot m + C_k \cdot (w_{11}^1 + w_{22}^1) \\ \partial_r \xi(u) = \sum_{i,j=1}^2 - \frac{\partial}{\partial u_i} \left(W^1 \cdot \left[\frac{\partial \vec{r}}{\partial u_i} \cdot \frac{\partial \vec{r}}{\partial u_j} - \frac{\partial \vec{r}^0}{\partial u_i} \cdot \frac{\partial \vec{r}^0}{\partial u_j} \right] \cdot \frac{\partial \vec{r}}{\partial u_j} \right) + \frac{\partial^2}{\partial u_i \partial u_j} \left(W^2 \cdot \left[\vec{n} \cdot \frac{\partial^2 \vec{r}}{\partial u_i \partial u_j} - \vec{n}^0 \cdot \frac{\partial^2 \vec{r}^0}{\partial u_i \partial u_j} \right] \cdot \frac{\partial^2 \vec{r}}{\partial u_i \partial u_j} \right) \\ \vec{f}(r, t) = m \cdot \vec{g} \end{array} \right.$$

avec :

m : masse surfacique du tissu,

\vec{r} : vecteur donnant la position du tissu à l'instant t ,

\vec{r}^0 : vecteur donnant la position du tissu à l'instant initial,

t : temps,

C_m : coefficient de la contribution de la masse dans l'amortissement fluide subi par le tissu,

C_k : coefficient de la contribution de la rigidité dans l'amortissement fluide subi par le tissu,

$[W^1]$: matrice de rigidité du tissu du point de vue allongement,

$[W^2]$: matrice de rigidité du tissu du point de vue flexion,

u_1, u_2 : coordonnées curvilignes attachées au tissu,

\vec{n} : vecteur normal à la surface du tissu à l'instant t ,

\vec{n}^0 : vecteur normal à la surface du tissu à l'instant initial,

\vec{g} : accélération due à l'attraction de la pesanteur.

Nous considérons qu'à l'état initial le tissu ne présente aucune déformation et peut être considéré comme une surface plane. Cette hypothèse entraîne que les coordonnées curvilignes u_1, u_2 ainsi que le vecteur \vec{n}^0 sont confondues avec le repère cartésien général.

II-4 / CONCLUSION :

L'objectif de notre modélisation a été avant tout de mettre au point un modèle de connaissance du tissu se rattachant au mieux à la réalité physique. Pour cela l'étude bibliographique dans le domaine de la modélisation des tissus en mouvement a montré que l'utilisation de la mécanique du solide ou de méthodes infographiques ne permettent pas de se rapprocher de notre objectif car cette modélisation nous amène à un modèle trop rigide ou irréaliste.

Aussi, nous nous sommes intéressé à la théorie générale des modèles déformables proposée par Terzopoulos [TER 88]. Cette théorie a la particularité de tenir compte des contraintes internes des tissus en utilisant la dérivée première de l'énergie de déformation par le biais des tenseurs métriques et de courbures. Ces termes expriment les allongements dans les sens chaîne et trame et les rigidités à la flexion dans les sens chaîne et trame. Nous intégrons alors au modèle la mécanique propre au tissu.

La géométrie différentielle nous a permis de traduire les contraintes internes sous forme d'expressions liées à des coefficients mécaniques calculés directement sur le tissu.

Suite à cette modélisation, il reste encore à identifier les paramètres inconnus du modèle, ce qui fait l'objet du prochain chapitre.

CHAPITRE III

PARAMETRES DES TISSUS ET DETERMINATION DES COEFFICIENTS MECANIQUES

Paramètres des Tissus et Détermination des Coefficients Mécaniques

Cette étude a été réalisée pour dégager les caractéristiques mécaniques nécessaires à la modélisation et à la simulation du caractère dynamique des tissus. Afin d'avoir plusieurs tissus différents, nous avons varié la nature du fil de chaîne et celui de la trame ainsi que l'armure. La variation de ces paramètres peut donner lieu à une variation significative des coefficients mécaniques des différents tissus.

Dans la première partie de ce chapitre, nous présentons le choix de la nature des fils utilisés, les armures considérées et les tissus réalisés.

Dans la deuxième partie de ce chapitre, nous présentons les moyens utilisés pour obtenir les paramètres des tissus, les différents essais réalisés ainsi que les résultats obtenus des coefficients mécaniques recherchés.

III-1 / CHOIX DES PARAMETRES DES TISSUS :

III-1-1 / Choix des fils utilisés :

Nous avons choisi de réaliser des tissus aussi différents que possible dans leur conception (armures) mais conservant une composition similaire du point de vue de la matière utilisée (fils).

Afin de mettre en évidence l'influence de la nature du fil sur les propriétés mécaniques des tissus, il est intéressant de choisir des fils différents. Ces fils sont utilisés en chaîne, en trame et doivent, en particulier, présenter une résistance supérieure à 500 cN.

Notre choix s'est arrêté sur deux types de fils. Le premier est en coton, le second est en polyester. Ce choix est dicté par la grande utilisation de ces deux fils dans l'industrie textile et surtout dans le domaine de l'habillement.

Avec ces deux fils nous pouvons faire soit des tissus 100% coton, 100% polyester ou des tissus dont la composition est un mélange de coton et de polyester. Les caractéristiques de ces deux types de fil sont données dans le tableau ci-dessous :

	Fil en coton	Fil en polyester
Numéro métrique	2/40	2/40
Titre (tex)	50	50
Résistance (cN)	561.2	1717.6
Rkm (cN/tex)	11.45	34.22
Allongement (%)	6	13.16
Torsion (trs/m)	400 sens S	420 sens S

Tableau III-1 : Caractéristiques mécaniques des fils choisis

Ces fils présentent une grande différence de paramètres pour la résistance à la rupture et pour l'allongement. Ceci est dû au fait que le coton est un matériau naturel, alors que le fil en polyester est un matériau synthétique.

III-1-2 / Choix des armures des tissus :

Les trois armures fondamentales étant la toile, le sergé et le satin, nous avons décidé de confectionner un tissu de chaque, afin d'avoir une idée de l'influence de l'armure sur les coefficients mécaniques. Dans le but de conserver le même montage sur le métier à tisser pour concevoir les trois tissus, il a été nécessaire de choisir un raccord d'armure compatible avec un nombre de lames déterminé.

Le tissu est réalisé sur 8 lames. Nous pouvons choisir donc, un sergé de 8 ou un satin de 8. Cependant avec ces dernières armures les flottées sont assez longues (1 pris, 8 laissés). Nous avons alors préféré prendre des armures ayant des flottées moins longues tout en gardant un raccord d'armure compatible.

Les armures choisies sont la toile, le sergé de 4 et le satin de 8 alternatif. Selon l'illustration de la figure III-1.

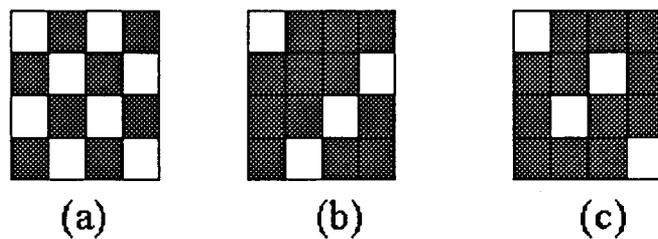


Figure III-1 : Armures utilisées pour réaliser les différents tissus. (a) : Toile, (b) : Sergé de 4, (c) : Satin de 8 alternatif.

III-1-3 / Tissus réalisés

Nous avons choisi d'avoir les mêmes réductions en chaîne qu'en trame. La réduction en chaîne est voisine de 18 fils/cm, celle de la trame est si possible de 18 duites/cm. Cette dernière dépend des réglages possibles sur la machine.

Avec ces paramètres, nous avons réalisé 12 tissus différents : six tissus avec une chaîne coton et six autres avec une chaîne polyester. Dans le tableau III-2 est présenté un récapitulatif des différents tissus préparés.

	CHAÎNE COTON	CHAÎNE POLYESTER
TRAME COTON	TOILE SERGE SATIN	TOILE SERGE SATIN
TRAME POLYESTER	TOILE SERGE SATIN	TOILE SERGE SATIN

Tableau III-2 : Tableau récapitulatif des tissus préparés.

III-2 / ANALYSE DES TISSUS ET ESSAIS MECANIQUES :

III-2-1 / Analyse des tissus :

Lors de la conception des tissus, nous avons fixé des caractéristiques de tissage. Cependant, ces caractéristiques peuvent varier suivant l'armure et le fil utilisé en chaîne ou en trame. Nous allons analyser chaque tissu afin d'avoir ses caractéristiques propres. Bien entendu, pour respecter les normes en vigueur, tous les essais et mesures effectués sur les tissus sont réalisés dans une atmosphère de conditionnement correspondant à 20°C et 65% Hr et toutes les éprouvettes sont découpées à 15 centimètres des lisières au minimum.

III-2-1-1 / Réductions effectives :

Pour analyser les réductions des différents tissus, il faut compter le nombre de fils contenu dans une longueur suffisante puis calculer le nombre de fils par unité de longueur dans les sens chaîne et trame pour chaque tissu.

De ce fait nous avons découpé sur chaque tissu dix éprouvettes d'une largeur de 5 cm et d'une longueur suffisante pour éviter toute déformation (10 cm). Ces éprouvettes sont choisies de manière que le comptage ne porte jamais sur les mêmes fils de chaîne ou de trame.

III-2-1-1-1 / Sens chaîne

En analysant chaque tissu sur une largeur de 5 cm, nous avons obtenu pour tous les tissus 89 ou 90 fils. Ceci nous donne une réduction chaîne comprise entre 17,8 et 18 fils/cm. Cependant, lorsque nous regardons la largeur des tissus, nous remarquons qu'elle est légèrement différente pour chacun d'entre eux. Cette largeur varie de (155,7 à 159,7 cm). C'est pourquoi, la détermination correcte de ce facteur doit tenir compte de la largeur du tissu.

III-2-1-1-2 / Sens trame

Le réglage de l'avance du tissu sur le métier à tisser a été fait pour avoir une réduction trame de 18 fils/cm. Ce réglage a permis de tisser correctement tous les tissus exceptés les 2 toiles en chaîne polyester. En effet pour celles-ci, l'avance du tissu était trop lente et cela entraînait une casse importante de fils. Pour résoudre ce problème nous avons augmenté l'avance du tissu, ce qui a engendré une réduction moins importante pour ces tissus.

III-2-1-1-3 / Tableau récapitulatif des réductions :

Le nombre de fil de chaîne étant de 2811 fils pour tous les tissus, nous calculons la réduction moyenne dans le sens chaîne en fonction de la largeur obtenue pour chaque tissu. Dans le sens trame, le calcul est fait sur la longueur de l'éprouvette découpée.

Armure	Chaîne	Trame	Largeur (cm)	Réd. Chaîne	Réd. Trame
Toile	Coton	Coton	155,7	18,05	18,6
Toile	Coton	Polyester	157,2	17,88	18,6
Toile	Polyester	Coton	156,3	17,98	17
Toile	Polyester	Polyester	157,8	17,81	17
Sergé	Coton	Coton	158	17,79	18,6
Sergé	Coton	Polyester	159,3	17,64	18,6
Sergé	Polyester	Coton	156,7	17,94	18,4
Sergé	Polyester	Polyester	158	17,79	18,4
Satin	Coton	Coton	156,7	17,94	18,6
Satin	Coton	Polyester	159,7	17,6	18,6
Satin	Polyester	Coton	158	17,79	18,4
Satin	Polyester	Polyester	159,3	17,64	18,4

Tableau III-3 : Tableau récapitulatif des réductions moyennes.

D'après les résultats obtenus, nous constatons que la réduction dans le sens chaîne est voisine de 18 fils/cm, ce qui explique les valeurs trouvées de cette réduction par la méthode des éprouvettes. Pour la réduction dans le sens trame, nous trouvons une réduction de 18,6 fils/cm pour tous les tissus dont la chaîne est coton, due à la même vitesse d'avance de tissu. On obtient une réduction de 17 fils/cm pour la toile dont la chaîne est en polyester et 18,4 fils/cm pour le tissu en sergé et satin dont la chaîne est en polyester. Ceci résulte du changement de vitesse d'avance du tissu pour éviter que les fils se cassent.

III-2-1-2 / Embuvages et retraits : [AFN 75]

L'embuvage (resp. le retrait) est la différence entre la longueur d'un fil de chaîne (resp. de trame), extrait du tissu et la longueur que ce même fil occupait dans le tissu. L'embuvage (resp. le retrait)est exprimé en pourcentage de la longueur occupée par le fil dans le tissu.

Toutes les éprouvettes (5 pour chaque tissu, ayant des emplacements différents) découpées ont 20 cm dans la longueur à mesurer et 5 cm dans l'autre dimension. Le principe de mesure consiste à séparer des fils dans le sens de mesure choisi et à lire leur longueur par un dispositif de mesure conçu pour cet essai.

Les différentes mesures sont récapitulées dans le tableau donné ci-dessous.

Armure	Chaîne	Trame	Embuvaage (%)	Retrait (%)
Toile	Coton	Coton	9,1	4,5
Toile	Coton	Polyester	4,5	3,95
Toile	Polyester	Coton	8,5	4,5
Toile	Polyester	Polyester	7,5	3
Sergé	Coton	Coton	7	4
Sergé	Coton	Polyester	5,5	3
Sergé	Polyester	Coton	5,5	4,5
Sergé	Polyester	Polyester	5	3,5
Satin	Coton	Coton	6	4
Satin	Coton	Polyester	5,93	3,5
Satin	Polyester	Coton	5,5	4,5
Satin	Polyester	Polyester	5	3,5

Tableau III-4 : Embuvaage et Retrait des fils de chaîne et de trame

Les résultats obtenus, font apparaître que l'embuvaage est toujours plus important que le retrait pour un même tissu. Ceci est essentiellement dû au procédé de tissage, les fils de chaîne sont tendus (opération d'ourdissage) pour garder la même position et pour permettre l'insertion de la trame. Une fois les tissus tombés du métier, les fils de chaîne se rétractent, alors que les fils de trame gardent les mêmes positions puisqu'ils n'ont subi aucune préparation préalable.

Nous constatons aussi que l'embuvaage et le retrait sont plus importants avec l'armure toile qu'avec les armures sergé et satin. Ce résultat est tout a fait attendu, puisque, dans la toile, les points de croisement entre les fils chaîne et trame sont beaucoup plus nombreux que les points de croisement entre les fils des armures sergé et satin.

II-2-1-3 / Epaisseurs des différents tissus :

L'épaisseur des tissus est une donnée à prendre en considération dans le cadre de cette étude. C'est la valeur de cette donnée qui permet d'émettre des hypothèses pour considérer que les tissus correspondent à des surfaces et non à des volumes.

Le principe de mesure de cette grandeur consiste à placer une éprouvette de tissu entre deux plaques d'un appareil dédié à cette opération. Les deux plaques exercent une pression bien spécifiée (pour plus de détails cf I-1-1-2-3), dans nos manipulations nous avons utilisé une pression de 2 KPa. Le résultat de cette mesure est donné avec une précision de 0.2%. Dix éprouvettes, prélevées à différents endroits de chaque tissu, sont utilisées dans de cette mesure.

Les résultats de ces mesures sont donnés par le tableau III-5.

Armure	Chaîne	Trame	Epaisseur (mm)
Toile	Coton	Coton	0,47
Toile	Coton	Polyester	0,44
Toile	Polyester	Coton	0,46
Toile	Polyester	Polyester	0,43
Sergé	Coton	Coton	0,47
Sergé	Coton	Polyester	0,57
Sergé	Polyester	Coton	0,62
Sergé	Polyester	Polyester	0,58
Satin	Coton	Coton	0,62
Satin	Coton	Polyester	0,57
Satin	Polyester	Coton	0,68
Satin	Polyester	Polyester	0,58

Tableau III-5 : Epaisseurs des tissus réalisés.

Nous pouvons constater que l'épaisseur des différents tissus est d'environ 0,5 mm. Elle est légèrement plus importante pour les armures sergé et satin à fils équivalents avec la toile, ceci est dû aux flottés plus importantes dans ces armures. Ce résultat nous permet de considérer ces tissus comme des structures surfaciques et non pas comme des objets volumiques.

III-2-2 / Identification des coefficients mécaniques

Les coefficients mécaniques jouant un rôle très important dans l'étude de comportement dynamique des tissus sont :

- la masse des tissus,
- les modules d'allongement élastique dans les sens chaîne et trame,
- les "nombres de Poisson" dans les sens chaîne et trame,
- les coefficients de la rigidité à la flexion dans les sens chaîne et trame.

Pour déterminer ces caractéristiques, nous avons effectué différentes séries d'essais mécaniques sur des éprouvettes extraites des tissus réalisés, tout en respectant les normes en vigueur pour chaque type d'essai.

Dans les paragraphes suivants, nous présentons, pour chaque type d'essai, le principe et la moyenne des résultats obtenus sur l'ensemble des éprouvettes pour chaque tissu.

III-2-2-1 / Masses des tissus par mètre carré

La masse par mètre carré peut être calculée soit théoriquement à partir du titre, des réductions, de l'embuvage et du retrait, soit expérimentalement en découpant des échantillons de tissu ayant une surface donnée (minimum 1 dm^2) et en les pesant sur une balance précise au millième, le nombre minimal d'éprouvettes étant de 5.

Dans notre cas, nous avons calculé cette caractéristique sur 10 éprouvettes de 1 dm². Nous présentons le récapitulatif des résultats obtenus dans le tableau III-6 :

Armure	Chaîne	Trame	Poids. (g/m ²)
Toile	Coton	Coton	192,6
Toile	Coton	Polyester	195,3
Toile	Polyester	Coton	192,7
Toile	Polyester	Polyester	179,5
Sergé	Coton	Coton	187,3
Sergé	Coton	Polyester	189,3
Sergé	Polyester	Coton	190,6
Sergé	Polyester	Polyester	188,1
Satin	Coton	Coton	189,7
Satin	Coton	Polyester	184,1
Satin	Polyester	Coton	186,7
Satin	Polyester	Polyester	187,3

Tableau III-6 : Masse des tissus en g/m².

Nous constatons que la masse par mètre carré de tous les tissus est sensiblement la même, ce fait est essentiellement dû au fait que les masses des fils en coton et en polyester sont les mêmes (titre). Certes, l'armure peut avoir une influence sur ce coefficient, cependant il faut choisir des armures avec des flottées assez différentes.

Exemple de calcul théorique de la masse au mètre carré

Il s'agit de calculer théoriquement la masse en gramme par mètre carré du tissu toile 100% coton. L'embuvage dans le sens chaîne est de 9,1%. Un fil de 1m dans le tissu a une longueur initiale de 1,091m. La réduction chaîne est de 18,05 fils/cm, donnant 1805 fils dans 1m de tissu. Cela représente une longueur de fil de chaîne de 1969,255m (1805x1,091), soit une masse de 98,46g (le titre du fil étant de 50 Tex).

De même, sachant que l'embuvage dans le sens trame est de 4,5%, une duite (fil de trame) de 1m dans le tissu a une longueur initiale de 1,045m. La réduction trame est de 18,6 fils/cm, donc on a 1860 duites dans 1m de tissu. Cela représente donc une longueur en duite de 1943,7m (1860x1,045), soit une masse de 97,18 g.

La masse totale du tissu est donc la somme des masses en chaîne et en trame. Elle est égale à 195,64 g/m².

Remarque : L'écart entre la masse calculée et la masse mesurée s'explique par l'approximation des réductions, des embuvages et du titre. Cela dit, cet écart est d'environ 1,5 %, donc acceptable.

III-2-2-2 / Essais de traction :

Le dynamomètre dont nous disposons et sur lequel nous avons effectué l'ensemble des essais de traction, permet d'effectuer des mesures successives avec des vitesses de sollicitation variables dans le sens chaîne ou trame.

Avec cet appareil, (cf. figure III-2), nous avons calculé les modules élastiques et les "nombres de Poisson" dans les sens chaîne et trame. Ce dynamomètre peut également être utilisé pour l'essai de déchirement pratiqué sur des tissus.

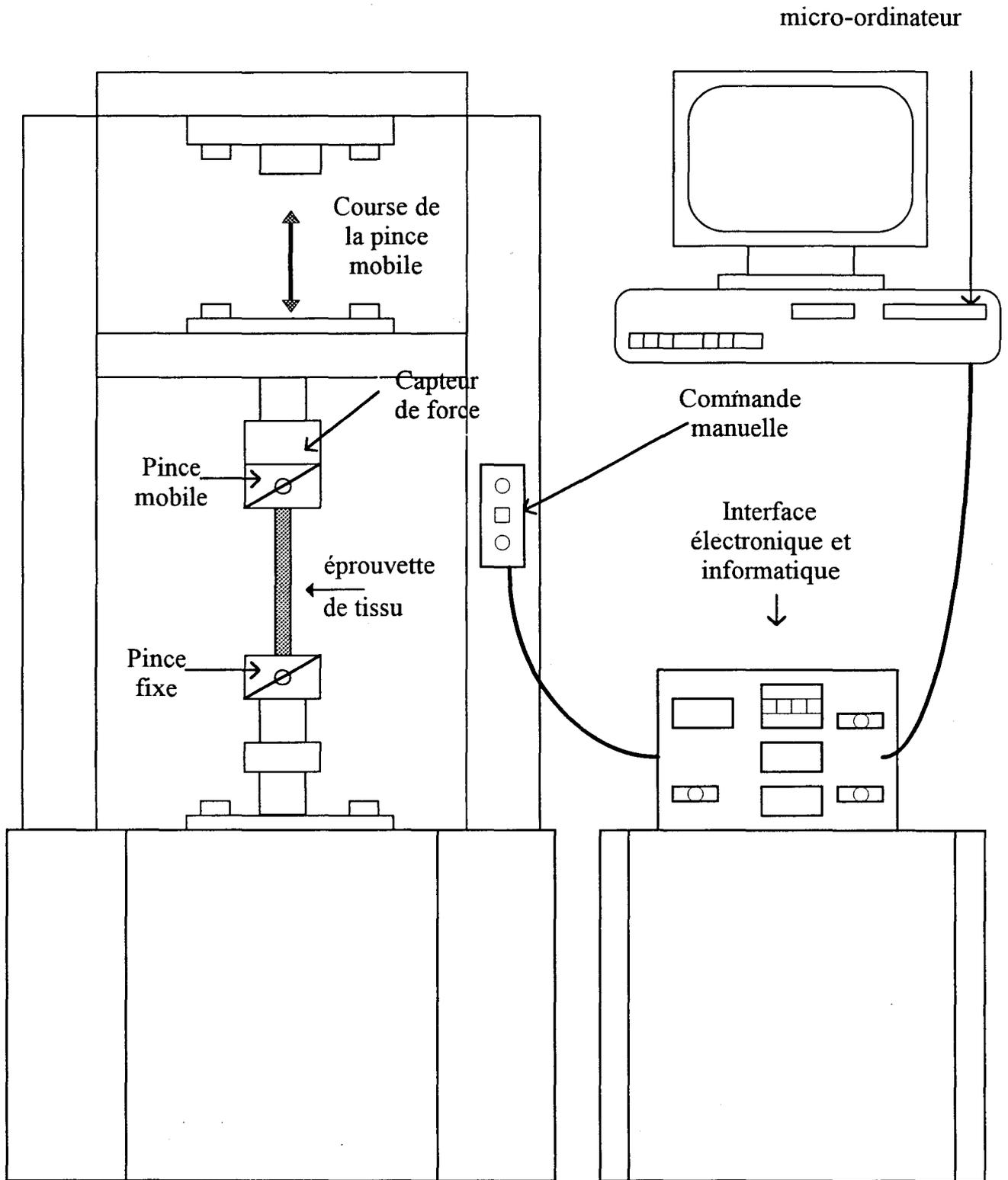


Figure III-2 : Schéma de principe du dynamomètre

Dans le déroulement de chaque essai, nous avons suivi la norme Afnor [AFN 75] NF-G 07-119 de décembre 1972 (se reporter à l'annexe pour plus de détails), tant que pour le prélèvement et la préparation des éprouvettes que pour les mesures des différents coefficients.

Les principales recommandations de cette norme sont :

- la traction doit se faire jusqu'à la rupture de l'éprouvette,
- la durée de l'essai est égale à 30 secondes avec une tolérance de ± 5 secondes,
- le type de l'appareil d'essai utilisé doit être soit :
 - à accroissement constant de la force de traction,
 - à vitesse constante de déplacement de la pince de traction,
- les éprouvettes ont les dimensions suivantes : 50 mm en largeur et 200 mm en longueur après effilochage,
- le conditionnement des éprouvettes à $20 \pm 2^\circ\text{C}$ et $65\% \pm 2\%$ Hr,
- les éprouvettes doivent être au minimum au nombre de 5 pour chaque sens de mesure.

Après plusieurs mesures relatives au calcul de la durée de l'essai pour les différents tissus et dans les deux sens de mesure, nous avons constaté que la durée imposée par la norme NF-G 07-119 est atteinte avec une vitesse constante de déplacement de la pince de traction d'environ 100 mm/mn. Cette vitesse correspond à celle imposée par la norme simplifiée du même essai NF- G 07-001 de janvier 1973 [AFN 75], (pour plus de détails, se reporter à l'annexe).

La distance entre les pinces du dynamomètre est de 200 mm, nous plaçons l'éprouvette dans les pinces de façon que la force appliquée à celle-ci ne produise aucune déviation angulaire des pinces. Nous nous assurons, avant le début de l'essai, qu'avec chaque éprouvette, la force de traction (la contrainte) est négative et voisine du zéro. Nous programmons alors une traction à vitesse très réduite (3 mm/mn) pour obtenir une force de traction nulle. De cette manière, nous sommes certains que toutes les éprouvettes sont soumises à une traction normalisée dans les mêmes conditions d'essai.

III-2-2-2-1 / Traction dans le sens chaîne :

Les 5 éprouvettes de chaque tissu mis à l'étude (12 tissus au total) sont découpées de façon à avoir la plus grande dimension dans le sens chaîne égale à 200 mm après effilochage, conditionnées et soumises à l'essai de traction dans les conditions présentées au paragraphe précédent. Les résultats obtenus sont présentés sous forme de diagramme de traction.

Dans la suite, nous présentons les diagrammes de traction moyens obtenus après 5 essais sur chaque tissu. Ces diagrammes représentent la force de traction en fonction de l'allongement du tissu.

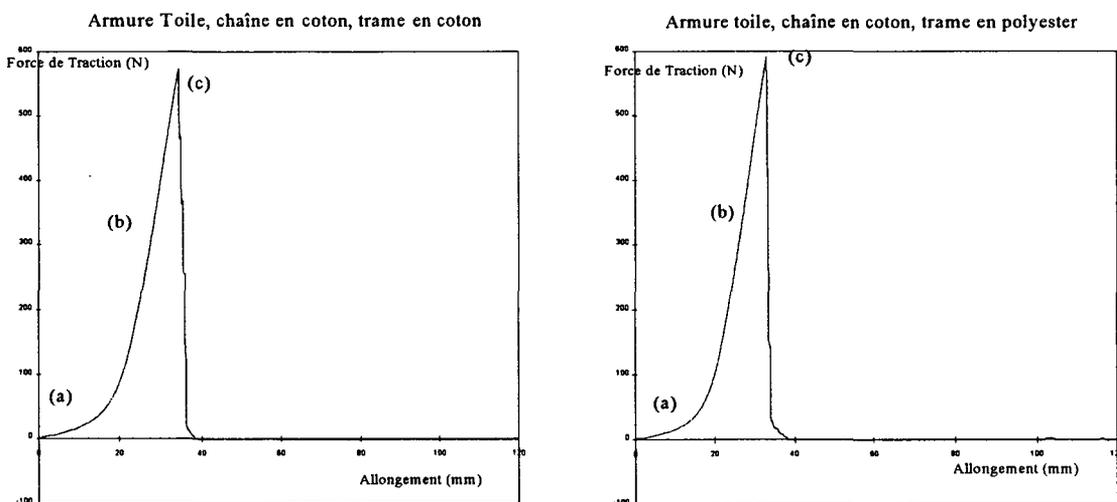


Figure III-3 : Diagrammes de traction dans le sens chaîne, des tissus d'armure Toile et de chaîne en coton.

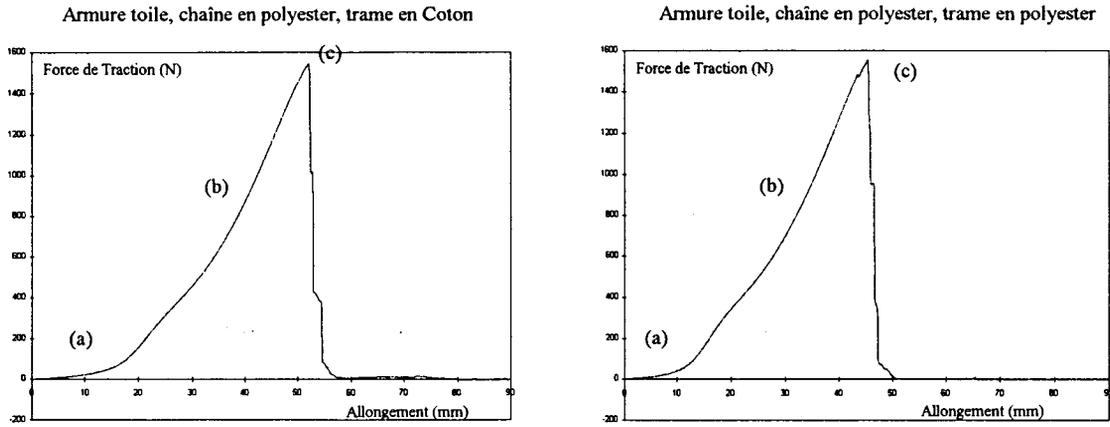


Figure III-4 : Diagrammes de traction dans le sens chaîne des tissus, d'armure Toile et de chaîne en polyester.

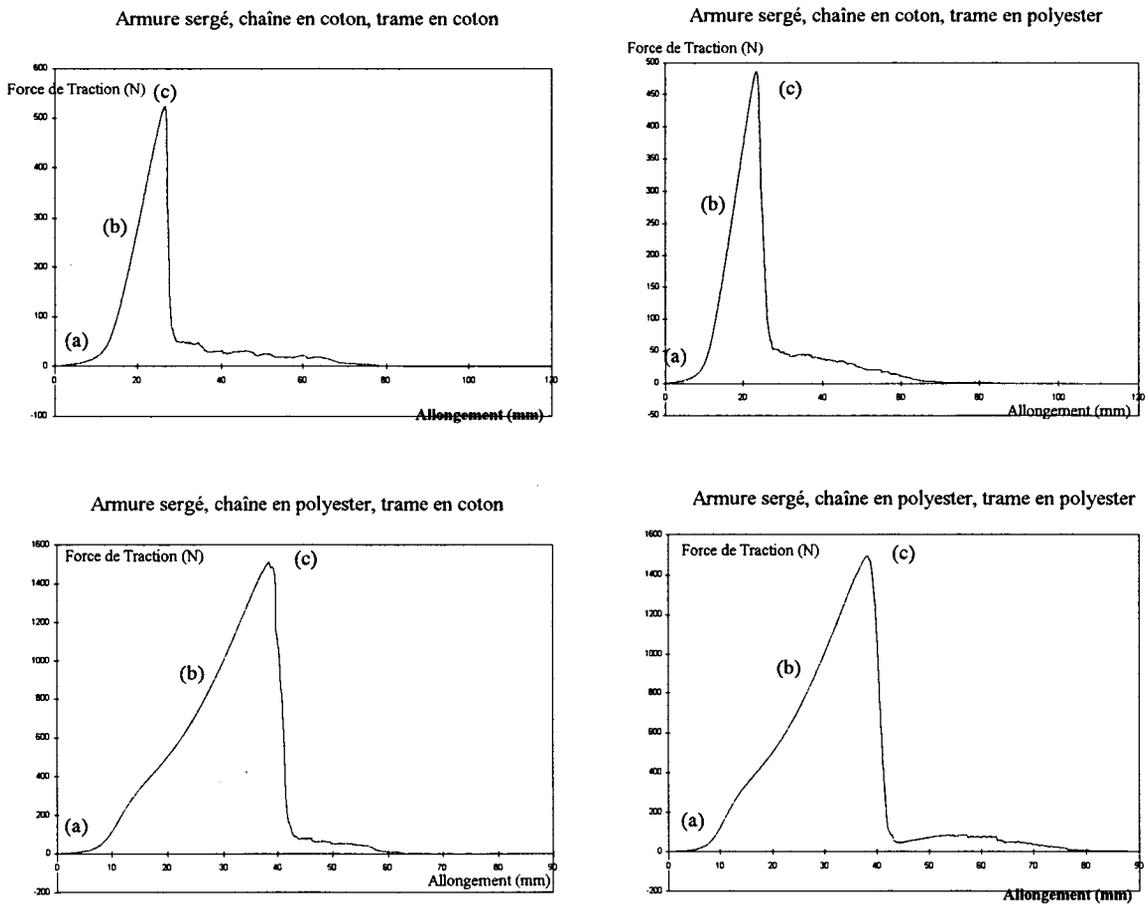


Figure III-5 : Diagrammes de traction des tissus d'armure sergé dans le sens chaîne.

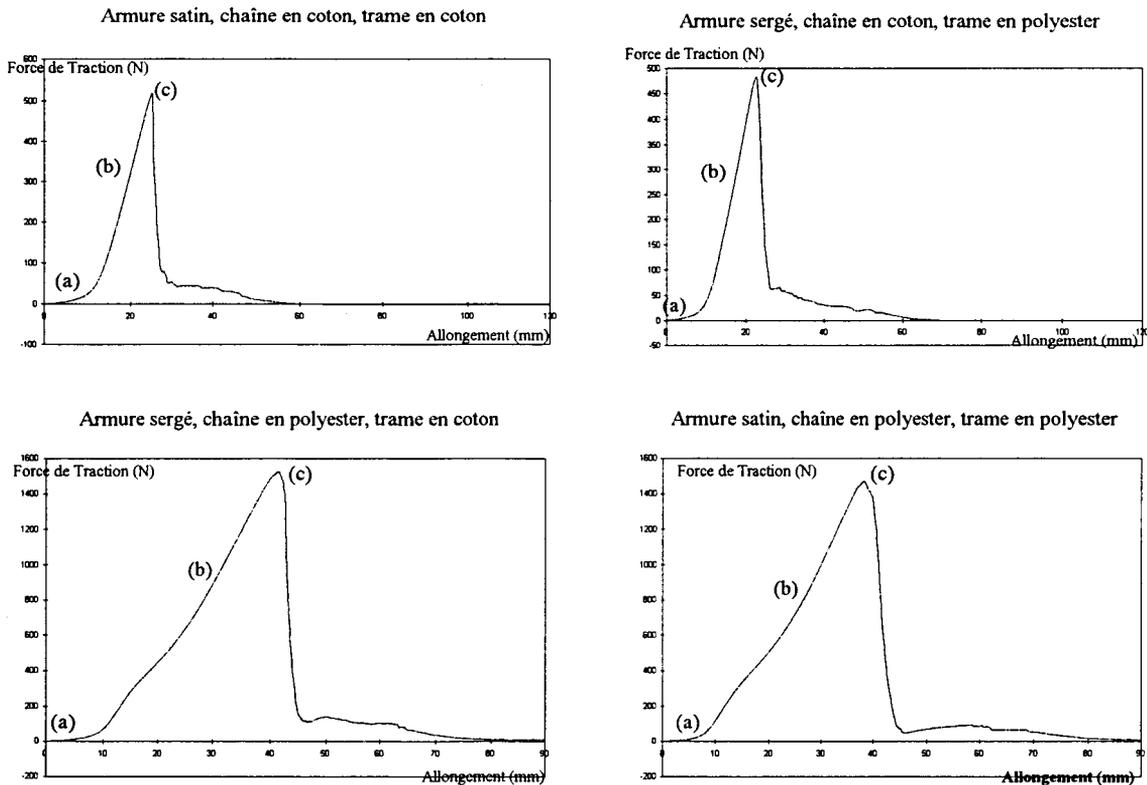


Figure III-6 : Diagrammes de traction des tissus d'armure satin dans le sens chaîne.

D'après les diagrammes de traction obtenus, nous constatons qu'ils sont tous composés de 3 parties distinctes correspondantes respectivement à :

- l'alignement des fils et fibres frisés ou ondulés dans le tissu, cette zone de comportement est située du début de la traction jusqu'à l'amorce du coude présenté dans le diagramme de la traction. Elle représente néanmoins 3% à 8% de l'allongement de chaque éprouvette, et est caractérisée aussi par une linéarité quasi parfaite entre la force de traction et l'allongement produit.
- la traction dans la partie dite "élastique" et dans laquelle, se calcule le module d'élasticité linéaire noté E_{ch} dans le contexte d'un matériau rigide. Cette zone présente une linéarité entre la force de traction et l'allongement. Ce comportement prend naissance à la fin du coude et se termine à la rupture de l'éprouvette (point de cassure haut).

- la rupture de l'éprouvette correspond, dans le diagramme de traction, au plus haut point. C'est en ce point que l'on calcule la force et l'allongement à la rupture.

D'après les séries d'essais pratiqués sur les différentes éprouvettes des tissus, nous avons constaté que la partie vraiment élastique, caractérisée par un retour à la configuration initiale de l'éprouvette si la contrainte est annulée, correspond plus à la première zone de comportement. Notons aussi que les contraintes et les déformations des tissus lors d'une utilisation courante et habituelle sont situées dans cette première zone de comportement.

Pour déterminer les caractéristiques mécaniques relatives à la traction dans le contexte d'une utilisation pour l'habillement, nous avons décidé de placer notre point de fonctionnement dans cette première zone de comportement. Nous appelons alors le module d'élasticité trouvé A_{ch} (comme Alignement des fils et des fibres dans le sens chaîne).

Calcul du module A_{ch} :

D'après la loi d'élasticité de Hooke [ASH 91], appliquée sur des matériaux homogènes, isotropes, nous avons :

$$\sigma = A_{ch} \cdot \varepsilon$$

avec :

- $\sigma_{(N/mm^2)} = \frac{F_{(N)}}{S_{(mm^2)}} : \text{contrainte de traction,}$

- $\varepsilon = \frac{\Delta L_{(mm)}}{L_{(mm)}} : \text{déformation} = \frac{\text{Allongement}}{\text{longueur initiale}}$

- $A_{ch} : \text{module d'élasticité à faibles contraintes dans le sens chaîne.}$

Ce qui donne : $\frac{F}{S} = A_{ch} \cdot \frac{\Delta L}{L} \Rightarrow A_{ch} = \frac{F}{\Delta L} \cdot \frac{L}{S}$

Pour un calcul plus précis de ce module, nous avons effectué un agrandissement de la première zone de comportement (cf. figure III-7).

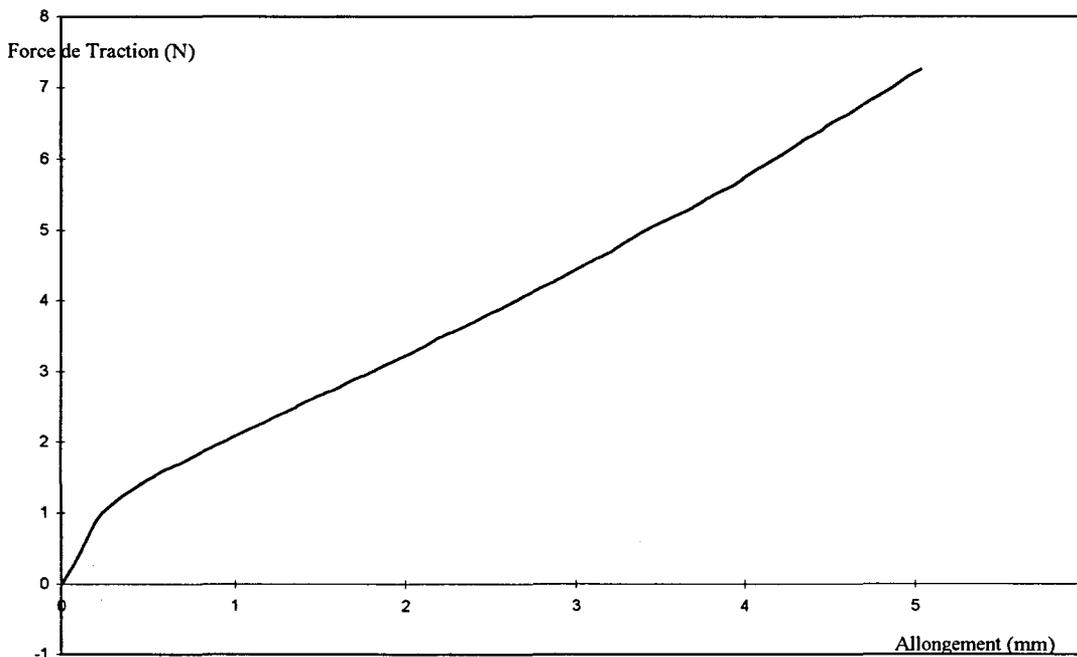


Figure III-7 : Zone d'alignement des fils et fibres dans le tissu d'armure toile de fil de chaîne en coton et de fil de trame en coton

Dans le tableau III-7, nous présentons les valeurs du module d'élasticité à faibles contraintes A_{ch} pour les différents tissus.

Armure	Chaîne	Trame	A_{ch} (N/mm ²)
Toile	Coton	Coton	10,180
Toile	Coton	Polyester	9,564
Toile	Polyester	Coton	12,696
Toile	Polyester	Polyester	16,612
Sergé	Coton	Coton	6,667
Sergé	Coton	Polyester	4,546
Sergé	Polyester	Coton	9,032
Sergé	Polyester	Polyester	8,112
Satin	Coton	Coton	5,164
Satin	Coton	Polyester	5,792
Satin	Polyester	Coton	9,176
Satin	Polyester	Polyester	8,112

Tableau III-7 : Modules d'élasticité A_{ch} pour les différents tissus

D'après les résultats obtenus, nous constatons que le module A_{ch} est toujours plus important lorsque la traction est effectuée sur le fil en polyester. La résistance à l'allongement de ce fil est beaucoup plus importante que celle du fil en coton.

Par ailleurs, nous remarquons que l'armure toile résiste beaucoup plus que les armures sergé et satin à la traction. Ce résultat est prévisible, du fait que les fils dans l'armure toile sont beaucoup plus imbriqués les uns dans les autres.

III-2-2-2-2 / Traction dans le sens trame :

Les 5 éprouvettes de chaque tissu sont découpées de façon à avoir la plus grande dimension dans le sens trame égale à 200 mm après effilochage, conditionnées et soumises à l'essai de traction dans les conditions présentées au paragraphe II-2-2-1.

Les résultats obtenus sont données sous la forme de diagramme de traction. Nous présentons l'ensemble des diagrammes moyens obtenus pour chaque tissu (cf. figures III-8, III-9 et III-10).

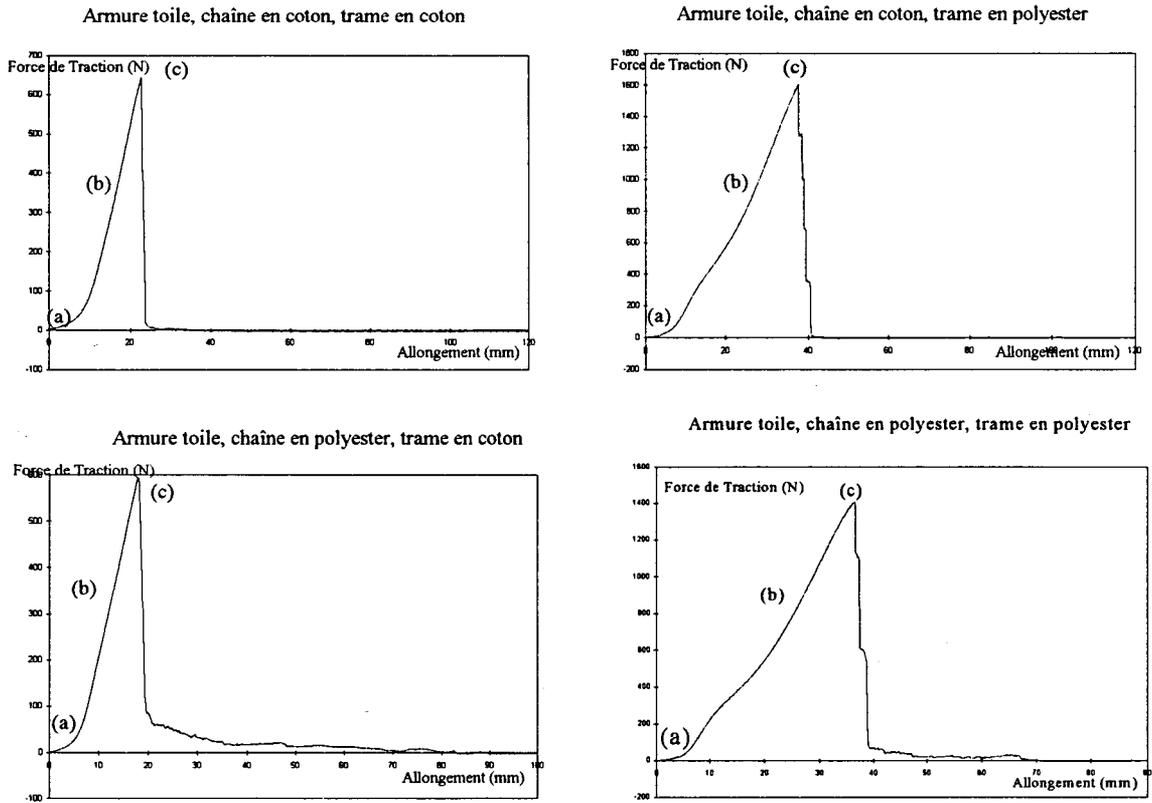


Figure III-8 : diagrammes de traction moyen dans le sens trame tissu d'armure toile.

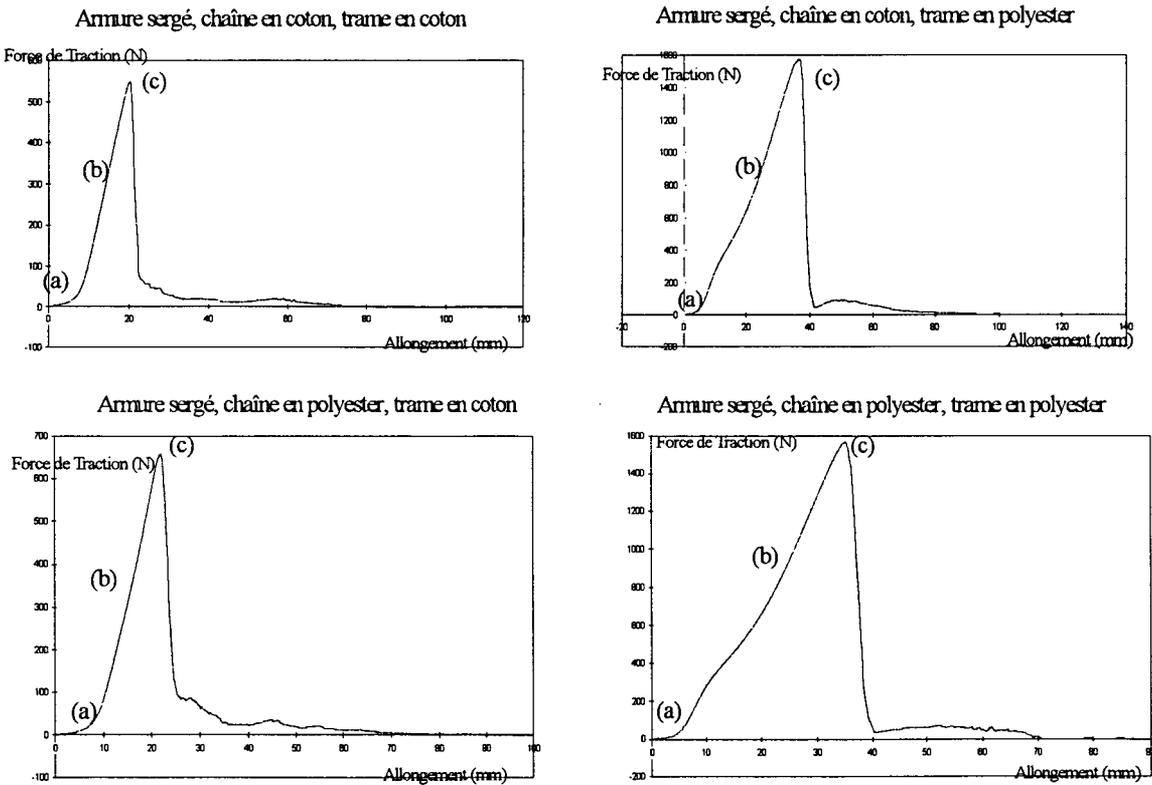


Figure III-9 : diagrammes de traction moyen dans le sens trame tissu d'armure sergé.

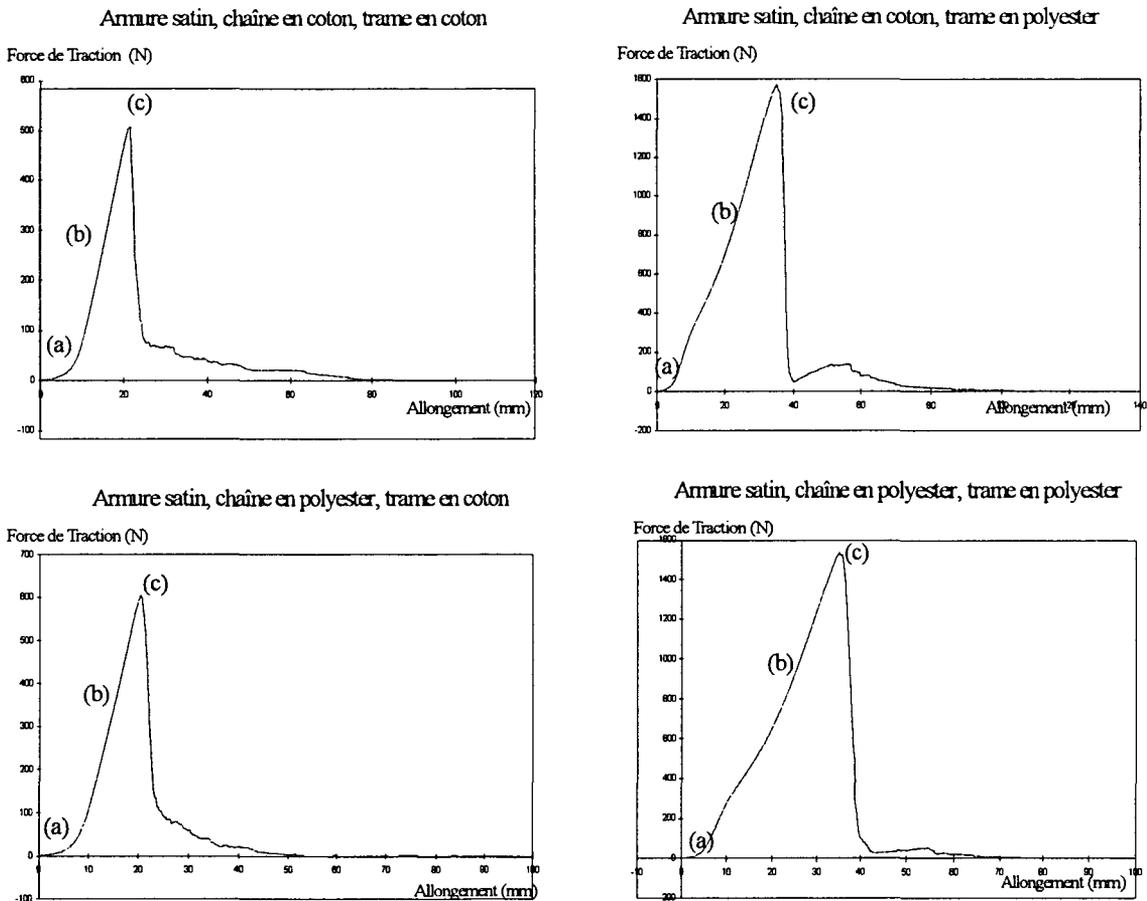


Figure III-10 : diagrammes de traction moyen dans le sens trame tissu d'armure satin.

Nous signalons que les constatations et remarques citées au paragraphe précédent sont aussi vérifiées dans l'essai de traction dans le sens trame, pour l'ensemble des éprouvettes des différents tissus.

Nous définissons le module d'élasticité A_{tr} correspondant aux contraintes provoquant l'alignement des fils et fibres frisés ou ondulés dans les tissus (première zone de comportement) et nous donnons dans le tableau III-8 les valeurs de A_{tr} pour les différents tissus.

Armure	Chaîne	Trame	A_{tr} (N/mm ²)
Toile	Coton	Coton	25,340
Toile	Coton	Polyester	29,228
Toile	Polyester	Coton	25,644
Toile	Polyester	Polyester	30,232
Sergé	Coton	Coton	9,892
Sergé	Coton	Polyester	17,368
Sergé	Polyester	Coton	7,16
Sergé	Polyester	Polyester	13,456
Satin	Coton	Coton	7,984
Satin	Coton	Polyester	22,364
Satin	Polyester	Coton	8,824
Satin	Polyester	Polyester	19,048

Tableau III-8 : Modules d'élasticité A_{tr} pour les différents tissus

Nous constatons que le module d'élasticité à faibles contraintes dans le sens trame est toujours supérieur à celui dans le sens chaîne, à armure et composition de tissu équivalente. Cette tendance est expliquée par la préparation des fils de chaîne lors de l'opération d'ourdissage : cette préparation rend les fils de chaîne moins résistants à la traction, étant donné qu'ils étaient soumis à un pré-tension lors du procédé de tissage.

Par ailleurs, nous remarquons aussi que les modules d'élasticité dans le sens trame sont plus faibles pour les tissus avec les armures sergé et satin qu'avec l'armure toile. Ce fait est expliqué par le nombre des points de croisement plus important dans l'armure toile (1 pris, 1 laissé) que dans une armure sergé ou satin (1 pris, 3 laissés).

II-2-2-2-3 / Nombres de "Poisson" :

Aux cours des différents essais pratiqués sur les différentes éprouvettes aussi bien dans le sens chaîne que dans le sens trame, nous avons constaté que, même dans la

première zone de comportement, la traction dans un sens provoque une rétraction de la dimension de l'éprouvette dans le sens perpendiculaire à la traction (cf. figure III-11).

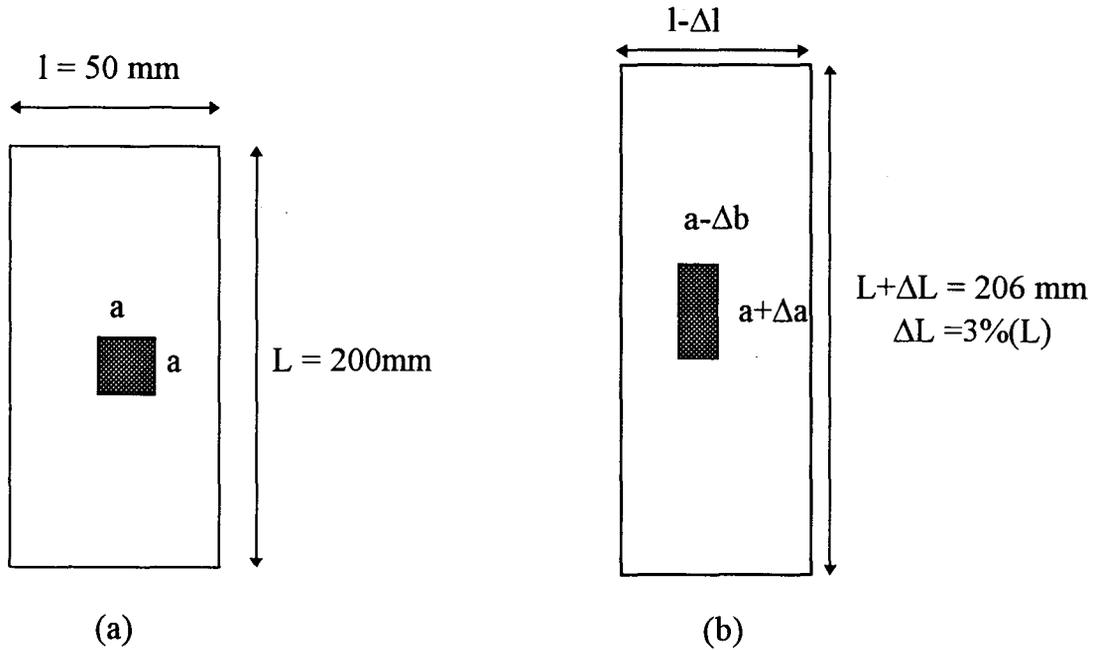


Figure III-11 : Rétraction de l'éprouvette dans le sens perpendiculaire à la traction,
(a) : avant traction, (b) : après traction le carré intérieur se déforme aussi.

Il est intéressant donc de mesurer le " nombre de Poisson ν " dans les sens chaîne et trame. Ce nombre correspond au rapport de la contraction transversale et de la dilatation longitudinale [ASH 91].

Le nombre de Poisson apparaît comme devant être positif, il est calculé en se basant sur l'illustration donnée par la figure III-11, il correspond alors à :

$$\nu = \left| \frac{\Delta b}{\Delta a} \right|$$

Il est plus facile et plus précis de calculer ce coefficient par l'intermédiaire d'une machine de traction munie de capteurs d'allongement dans les sens longitudinal et transversal. L'appareil dont on dispose est muni seulement d'un capteur d'allongement longitudinal.

Un carré de 30 mm de coté est marqué au centre de chaque éprouvette, nous fixons un allongement longitudinal de référence pour toutes les éprouvettes, que l'on vérifie à chaque essai (sur le carré intérieur) , correspondant à 3 % de la longueur L de l'éprouvette et nous mesurons à l'aide d'un réglet les nouvelles dimensions du carré initial. 5 éprouvettes découpées dans les sens chaîne et trame et par tissu, marquées en leur centre par un carré de 30 mm de côté et conditionnées dans une atmosphère d'essais des textiles sont utilisées pour la détermination des différents nombres de "Poisson ". Les résultats sont présentés dans le tableau III-9.

Armure	Chaîne	Trame	ν_{ch}	ν_{tr}
Toile	Coton	Coton	0,933	2,26
Toile	Coton	Polyester	1	2,67
Toile	Polyester	Coton	1,13	1,67
Toile	Polyester	Polyester	2	2
Sergé	Coton	Coton	1	2
Sergé	Coton	Polyester	1,67	1,67
Sergé	Polyester	Coton	2	1,67
Sergé	Polyester	Polyester	1,67	1,67
Satin	Coton	Coton	1,67	1,67
Satin	Coton	Polyester	1,67	1,87
Satin	Polyester	Coton	2,33	1,8
Satin	Polyester	Polyester	2	2

Tableau III-9 : Nombres de Poisson dans les sens chaîne et trame des 12 tissus

III-2-2-3 / Expression de la matrice W^1 :

Chaque milieu obéit à des lois de comportement déterminées appelées lois rhéologiques. Cependant, ces lois ne sont pas à appliquer dans n'importe quelle zone de comportement. Chaque zone de comportement peut être caractérisée par une matrice de rigidité. La matrice de rigidité W^1 (cf. II-2-3-2-2) est exprimée de la manière suivante :

$$W^1 = \begin{bmatrix} A_{ch} & \frac{A_{ch}}{\nu_{tr}} \\ \frac{A_{tr}}{\nu_{ch}} & A_{tr} \end{bmatrix}$$

Donc, pour chaque type de tissu, la matrice de rigidité de point de vue allongement prend des coefficients différents caractérisant le tissu en question.

III -2-2-4 / Essais de flexion :

La matrice W^2 est une matrice de rigidité traduisant la flexion. Pour trouver la valeur des différents coefficients de cette matrice nous sommes amenés à mesurer les coefficients de flexion dans les sens chaîne et trame pour les différents tissus.

Ne disposant pas, au sein de notre laboratoire, d'appareil pour mesurer les coefficients de la rigidité à la flexion. De plus les contraintes auxquelles les tissus sont assujettis pendant une utilisation habituelle sont faibles, nous nous sommes orientés alors vers l'élaboration des essais de flexion sur la chaîne de mesure de Kawabata (K.E.S.F.) [KAW 80]. La machine de flexion (cf. figure III-12) a été mise à notre disposition par l'E.N.S.I.T.M. (Ecole Nationale Supérieure des Industries Textiles de Mulhouse) que nous ne manquons pas de remercier.

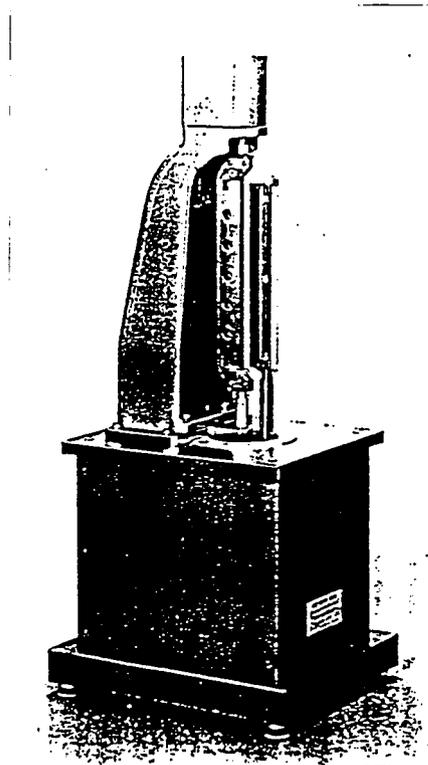


Figure III-12 : Machine de flexion de la chaîne de mesure de Kawabata

II-2-2-4-1 / Principe de l'essai :

Il est à noter que l'éprouvette de tissu sur laquelle est effectuée l'essai de flexion sert aussi pour d'autres essais sur la même chaîne de mesure (K.E.S.F.). De ce fait, les dimensions normalisées de l'éprouvette sont de 200 mm dans le sens chaîne et 200 mm dans le sens trame. Toutes les éprouvettes soumises à cet essai sont conditionnées dans une atmosphère d'essais des textiles.

Le principe de l'essai est le même qu'il soit dans le sens chaîne ou dans le sens trame. Pour mesurer la rigidité à la flexion dans le sens chaîne nous plaçons et fixons l'éprouvette entre les deux pinces (une fixe et une mobile) de flexion de façon à ce que les fils de chaîne subissent la flexion. Ensuite, la pince mobile effectue un mouvement de rotation dans le sens des aiguilles d'une montre jusqu'à l'obtention d'un rayon de courbure de 2,5 cm. Lorsque la pince mobile arrive, à cette position le sens de rotation s'inverse pour repasser par la position de départ et atteindre un rayon de courbure de 2,5 cm dans l'autre sens. Enfin la pince mobile effectue une dernière rotation dans le sens des aiguilles d'une montre pour revenir à la position de départ (cf. figure III-13).

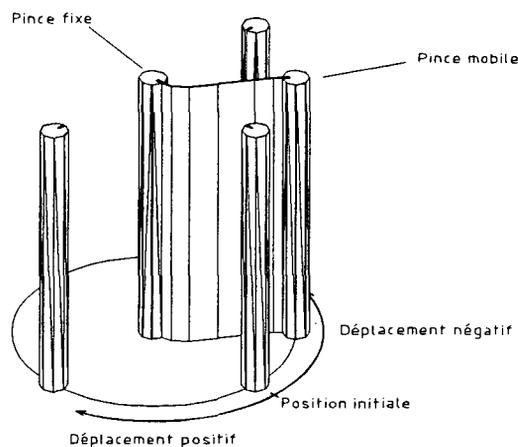


Figure III-13 : Schéma du principe de l'essai de flexion

Le résultat de l'essai est mis sous la forme d'un diagramme représentant un cycle d'hystérésis. La valeur de la rigidité à la flexion est obtenue directement à partir du logiciel pilotant l'appareil. Nous présentant l'ensemble des résultats obtenus par cet essai sur les figures suivantes :

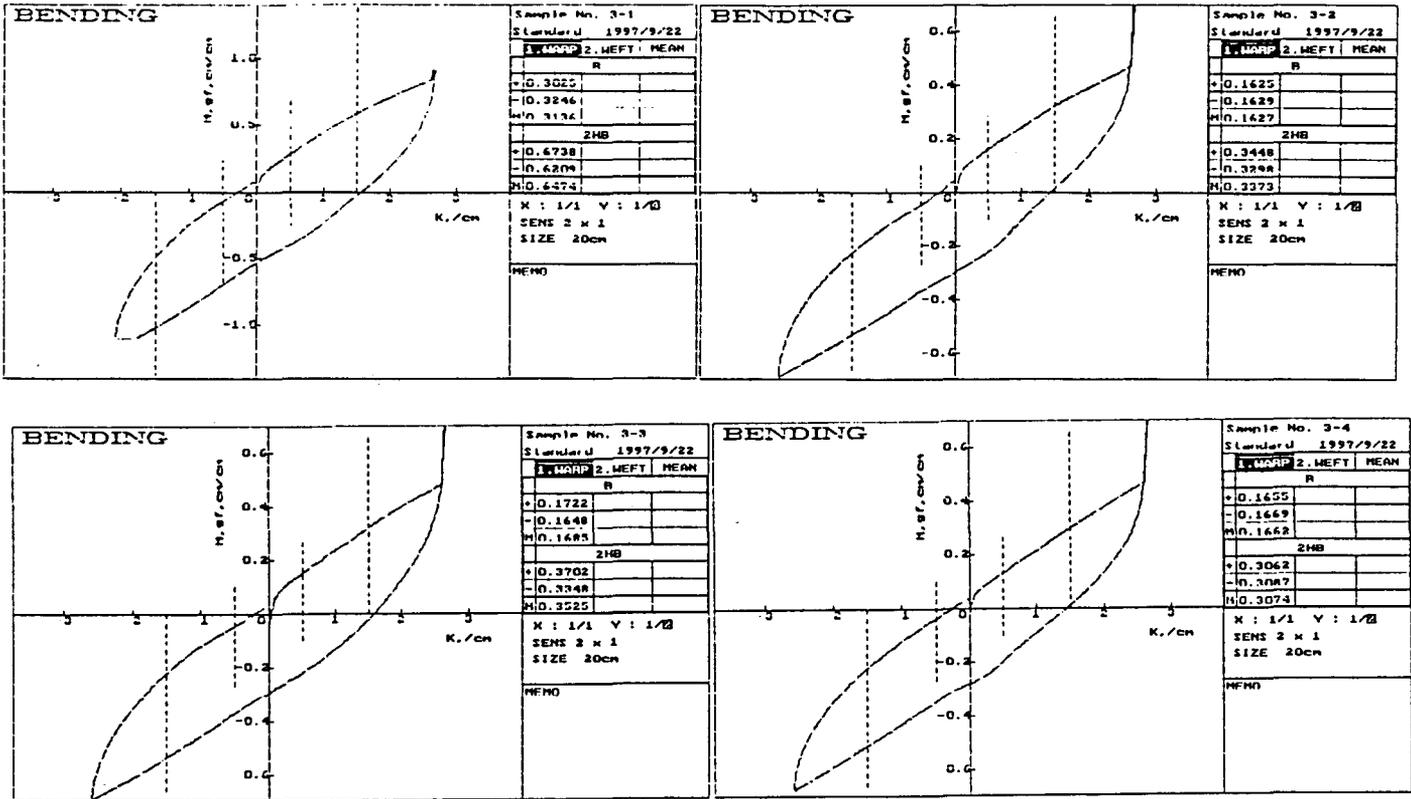


Figure III-14 : Cycle d'hystérésis de la flexion dans le sens chaîne pour les tissus d'armure toile.

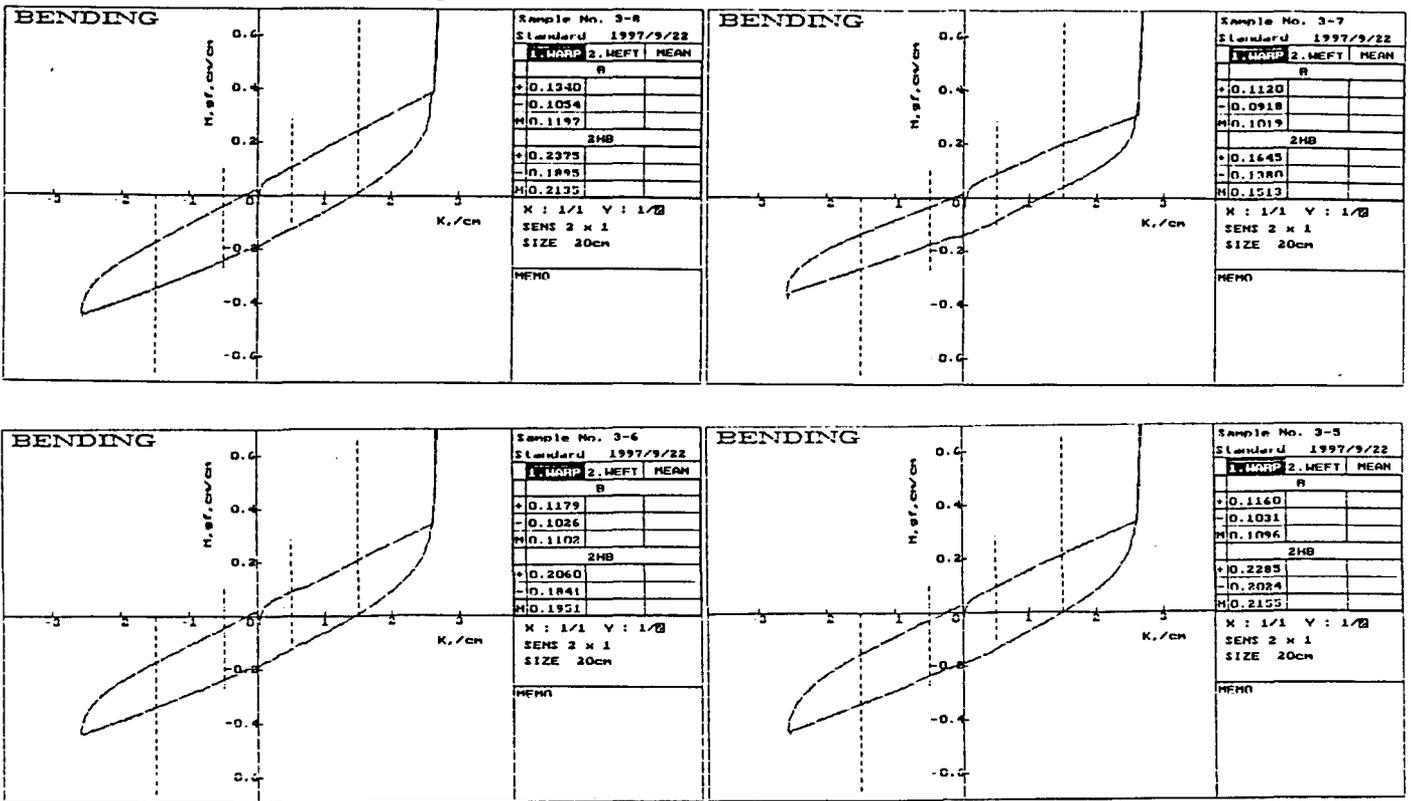


Figure III-15 : Cycle d'hystérésis de la flexion dans le sens chaîne pour les tissus d'armure sergé.

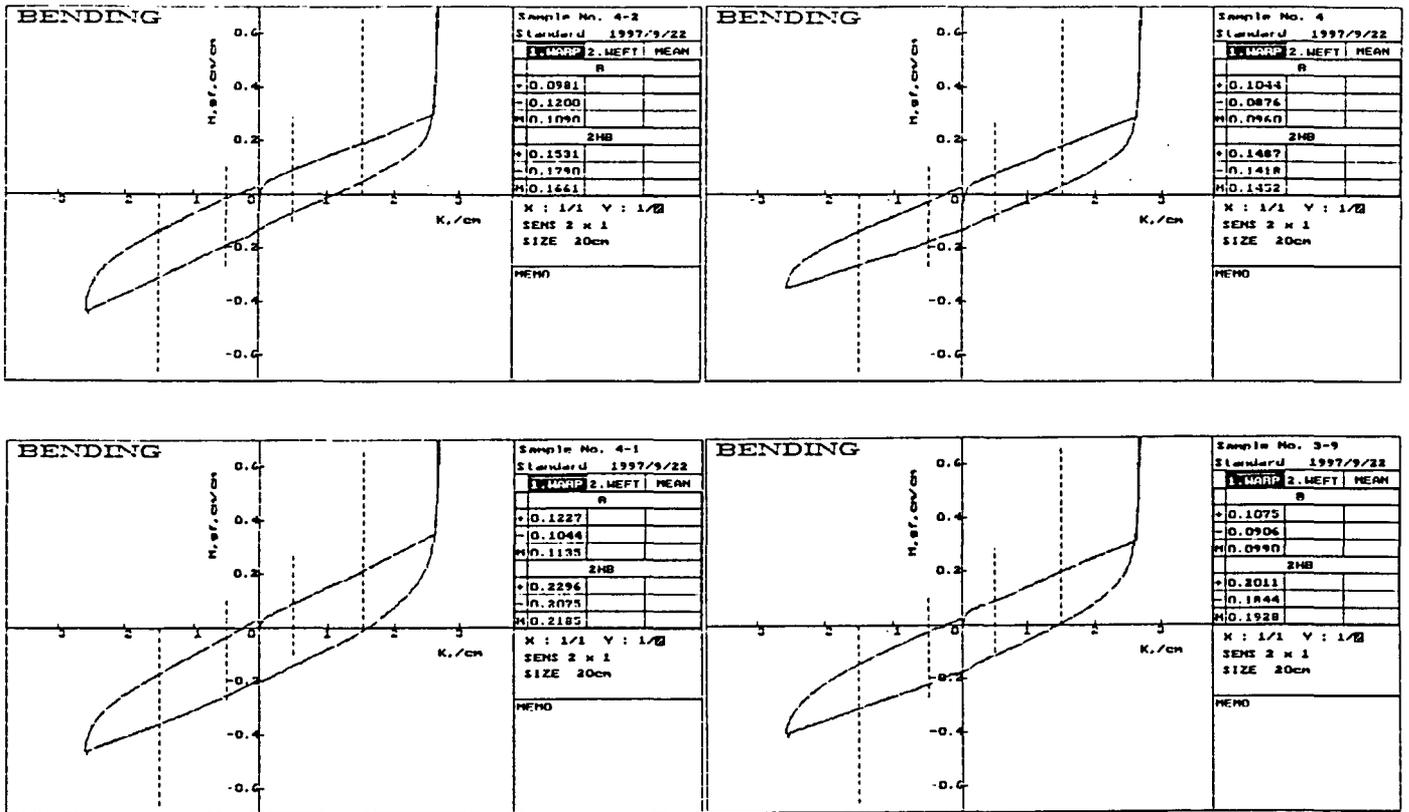


Figure III-16 : Cycle d'hystérésis de la flexion dans le sens chaîne pour les tissus d'armure satin.

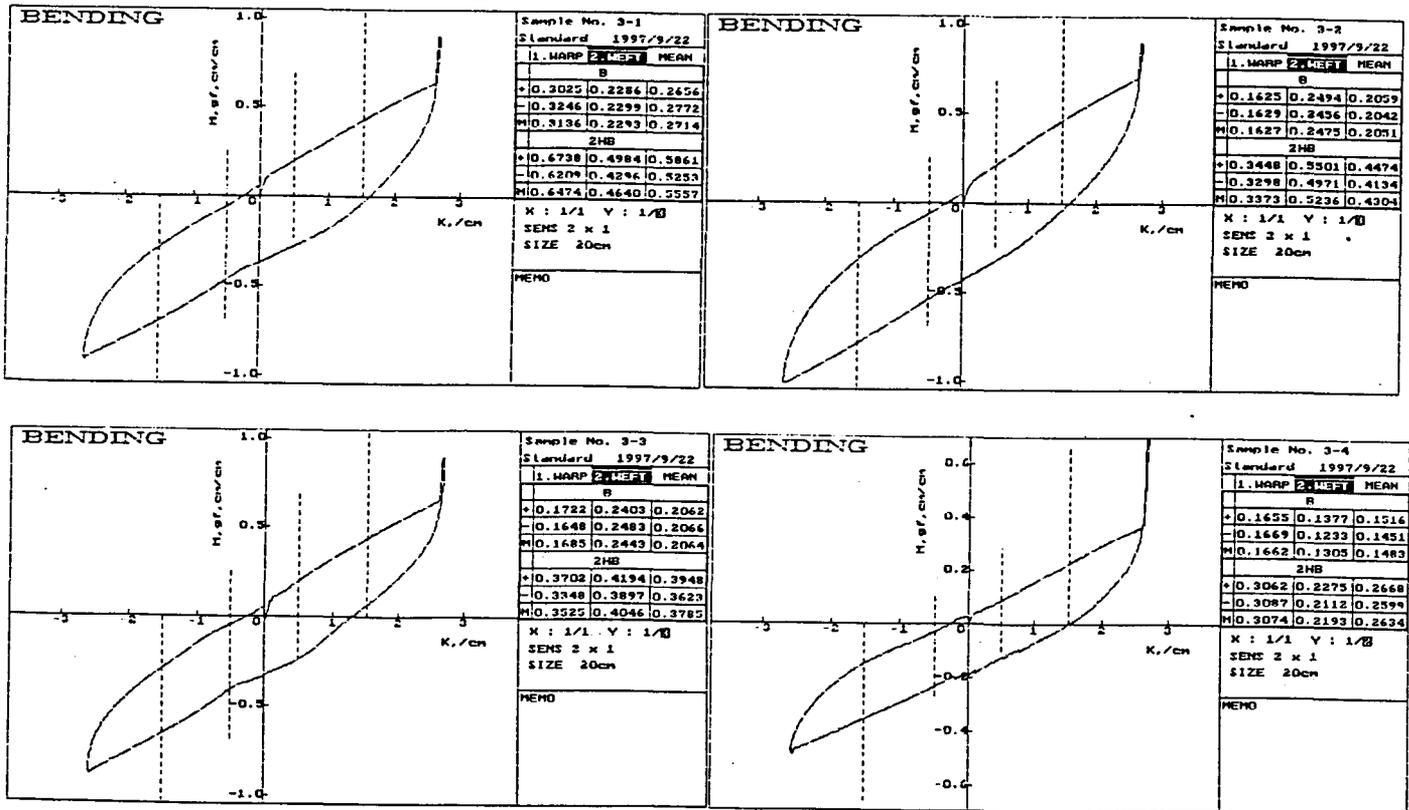


Figure III-17 : Cycle d'hystérésis de la flexion dans le sens trame pour les tissus d'armure toile.

Dans le tableau III-10, nous récapitulons les coefficients de rigidité à la flexion dans les sens chaîne et trame.

Armure	Chaîne	Trame	Rf_{ch} (cN cm/cm)	Rf_{tr} (cN cm/cm)
Toile	Coton	Coton	0,629	0,474
Toile	Coton	Polyester	0,359	0,38
Toile	Polyester	Coton	0,331	0,393
Toile	Polyester	Polyester	0,283	0,216
Sergé	Coton	Coton	0,208	0,214
Sergé	Coton	Polyester	0,228	0,155
Sergé	Polyester	Coton	0,147	0,18
Sergé	Polyester	Polyester	0,201	0,192
Satin	Coton	Coton	0,173	0,147
Satin	Coton	Polyester	0,151	0,24
Satin	Polyester	Coton	0,222	0,165
Satin	Polyester	Polyester	0,21	0,227

Tableau III-10 : Rigidité à la flexion dans les sens chaîne et trame des différents tissus

D'après les résultats obtenus, nous constatons que les tissus avec l'armure toile sont plus résistants à la flexion que les tissus avec les armures sergé ou satin. Ce résultat était prévisible du fait que les fils sont plus entrecroisés dans les tissus en toile (1 pris, 1 laissé) que dans les tissus en satin ou sergé (1 pris, 3 laissés). Nous constatons aussi que la rigidité à la flexion est sensiblement la même pour les tissus en sergé et en satin.

III-2-2-5 / Expression de la matrice W^2 :

La matrice W^2 caractérise les rigidités à la flexion et aux torsions. Les torsions subies par les tissus sont négligeables lors d'une évolution dynamique où les forces aérodynamiques agissant sur le tissu sont nulles, ce qu'est le cas dans notre modélisation. La matrice W^2 doit être mise sous la forme suivante :

$$W^2 = \begin{bmatrix} R_{ch} & 0 \\ 0 & R_{tr} \end{bmatrix}$$

III-3 / CONCLUSION :

Lors de ce chapitre, nous avons présenté les différents tissus élaborés dans le cadre de cette étude. Nous avons ensuite mesuré les différents paramètres, afin de contrôler les caractéristiques propres de chaque tissu réalisé.

Ensuite, nous avons mesuré et calculé les différents coefficients mécaniques relatifs aux tissus. Ces coefficients sont nécessaires pour déterminer les matrices de pondération W^1 et W^2 traduisant en quelque sorte les énergies internes des tissus.

D'après les mesures effectuées, il apparaît que les tissus conçus avec une armure toile sont beaucoup plus résistants tant au point de vue allongement, qu'au point de vue flexion. Ces résultats sont tout à fait attendus, étant donné que la structure de ces tissus favorise le nombre de points de croisement entre les fils de chaîne et les fils de trame.

Dans le chapitre suivant, nous présentons les moyens mathématiques qui aboutissent à la discrétisation du modèle élaboré, nécessaire aux simulations numériques des évolutions dynamiques des tissus.

CHAPITRE IV

DISCRETISATION, SIMULATION ET RESULTATS

DISCRETISATION, SIMULATION ET RESULTATS



IV-1 / DISCRETISATION :

Le système d'équations, mis au point à la fin du deuxième chapitre pour modéliser la dynamique des tissus, fait apparaître un ensemble d'équations différentielles à dérivées partielles. Ce problème différentiel est par nature continu; sa résolution implique que l'on obtienne les valeurs des inconnues (déplacements, déformations du tissu) en fonction du temps. Si on est capable de résoudre analytiquement ce problème différentiel, c'est-à-dire d'exprimer sa solution à l'aide d'une formule, alors il suffira, a posteriori, d'appliquer cette formule à telle ou telle valeur du temps que choisira l'utilisateur pour trouver la solution à cet instant.

Hormis le cas de problèmes très simples, ou de géométrie très particulières, il ne faut pas espérer, dans l'état actuel des connaissances, résoudre analytiquement certains problèmes différentiels à dérivées partielles. La résolution n'est possible que par une discrétisation du problème conduisant à une solution numérique.

Les méthodes de discrétisation sont nombreuses; elles utilisent des techniques mathématiques variées qui donnent des approximations satisfaisantes. Parmi les plus utilisées, nous pouvons citer celles qui traitent le problème en appliquant :

- l'approximation par des différences finies,
- l'approximation par éléments finis.

D'autres techniques d'approximation utilisent des méthodes spectrales.

Dans le cas qui nous concerne, nous avons choisi de comparer ces deux méthodes afin de sélectionner celle qui est la plus apte à résoudre notre système d'équations différentielles avec le maximum de précision. Afin de simplifier la présentation de chacune d'entre elles, nous étudierons les approximations considérées dans un mode plan (problème bidimensionnel) et nous indiquerons ensuite, dans la partie simulation, comment nous avons transformé notre problème tridimensionnel en un problème bidimensionnel équivalent.

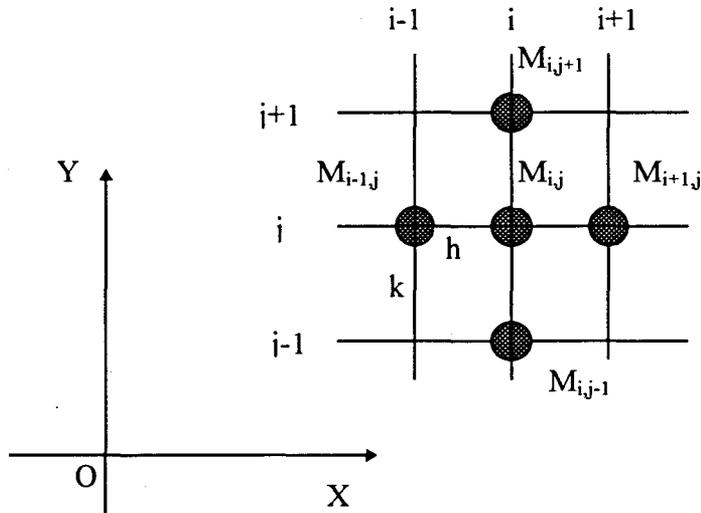
IV-1-1 / Méthodes des différences finies [EUV 94] :

IV-1-1-1 / Maillage et approximation des dérivées partielles :

Soit Ω un domaine rectangulaire, plan dans lequel sont définies les équations différentielles. La méthode des différences finies consiste à définir le maillage du domaine considéré et sur lequel est calculée l'approximation des dérivées partielles.

IV-1-1-1-1 / Maillage :

Le maillage le plus simple du domaine consiste à tracer des droites parallèles à l'axe des x , équidistantes d'un pas k , ainsi que des droites parallèles à l'axe y , équidistantes d'un pas h . Ces droites se coupent en différents points $M_{i,j}$ de coordonnées (ih, jk) avec $(i, j) \in \mathbb{Z} \times \mathbb{Z}$, lesquels constituent le domaine maillé appelé aussi la grille. Il est à noter que le pas de discrétisation k (resp. h) peut être variable d'une région à une autre dans le domaine Ω , ce qui permet d'avoir des précisions différentes par région. Cependant, le principe de calcul et de discrétisation des variables est conservé.

Figure IV-1 : Maillage du domaine Ω

IV-1-1-1-2 / Approximation des dérivées partielles :

Considérons un point $M_{i,j}$ intérieur au domaine étudié Ω , ainsi que les points voisins de celui-ci, les pas de discrétisation h et k sont supposés petits par rapport aux dimensions de Ω .

Soit f une fonction des variables u et v (solution recherchée), Par rapport à l'échelle de variation de la fonction $f(u, v)$, on peut estimer qu'elle varie peu lorsqu'on passe de $M_{i,j}$ aux points voisins. Cette variation doit s'écrire en première approximation à l'aide des dérivées partielles de f au point $M_{i,j}$, grâce au théorème des accroissements finis.

Principe de calcul des dérivées partielles :

Soit f une fonction des variables u et v , de classe C^∞ , (f continue et dérivable à l'infini pour les deux variables), alors si h et k tendent vers 0 on a :

$$f(u+h) = f(u) + hf'(u) + \frac{h^2}{2!} f''(u) + \frac{h^3}{3!} f'''(u) + \dots + \frac{h^n}{n!} f^{[n]}(u) + \varepsilon(h^n),$$

$$f(u-h) = f(u) - hf'(u) + \frac{h^2}{2!} f''(u) - \frac{h^3}{3!} f'''(u) + \dots + (-1)^n \frac{h^n}{n!} f^{[n]}(u) + \varepsilon(h^n),$$

$$f(v+k) = f(v) + kf'(v) + \frac{k^2}{2!} f''(v) + \frac{k^3}{3!} f'''(v) + \dots + \frac{k^n}{n!} f^{[n]}(v) + \varepsilon(k^n),$$

$$f(v-k) = f(v) - kf'(v) + \frac{k^2}{2!} f''(v) - \frac{k^3}{3!} f'''(v) + \dots + (-1)^n \frac{k^n}{n!} f^{[n]}(v) + \varepsilon(k^n).$$

A partir de ces équations, nous pouvons définir les dérivées partielles de premier, du second ordre, croisée, les dérivées partielles à droite, à gauche et centrée... .

Dans ce qui suit nous donnons quelques exemples de calcul.

Soient :

$$D_u^+ = \frac{f(u+h) - f(u)}{h} : \text{l'approximation de la dérivée première à droite par rapport à la variable } u,$$

$$D_u^- = \frac{f(u) - f(u-h)}{h} : \text{l'approximation de la dérivée première à gauche par rapport à la variable } u,$$

$$D_u = \frac{f(u+h) - f(u-h)}{2h} : \text{l'approximation de la dérivée première centrée par rapport à la variable } u,$$

$$D_v^+ = \frac{f(v+k) - f(v)}{k} : \text{l'approximation de la dérivée première à droite par rapport à la variable } v,$$

$D_v^- = \frac{f(v) - f(v-k)}{k}$: l'approximation de la dérivée première à gauche par rapport à la variable v ,

$D_v = \frac{f(v+k) - f(v-k)}{2k}$: l'approximation de la dérivée première centrée par rapport à la variable v ,

$D_{uu}^+ = D_u^+ [D_u^+] = \frac{f(u+2h) - 2f(u+h) + f(u)}{h^2}$: l'approximation de la dérivée seconde à droite par rapport à la variable u ,

$D_{uv}^+ = D_u^+ [D_v^+] = \frac{1}{k} \left[\frac{f(v+k+h) - f(v+k) - f(v+h) + f(v)}{h} \right]$: l'approximation de la dérivée première croisée à droite,

$D_{uv}^- = D_u^- [D_v^-]$: l'approximation de la dérivée première croisée à gauche,

$D_{uv} = D_u [D_v]$: l'approximation de la dérivée première croisée centrée.

...

IV-1-1-2 / Résolution :

On distingue, pour la résolution des systèmes linéaires, deux grandes catégories de méthodes : les méthodes directes et les méthodes itératives. Si l'on pouvait effectuer des opérations sans erreur d'arrondi, la méthode directe donnerait la solution exacte après un nombre fini (éventuellement grand) d'opérations. Par contre, la méthode itérative est une méthode convergeant asymptotiquement vers la solution pour un nombre d'opérations tendant vers l'infini.

Les méthodes directes utilisent, la plupart du temps, une factorisation de Cholesky, de Crout ou de Gauss. La plus utilisée pour obtenir des matrices réelles symétriques définies positives est la factorisation de Cholesky.

A titre d'exemple, prenons le système d'équations $A X = B$ et résolvons ce système en X . La méthode de Cholesky consiste à écrire la matrice A sous la forme : $A = L U$, où L est une matrice triangulaire inférieure alors que U est une matrice triangulaire supérieure, il est à noter que $U = L^T$. Dans ces conditions, l'équation $A X = B$ devient alors :

$$L U X = B$$

$$L Y = B \quad \text{avec} \quad U X = Y.$$

Les méthodes itératives, les plus utilisées, appliquées aux systèmes linéaires symétriques ou non sont : les méthodes du gradient conjugué avec ou sans préconditionnement ou les méthode de relaxation. Ces méthodes sont basées sur le calcul de la solution en utilisant le maillage de la discrétisation spatiale (cf. figure IV-1). Ce calcul est souvent effectué en parcourant le maillage (la grille) par lignes de gauche à droite et de bas en haut (ou l'inverse). Cette opération, nommée itération, est répétée autant de fois que cela s'avère nécessaire. Pour calculer la solution au point $M_{i,j}$, on se sert :

- des valeurs de la solution aux points $M_{i-1,j}$ et $M_{i,j-1}$ calculées dans l'itération temporelle en cours,
- des valeurs de la solution aux points $M_{i+1,j}$ et $M_{i,j+1}$ issues de l'itération précédente et toujours stockées dans la mémoire de l'ordinateur.

Ces méthodes itératives nécessitent donc un espace mémoire très important (proportionnel au nombre de points existants dans le maillage) et un temps de calcul proportionnel à la complexité du problème à résoudre (ordre et nombre des dérivées partielles).

La précision des résultats des méthodes de différences finies dépend en grande partie des pas de discrétisation (k et h). Ainsi, plus ces pas sont petits plus le calcul est précis, mais plus le nombre d'équation à résoudre est important. Ceci engendre l'utilisation d'ordinateurs à grandes capacités de calcul. Les temps de résolution sont généralement assez longs.

IV-1-2 / Méthodes des éléments finis [COU 86] :

La méthode des éléments finis connue, au moins dans son principe, depuis plus d'un demi siècle, n'a vraiment pris son essor qu'avec l'avènement des moyens informatiques modernes. L'application de cette méthode n'a pu se généraliser de manière très large que lorsqu'on a été en mesure de résoudre facilement des systèmes algébriques linéaires et non linéaires de grande dimension.

Une des originalités de la méthode des éléments finis réside dans le fait qu'elle est basée sur une formulation intégrale du phénomène étudié plutôt que sur la forme différentielle que représentent les équations aux dérivées partielles. Cette formulation intégrale est soit de type variationnelle lorsque cela est possible, soit de type projective en l'association avec une base de donnée de fonctions.

IV-1-2-1 / Formulation variationnelle :

Cette formulation est basée sur quelques aspects mathématiques du calcul des variations que nous allons rappeler :

- Lemme fondamental du calcul des variations :

si $\int_{t_1}^{t_2} f(t)\psi(t)dt = 0$, $\forall \psi(t)$ continue telle que : $\psi(t) > 0$ et $\psi(t_1) = \psi(t_2) = 0$, alors :

$$f(t) = 0, \forall t \in [t_1, t_2].$$

- Variation d'une intégrale à limites fixes :

Théorème : Soit $\phi(x, y, t)$, une fonction de trois variables continues et à dérivées premières continues. La fonction $u(t)$ dérivable de dérivée $u'(t)$, définie sur un intervalle $[t_1, t_2]$ telle que $u(t_1) = u_1$, $u(t_2) = u_2$ et qui rend extrémale l'intégrale $I = \int_{t_1}^{t_2} \phi(u, u', t) dt$ vérifie l'équation d'Euler associée à cette fonctionnelle :

$$\begin{cases} \frac{\partial \phi}{\partial u} - \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial \phi}{\partial u'} \right) = 0 \\ u(t_2) = u_2 \quad u(t_1) = u_1 \end{cases} .$$

Ces théorèmes montrent que sous certaines conditions, il y a équivalence entre la résolution d'un problème différentiel du second ordre et la recherche de la fonction qui rend extrémale la fonctionnelle (l'intégrale I). On peut donc indifféremment résoudre l'équation avec ses conditions aux limites ou minimiser l'intégrale.

IV-1-2-2 / Formulation projective :

Le principe fondamental des méthodes projectives est basé sur un théorème propre aux espaces de Hilbert qui établit que, dans un tel espace, seul le vecteur nul est orthogonal à tous les vecteurs de l'espace.

En pratique, deux vecteurs ou deux fonctions sont perpendiculaires si leur produit scalaire est nul. Soit L^2 , l'espace dans lequel nous trouvons le plus grand nombre de problèmes physiques. L'orthogonalité de deux fonctions f et g est caractérisée par l'expression : $\int_{\Omega} f \cdot g dv = 0$.

La résolution d'un problème aux dérivées partielles peut alors se traduire par la recherche d'une fonction u telle que les opérateurs L sur le domaine Ω et B sur la

$$\text{frontière vérifient : } \begin{cases} L(u) - f = 0 \\ B(u) - g = 0 \end{cases}$$

Pour cela on utilise la méthode dite des résidus pondérés qui consiste à rechercher des fonctions u qui satisfont aux conditions aux limites et telles que pour toute fonction ϕ ayant des conditions de dérivabilité déterminées l'on ait :

$$\int_{\Omega} \phi \cdot (L(u) - f) dv = 0.$$

Si l'ensemble des fonctions ϕ est de dimension infinie alors il est possible d'avoir une équivalence entre le problème aux dérivées partielles et sa formulation intégrale. Cependant, dans les applications pratiques les fonctions ϕ forment un espace de dimension finie et la formule précédente ne constitue qu'une approximation caractérisée par la donnée de cet ensemble de fonctions.

L'avantage de la méthode des résidus pondérés par rapport à la formulation variationnelle est qu'elle peut s'appliquer à toute équation indépendamment de l'existence et de la connaissance d'une formulation variationnelle du problème. Par contre, dès le départ, il existe une erreur de méthode caractérisée par le choix des fonctions ϕ . Néanmoins ce dernier point est d'une importance secondaire car cette erreur et l'erreur d'approximation se conjuguent pour donner dans certaines conditions les mêmes résultats dans les deux formulations.

Parmi les autres formulations utilisées, on peut citer des formulations variationnelles mixtes utilisant les multiplicateurs de Lagrange ou des méthodes de type pénalité.

IV-1-2-3 / Maillage :

Dans la méthode des éléments finis, le domaine d'étude est découpé en sous domaines appelés éléments finis tels que sur chacun d'eux la fonction inconnue soit approchée par un polynôme. Le découpage doit réaliser une partition du domaine, sans trou ni recouvrement, les polynômes propres à chaque élément doivent respecter à la frontière des conditions de continuités compatibles avec celles imposées par la nature du problème à résoudre.

Le choix sur chaque élément fini des fonctions d'approximation définit le type de l'élément et caractérise par la suite la nature des fonctions d'approximation (linéaires, quadratiques, cubiques). La forme des éléments finis et la nature des fonctions d'approximations sont toujours définies par morceaux sur le découpage.

Un élément fini est alors un sous domaine Ω_e à l'intérieur du domaine Ω dont les dimensions géométriques, très petites devant les dimensions de Ω , demeurant cependant finies. L'élément fini est caractérisé par le nombre de ses noeuds géométriques et par le degré d'approximation de la fonction inconnue sur son domaine. Il peut être rectiligne, curviligne, à une ,deux ou trois dimensions.

IV-1-2-4 / Plan de résolution par la méthode des éléments finis :

Le processus d'approximation du comportement dynamique par les éléments finis doit suivre les étapes suivantes :

- maillage : le milieu continu est découpé par des lignes ou des surfaces imaginaires pour donner un nombre fini d'éléments finis. On assume que les éléments sont interconnectés en un nombre discret de points appelés "noeuds" situés aux frontières. Les déplacements de ces noeuds sont les paramètres inconnus du problème.

- un ensemble de fonctions est choisi pour définir de manière unique l'état des déplacements de chaque élément fini en terme de déplacements des noeuds. Dans le cas qui nous concerne, nous appliquons le système d'équations différentielles mis au point au deuxième chapitre.
- les fonctions de déplacements définissent maintenant d'une manière unique l'état des contraintes dans les éléments finis. Ces contraintes avec les contraintes initiales et les propriétés constitutives du matériau peuvent définir l'état des tensions dans chaque élément.
- un système de forces concentré aux noeuds et équilibrant les tensions pondérées et les distributions de poids est déterminé. Le résultat est une relation entre les matrices de rigidités et les forces extérieures.
- le système devenu discret et linéaire, il faut alors échantillonner l'espace temporel de celui-ci afin d'avoir la solution en chaque pas du temps.

l'organigramme suivant présente une synthèse de la méthodologie à suivre :

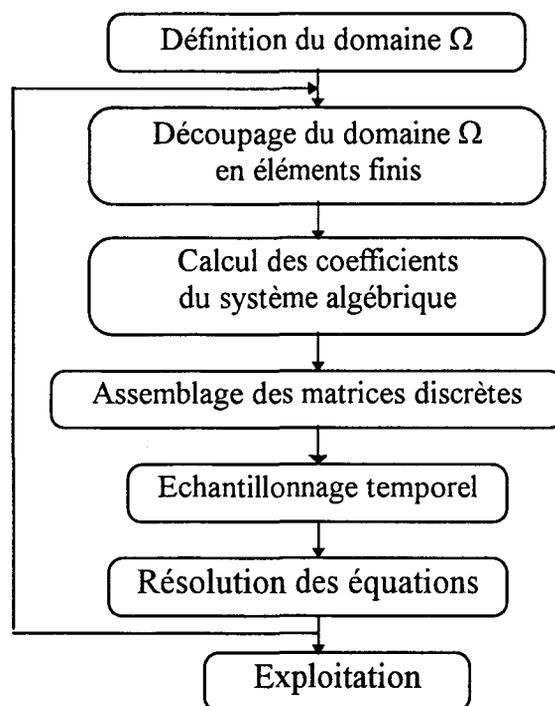


Figure IV-2 : Organigramme de résolution par la méthode des éléments finis

La méthode des éléments finis procure une grande souplesse de calcul et les résultats obtenus sont plus précis. Avec le développement et les progrès rapides de l'informatique, les logiciels de calcul basés sur cette méthode de résolution, couvrent des domaines de recherche variés.

Lorsque les systèmes différentiels étudiés dépendent du temps, pour des problèmes de dynamiques transitoires par exemple, c'est notre cas, le calcul des solutions est effectué par des méthodes d'intégration temporelle utilisant soit des méthodes de type multi-pas classique, soit la méthode de Gear avec prédicteur correcteur, soit la méthode de Runge-Kutta semi-implicite d'ordre 3.

Dans notre étude nous avons utilisé le logiciel de calcul MATLAB avec le module de résolution des équations à dérivées partielles utilisant la méthode des éléments finis. Cet outil de calcul et de représentation permet, moyennant quelques transformations dans le calcul de la solution par le biais de son équation de base de type hyperbolique, de résoudre le système d'équations différentielles mis au point dans cette étude.

Dans ce qui suit, nous expliquons les techniques de simulation utilisées pour arriver à résoudre et représenter l'évolution dynamique des tissus.

IV-2 / SIMULATION DU MODELE ELABORE :

Dans le deuxième chapitre nous avons mis au point un système d'équations différentielles décrivant l'évolution dynamique des tissus représentée par l'équation suivante :

$$m \frac{\partial^2 \vec{r}}{\partial t^2} - \gamma \frac{\partial \vec{r}}{\partial t} - \sum_{i,j=1}^2 \frac{\partial}{\partial u_i} \left([W^1] \left(\frac{\partial \vec{r}}{\partial u_i} \cdot \frac{\partial \vec{r}}{\partial u_j} - \frac{\partial \vec{r}^0}{\partial u_i} \cdot \frac{\partial \vec{r}^0}{\partial u_j} \right) \frac{\partial \vec{r}}{\partial u_j} \right) - \frac{\partial^2}{\partial u_i \partial u_j} \left([W^2] \left(\vec{n} \cdot \frac{\partial^2 \vec{r}}{\partial u_i \partial u_j} - \vec{n}^0 \cdot \frac{\partial^2 \vec{r}^0}{\partial u_i \partial u_j} \right) \frac{\partial^2 \vec{r}}{\partial u_i \partial u_j} \right) = m \vec{g}$$

avec : $\vec{r} = r(u_1, u_2, n)$, $\vec{n} = \vec{u}_1 \wedge \vec{u}_2$.

Nous constatons d'après cette équation que :

- les déformations des tissus sont exprimées en fonction de deux coordonnées (u_1, u_2) ,
- l'accélération de la pesanteur exprimant les forces extérieures est portée par l'axe z de vecteur unitaire \vec{n}^0 normal au plan de tissu à l'instant initial (u_1^0, u_2^0) . Cette constatation est vérifiée en choisissant une surface plane du tissu à l'instant t_0 .

A partir de ces remarques, nous pouvons faire la simplification suivante :

nous exprimons le système d'équations dans un mode plan (plan des déformations (u_1, u_2)), c'est-à-dire dépendant de deux variables spatiales et du temps, tout en appliquant à la surface de tissu une contrainte uniforme perpendiculaire au plan du tissu à l'instant initial (portée par le vecteur normale \vec{n}^0) et dirigée vers le sens des déplacements. Cette contrainte ainsi définie, exprime l'action des forces extérieures, qui permet de représenter l'évolution dynamique en trois dimensions. En d'autres termes, nous avons substitué la troisième composante portée par le vecteur \vec{n}^0 du système d'équations différentielles, résultant de l'équation générale donnée ci-dessus et ne dépendant pas des coordonnées (u_1, u_2) , par une contrainte surfacique définie une fois pour toutes à l'instant initial, ce qui provoque la chute du tissu sans avoir une incidence sur ces déformations liées à sa propre structure.

Avec l'aide du logiciel Matlab associé à son module complémentaire relatif à la résolution des équations différentielles à dérivées partielles (E.D.P.), nous sommes en mesure de traiter et de résoudre des équations hyperboliques définies sur deux dimensions [GHI 97-2], [GHI 97-3],[GHI 98].

Le système d'équation hyperbolique de base du module E.D.P. est donné par l'expression suivante :

$$a \frac{\partial^2 \vec{r}}{\partial t^2} - \nabla \cdot (b \cdot \nabla(\vec{r})) + c\vec{r} = \vec{f}$$

avec :

$\vec{r} = r(u_1, u_2)$: vecteur représentant la variable spatiale, ses composantes après résolution représentent la solution recherchée,

a : coefficient relative à la masse du système étudié,

∇ : opérateur nabla de dérivation partielle,

b : coefficient représentant les facteurs multipliant les dérivées partielles par rapport à la variable \vec{r} ,

c : coefficient représentant les facteurs multipliant la variable \vec{r} ,

\vec{f} : vecteur représentant l'action des forces extérieures.

Il est à noter que (a, b, c, \vec{f}) peuvent être des fonctions du temps et des dérivées partielles de la variable $\vec{r} \left(\frac{\partial \vec{r}}{\partial u_1}, \frac{\partial \vec{r}}{\partial u_2} \right)$. D'autre part, le logiciel utilisé permet la programmation des nos propres modules de calcul, afin de les intégrer aux programmes sources du logiciel.

Pour adapter le système d'équation du module E.D.P. du logiciel MATLAB à l'équation de notre modèle, il a été nécessaire d'effectuer certaines modifications et substitutions de paramètres dans les modules de calcul de ce logiciel.

Ainsi, dans une première étape, nous avons modifié le module permettant le calcul de l'expression :

$$\nabla \cdot (b \cdot \nabla(r)) = \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial u_i |\bar{u}_i|} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial u_j |\bar{u}_j|} \right) \cdot [b] \cdot \left(\frac{\partial \bar{r}}{\partial u_i |\bar{u}_i|} + \frac{\partial \bar{r}}{\partial u_j |\bar{u}_j|} \right),$$

afin de calculer l'expression relative à l'énergie de déformation d'un point de vue allongement donnée par :

$$\sum_{i,j=1}^2 \frac{\partial}{\partial u_i} \left([W^1] \left(\frac{\partial \bar{r}}{\partial u_i \partial u_j} - \frac{\partial \bar{r}^0}{\partial u_i \partial u_j} \right) \frac{\partial \bar{r}}{\partial u_j} \right).$$

Dans une deuxième étape, nous avons développé un module permettant de calculer l'expression relative à l'énergie de déformation d'un point de vue flexion donnée par l'expression :

$$\sum_{i,j=1}^2 \frac{\partial^2}{\partial u_i \partial u_j} \left([W^2] \left(\bar{n} \frac{\partial^2 \bar{r}}{\partial u_i \partial u_j} - \bar{n}^0 \frac{\partial^2 \bar{r}^0}{\partial u_i \partial u_j} \right) \frac{\partial^2 \bar{r}}{\partial u_i \partial u_j} \right).$$

En conséquence, nous avons modifié le programme principal calculant la solution pour qu'il tienne compte des transformations effectuées.

La substitution des paramètres est effectuée comme suit :

- le coefficient " a " représente la masse dans notre modèle,
- le coefficient " c " n'a aucune signification dans notre modèle, il est considéré comme nul,

- pour compléter l'équation générale, il suffit d'affecter au vecteur \vec{f} la valeur $\gamma \frac{\vec{a}}{a}$ représentant l'action du frottement subi par le tissu. Le coefficient γ est pris de manière à ce qu'il oppose un frottement égale à 5% de la vitesse du tissu.

Ces transformations et substitutions étant réalisées, nous avons choisi de simuler dans un premier temps l'évolution dynamique d'une pièce de tissu de dimensions 1m par 1m lâchée à partir d'une certaine position et évoluant en chute libre sans obstacles. L'élément fini adopté dans la discrétisation spatiale est de type triangulaire curviligne. Le découpage de la surface de 1 m² de tissu est réalisé avec 1248 éléments donnant 665 noeuds. La surface d'un élément fini représente environ 8.012 cm², il est possible de réduire encore les dimensions de l'élément fini, cependant le temps de résolution augmenterait sensiblement. La simulation est arrêtée après 3s d'évolution avec un pas de 0.05s. Il est aussi possible, de modifier ce pas de discrétisation temporelle.

Pour avoir les résultats des différents tissus, il ne reste alors qu'à convertir les valeurs des différents coefficients mécaniques, calculés dans le troisième chapitre, dans un système d'unité adéquat.

IV-3 / RESULTATS :

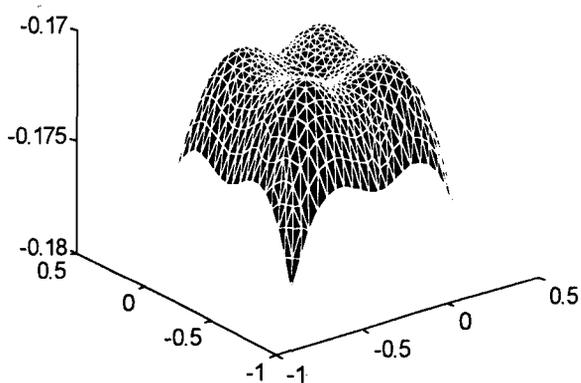
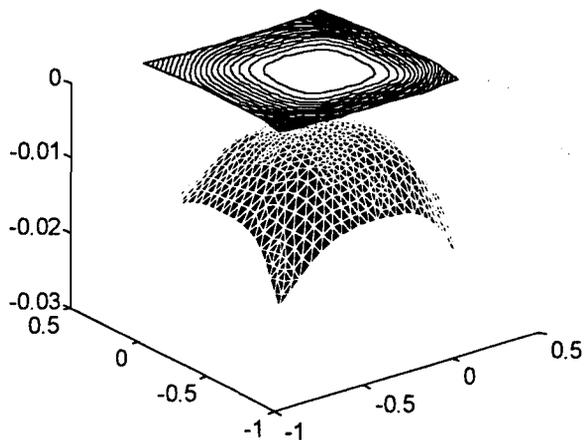
Dans ce paragraphe nous représentons les résultats issus des différentes simulations du modèle relatif aux tissus et nous étudions l'influence de l'armure et du fil sur l'évolution dynamique de ceux-ci.

IV-3-1 / Variations de l'évolution dynamique en fonction de l'armure:

IV-3-1-1 / Tissu avec armure toile, chaîne en coton et trame en coton :

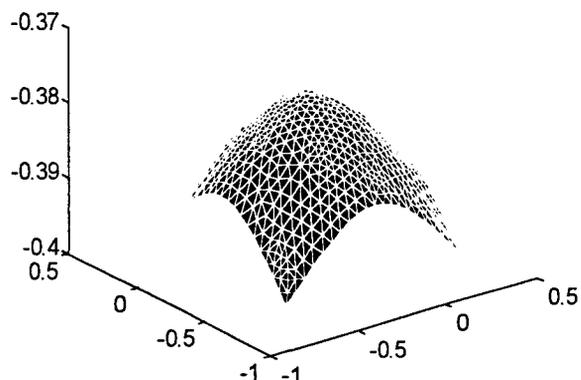
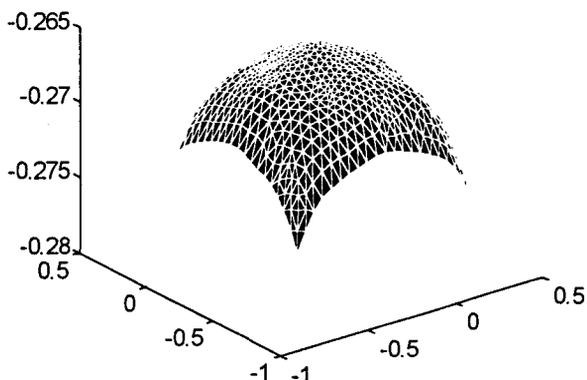
Time=0.05 Color: u Height: u Displacement: (u,v)

Time=0.2 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



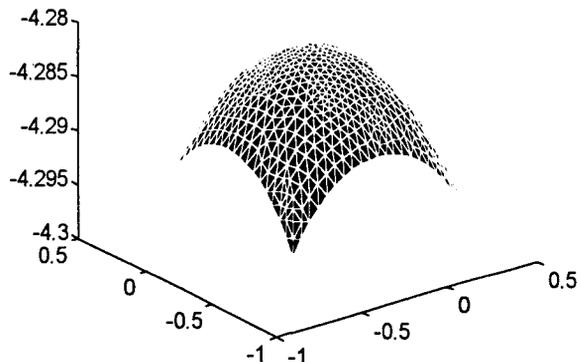
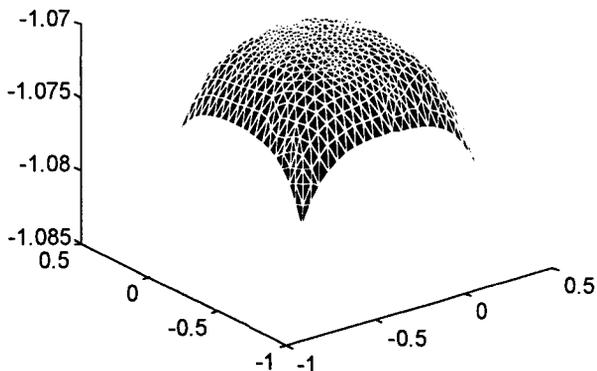
Time=0.25 Color: u Height: u Displacement: (u,v)

Time=0.3 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



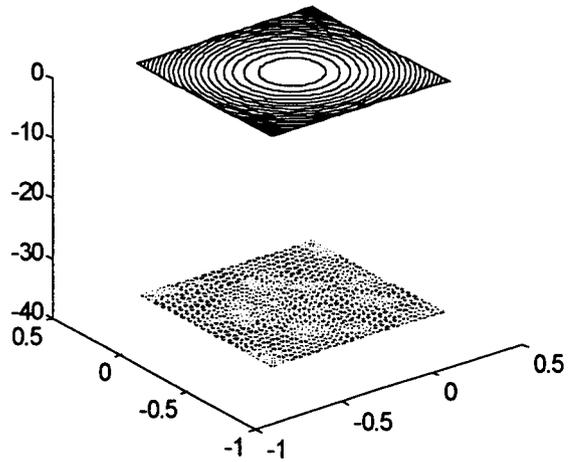
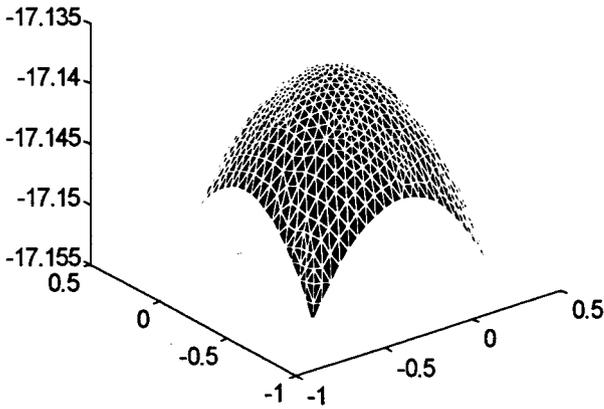
Time=0.5 Color: u Height: u Displacement: (u,v)

Time=1 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



Time=2 Color: u Height: u Displacement: (u,v)

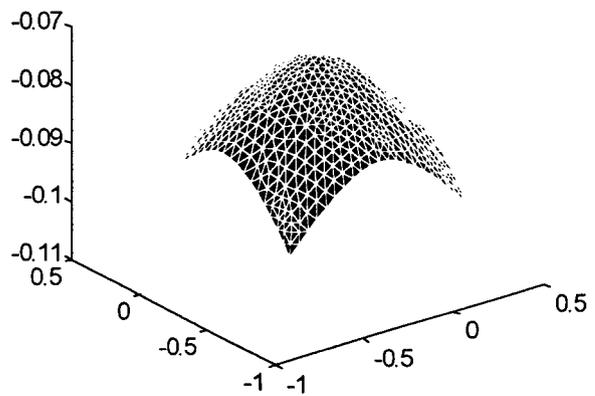
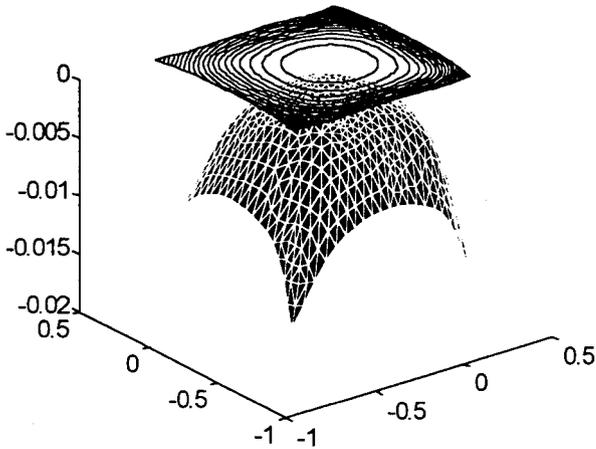
Time=3 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



IV-3-1-2 / Tissu avec armure sergé, chaîne en coton et trame en coton:

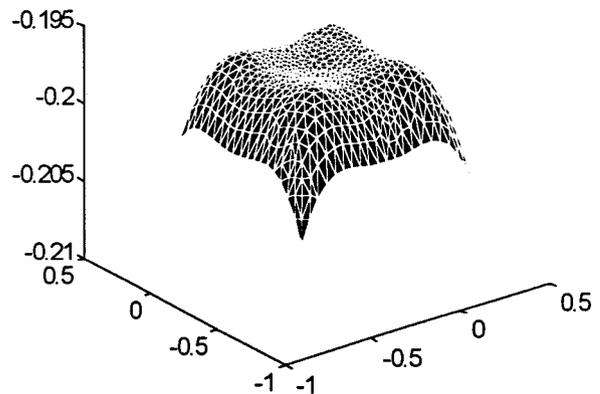
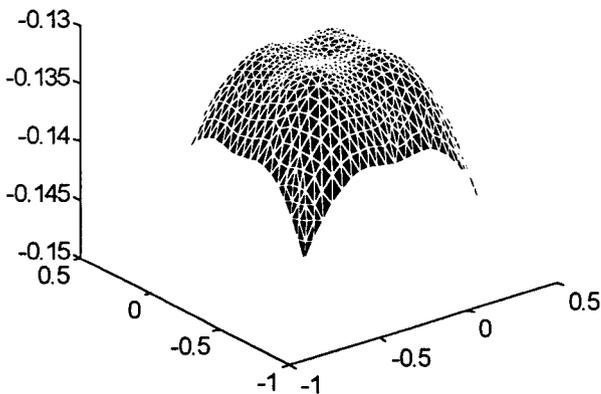
Time=0.05 Color: u Height: u Displacement: (u,v)

Time=0.2 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



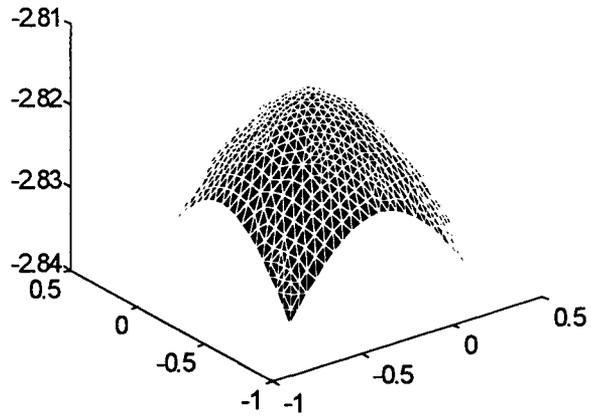
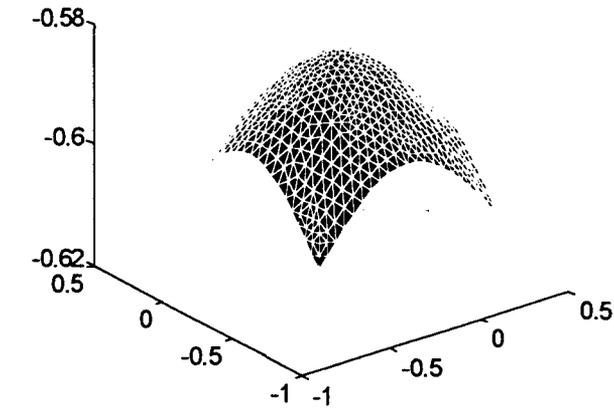
Time=0.25 Color: u Height: u Displacement: (u,v)

Time=0.3 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



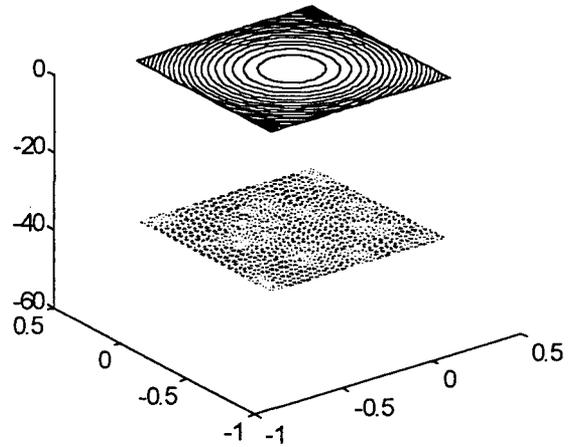
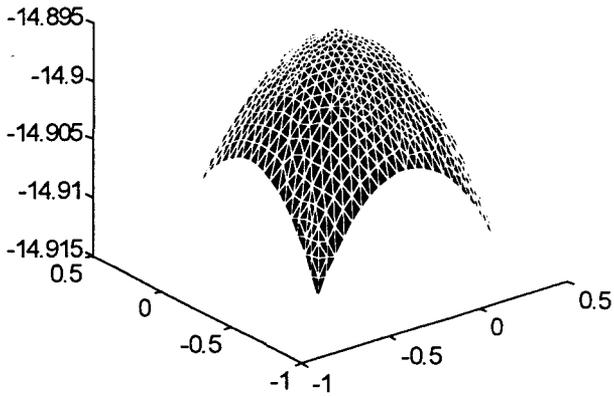
Time=0.5 Color: u Height: u Displacement: (u,v)

Time=1 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



Time=2 Color: u Height: u Displacement: (u,v)

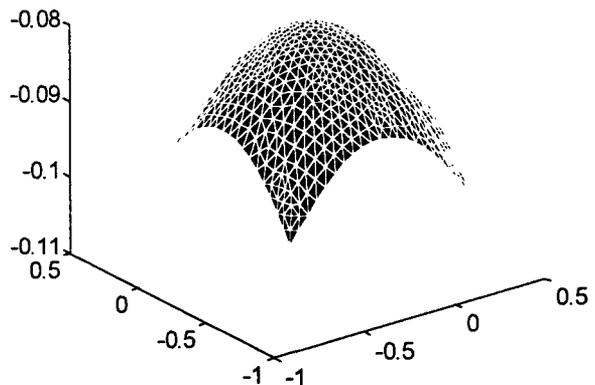
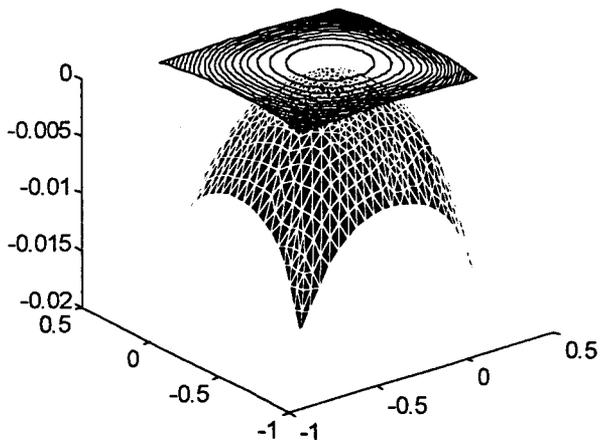
Time=3 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



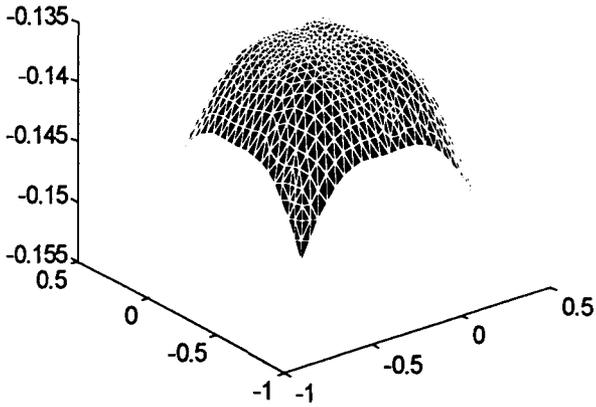
IV-3-1-3 / Tissu avec armure satin, chaîne en coton et trame en coton :

Time=0.05 Color: u Height: u Displacement: (u,v)

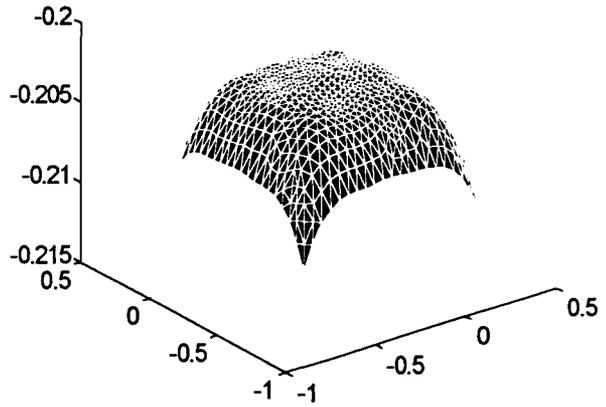
Time=0.2 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



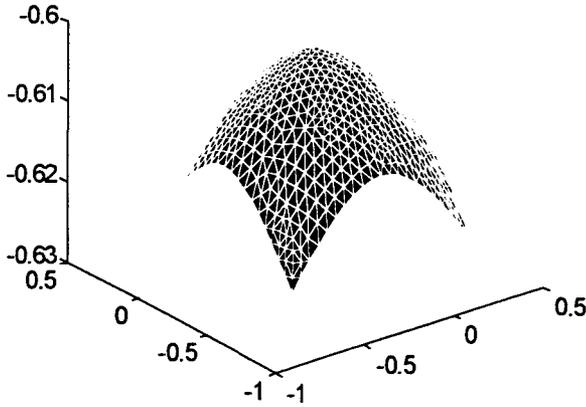
Time=0.25 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



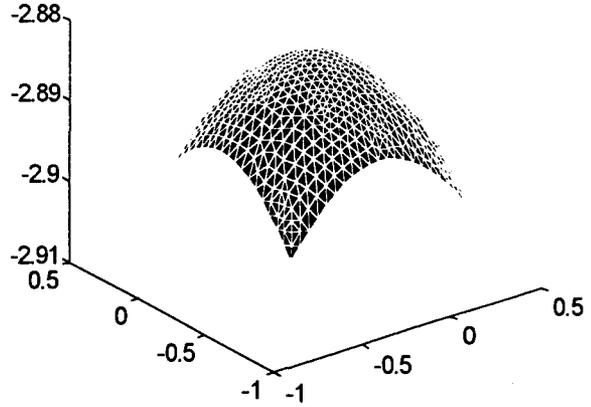
Time=0.3 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



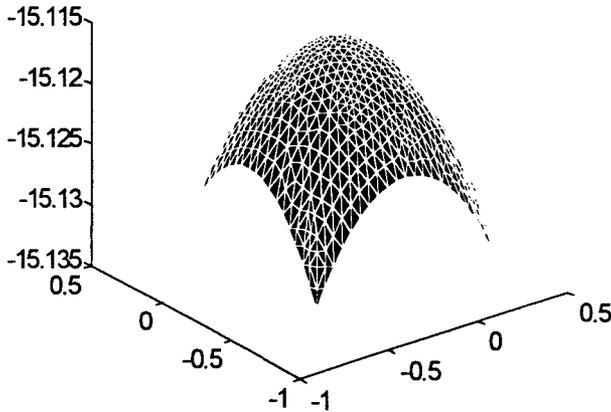
Time=0.5 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



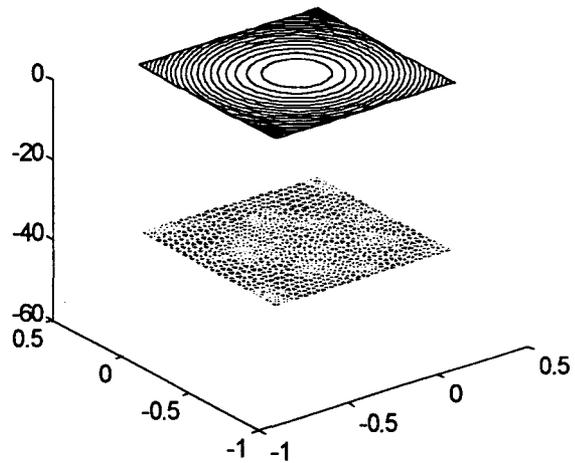
Time=1 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



Time=2 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



Time=3 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



D'après les résultats obtenus, nous constatons que :

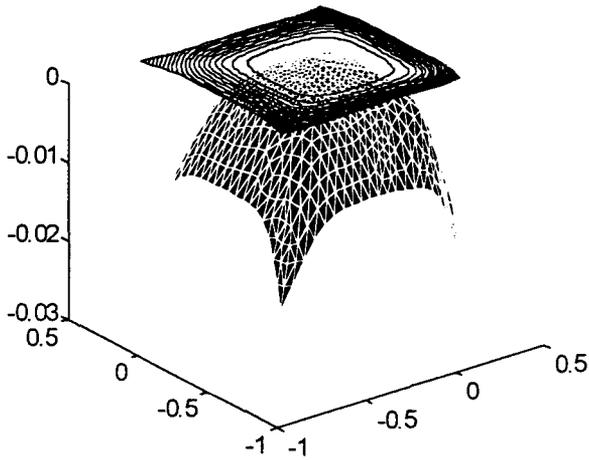
- les déformations les plus significatives apparaissent à l'amorce du mouvement, elles sont situées dans l'intervalle de temps $[0,2s, 0,4s]$. L'amplitude de ces déformations est plus importante pour le tissu avec une armure toile que celle des tissus avec une armure sergé ou satin. Cependant, cette amplitude est d'environ 1 cm, c'est pourquoi elle n'est pas toujours visible et évidente lors d'une utilisation normale des tissus.
- les déformations du tissu avec des armures en sergé ou en satin, sont plus étalées dans le temps que celles du tissu avec l'armure toile. Ceci peut être expliqué par le fait que, les tissus avec une armure en sergé ou en satin sont plus souples que les tissus en armure toile. Cette souplesse de structure peut entraîner un comportement transitoire plus marqué dans le temps. En effet, le tissu avec une armure toile est plus résistant d'un point de vue allongement que d'un point de vue flexion (cf. chapitre III).
- à partir d'un certain temps d'évolution d'environ 0.5s, les déformations deviennent quasiment identiques. Ceci est expliqué par l'influence de la masse créant la chute du tissu, qui génère un travail plus important que celui des contraintes internes s'opposant à ce travail et créant les déformations.

Dans le paragraphe suivant, nous nous intéressons à l'influence de la nature du fil sur le comportement dynamique des tissus.

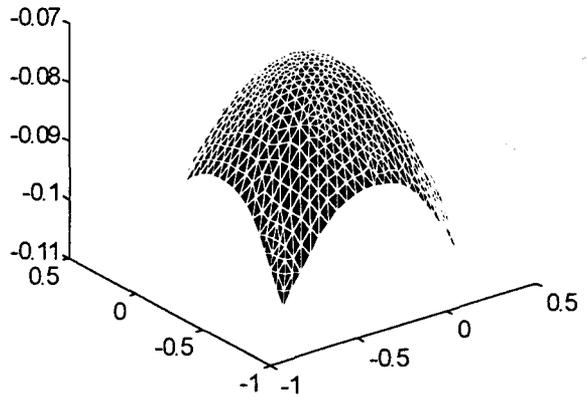
IV-3-2 / Variations de l'évolution dynamique en fonction du fil :

IV-3-2-1 / Tissu avec armure sergé, chaîne en coton et trame en polyester

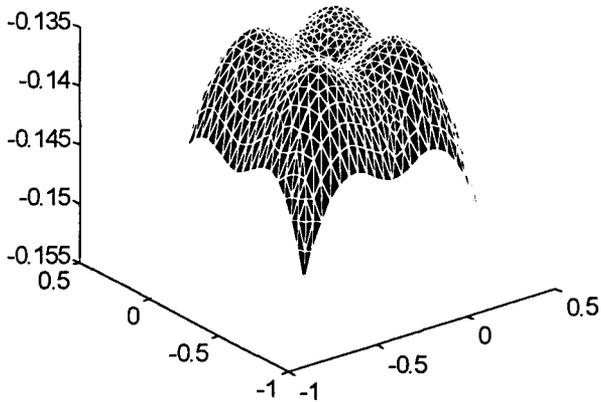
Time=0.05 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



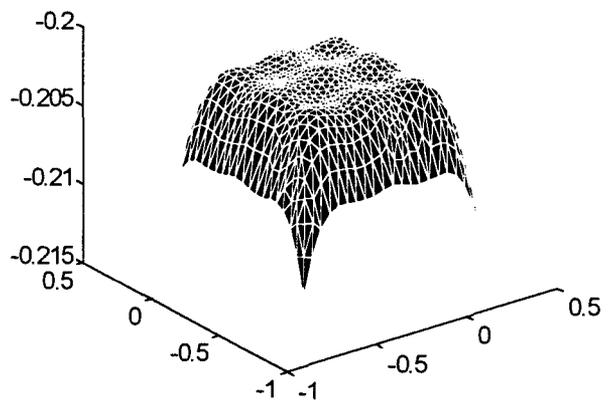
Time=0.2 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



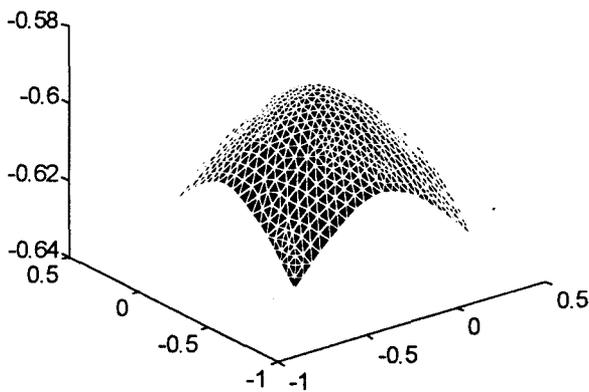
Time=0.25 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



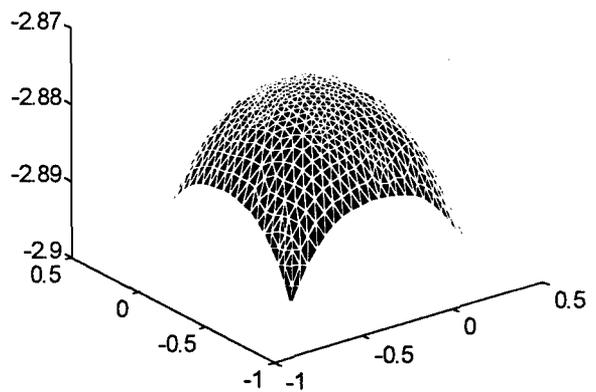
Time=0.3 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



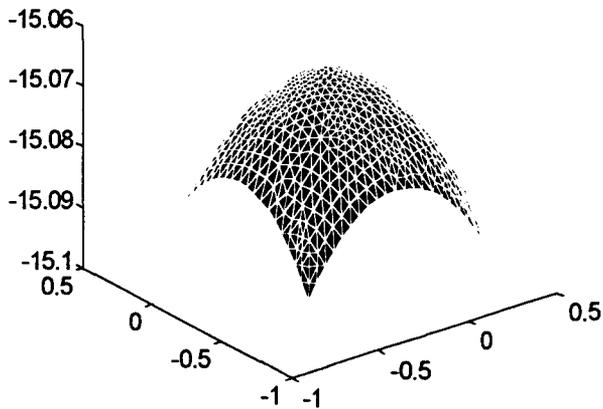
Time=0.5 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



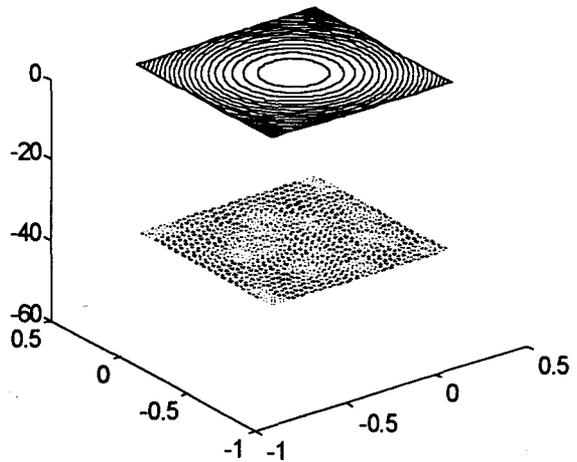
Time=1 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



Time=2 Color: u Height: u Displacement: (u,v)

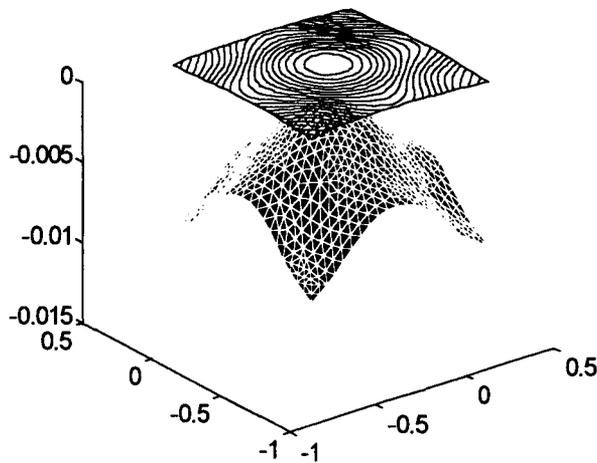


Time=3 Color: u Height: u Displacement: (u,v)

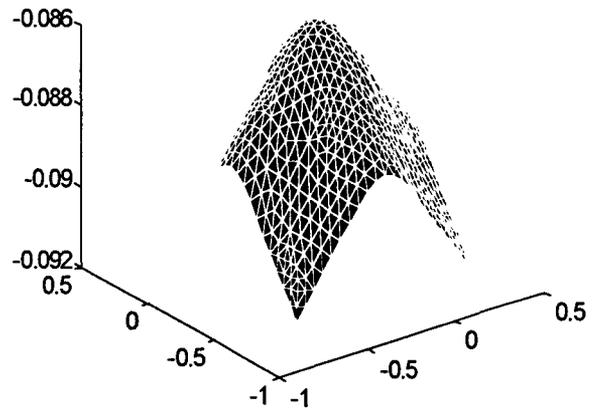


IV-3-2-2 / Tissu avec armure sergé, chaîne en polyester et trame en coton

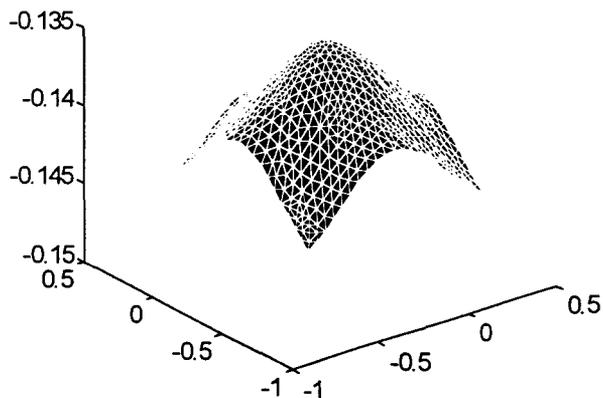
Time=0.05 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



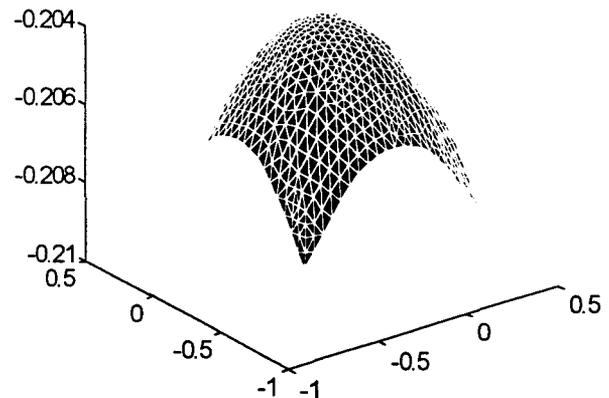
Time=0.2 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



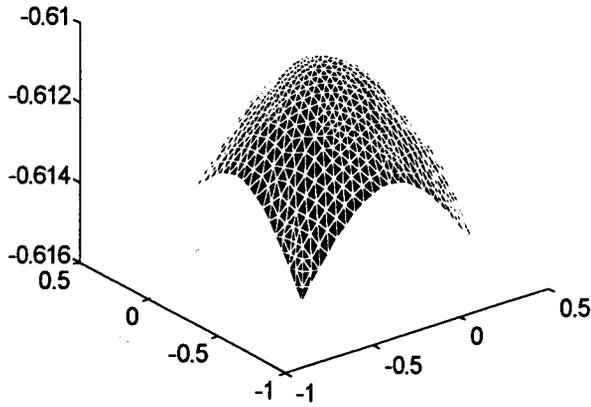
Time=0.25 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



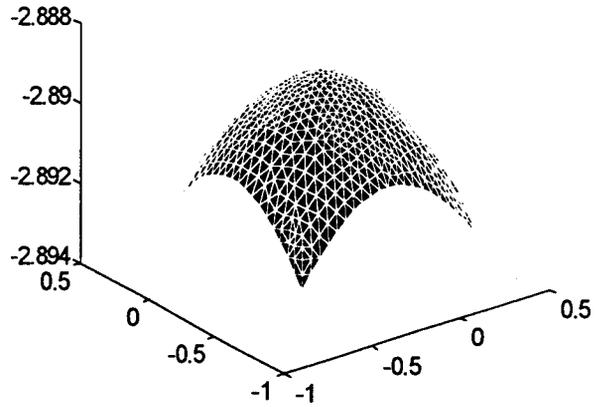
Time=0.3 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



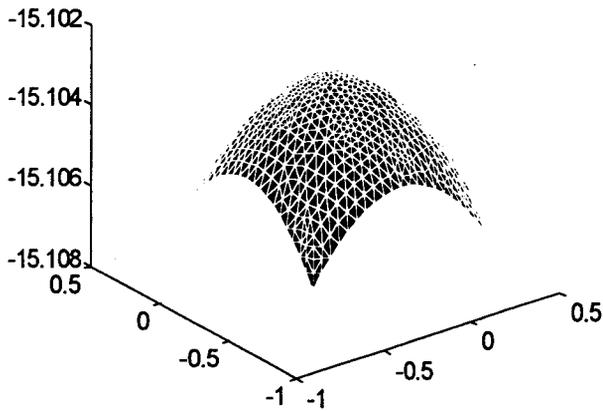
Time=0.5 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



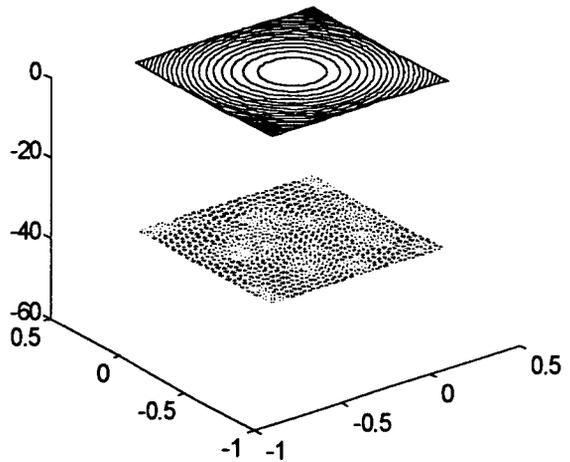
Time=1 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



Time=2 Color: u Height: u Displacement: (u,v)

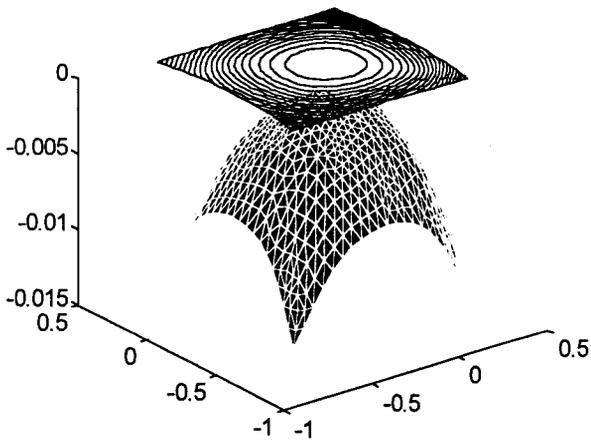


Time=3 Color: u Height: u Displacement: (u,v)

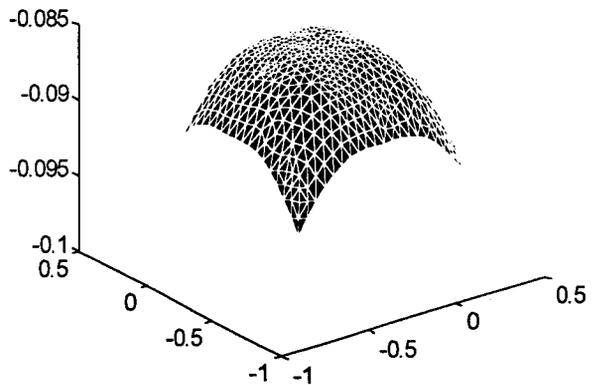


IV-3-2-3 / Tissu avec armure sergé, chaîne en polyester et trame en polyester

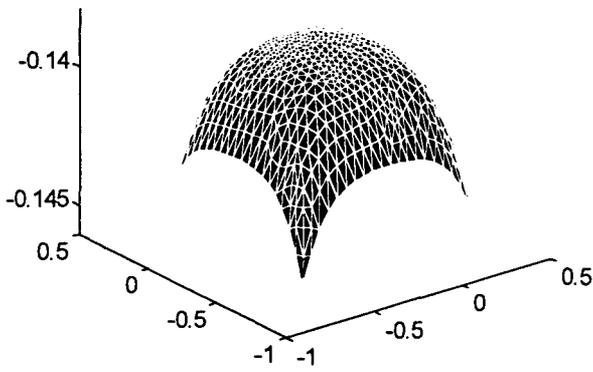
Time=0.05 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



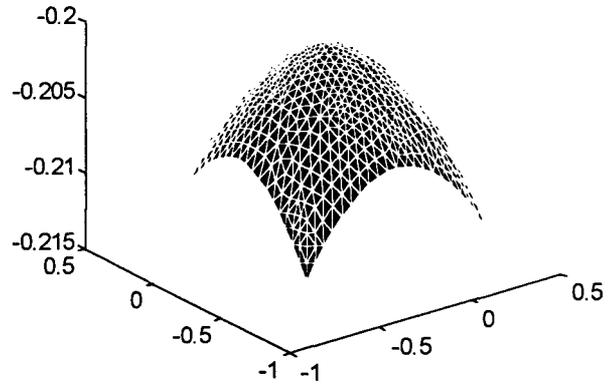
Time=0.2 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



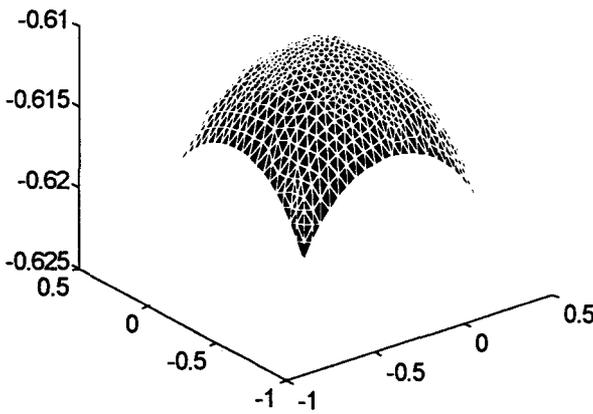
Time=0.25 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



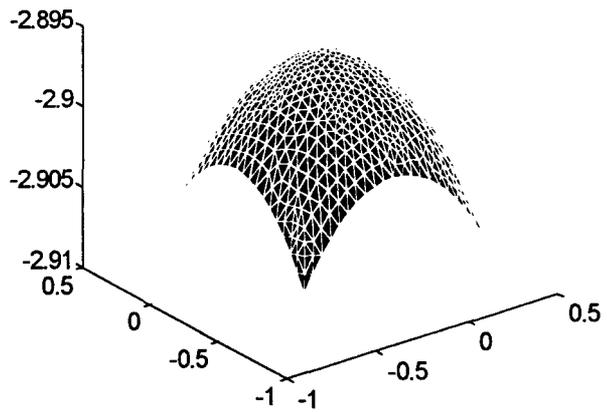
Time=0.3 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



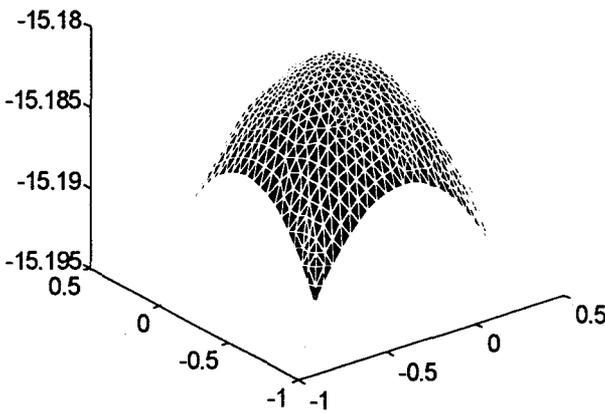
Time=0.5 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



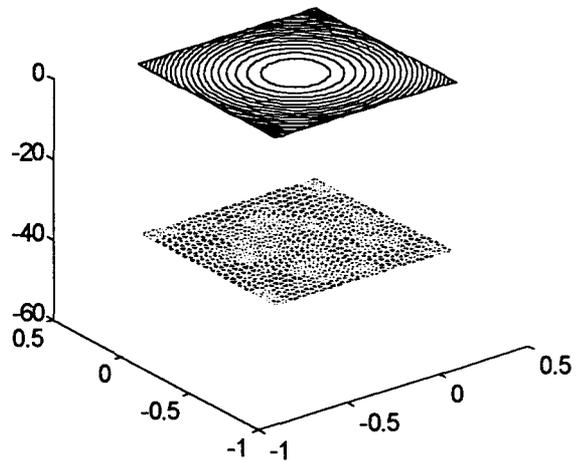
Time=1 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



Time=2 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



Time=3 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



Les résultats obtenus font apparaître que la nature du fil utilisé dans les sens chaîne ou trame pour la fabrication des tissus, a une grande influence sur l'évolution dynamique des tissus. Celle-ci agit sur les différents coefficients mécaniques intervenant dans le modèle pour modifier l'amplitude, la période et la durée de la phase transitoire du mouvement. De ce fait, chaque étude sur le drapé doit tenir compte non seulement de l'armure du tissu mais aussi de sa composition.

IV-3-3 / Evolutions dynamiques des tissus en présence d'un obstacle :

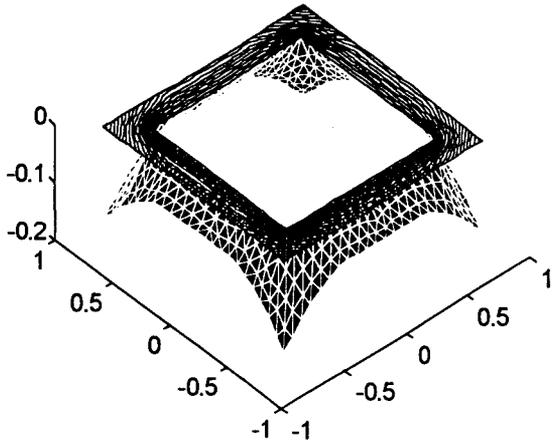
Dans ce qui suit nous allons étudier le tombé d'une pièce de tissu posée sur un objet immobile. Bien entendu, les dimensions de celui-ci sont plus grandes que celles de l'objet. Nous considérons le cas d'une nappe de forme rectangulaire posée sur une table de même forme. La modélisation du caractère dynamique des tissus établie dans cette étude restant valable sur la partie de la pièce du tissu débordant de l'objet fixe, le système d'équations différentielles peut alors s'appliquer uniquement sur la portion libre du tissu qui sera en mouvement.

Dans ces conditions, nous simulons le comportement dynamique de cette nappe de forme carrée de côté 1,60m, posée sur une table de même forme de côté 1,20m. La surface du tissu décrite par le système d'équations différentielles mis au point dans le cadre de cette étude représente alors 1,12 m². Le découpage du domaine en éléments finis est réalisé avec 648 triangles curvilignes, donnant 400 noeuds. La surface de chaque élément fini est d'environ 17,28 cm². Le pas de discrétisation temporelle est de 0.1s. Dans ce qui suit, nous présentons les résultats de simulation obtenus sur les différents tissus.

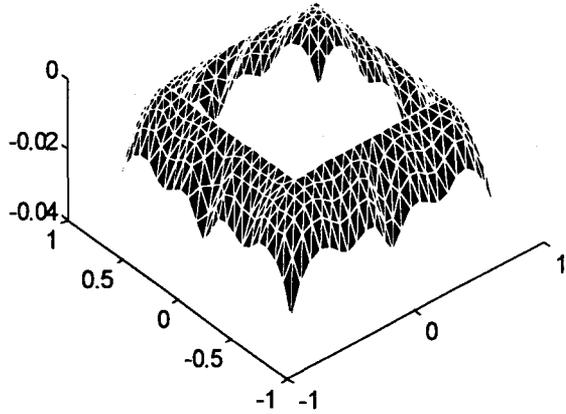
IV-3-3-1 / Influence de l'armure sur le comportement dynamique des tissus :

VI-3-3-1-1 / Tissu avec armure toile, chaîne en coton et trame en coton

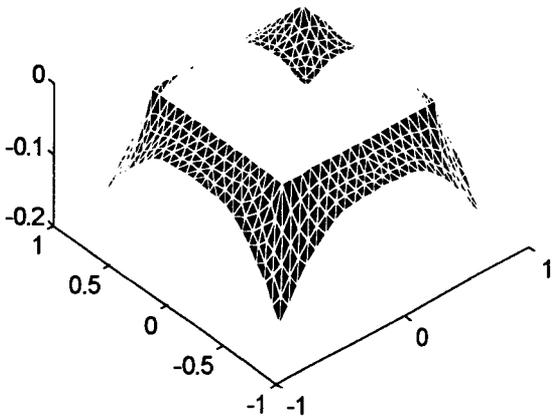
Time=0.1 Color: u Height: u



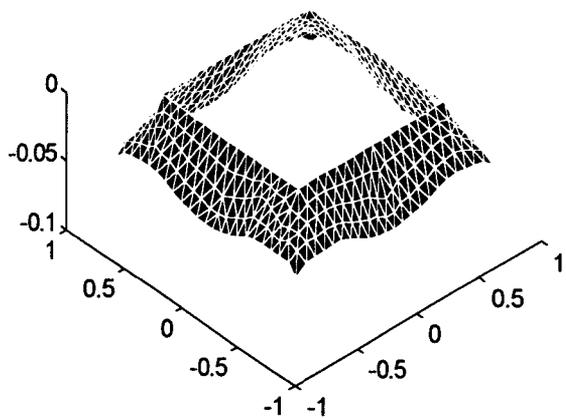
Time=0.2 Color: u Height: u



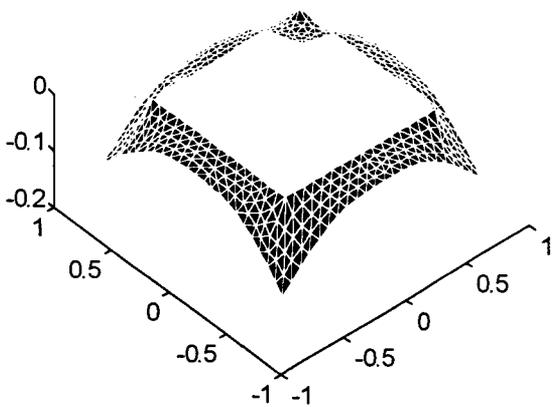
Time=0.3 Color: u Height: u



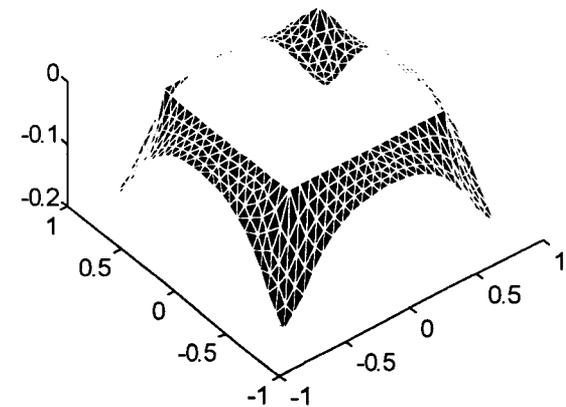
Time=0.4 Color: u Height: u



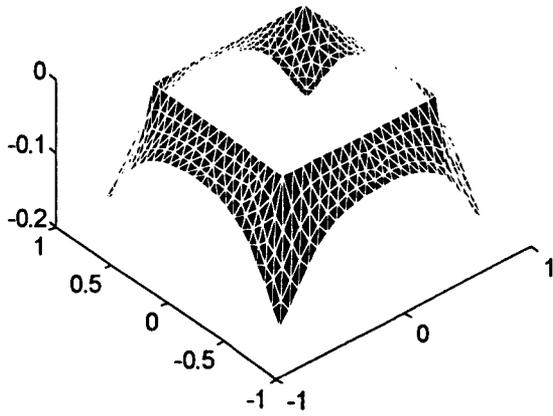
Time=0.5 Color: u Height: u



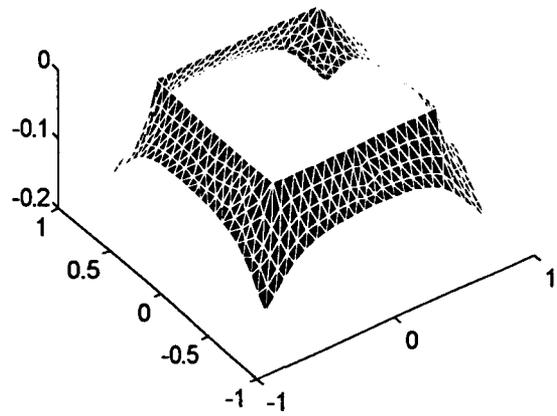
Time=1 Color: u Height: u



Time=3 Color: u Height: u

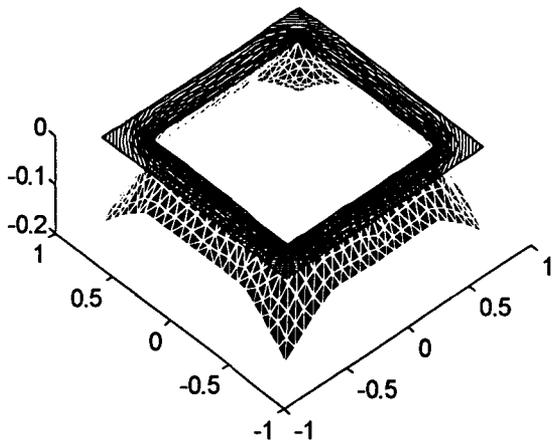


Time=6 Color: u Height: u

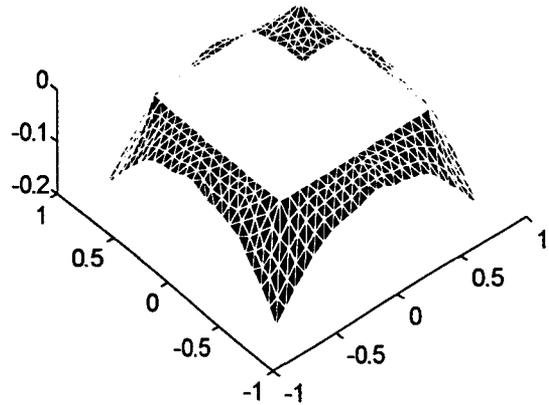


IV-3-3-1-2 / Tissu avec armure sergé, chaîne en coton et trame en coton

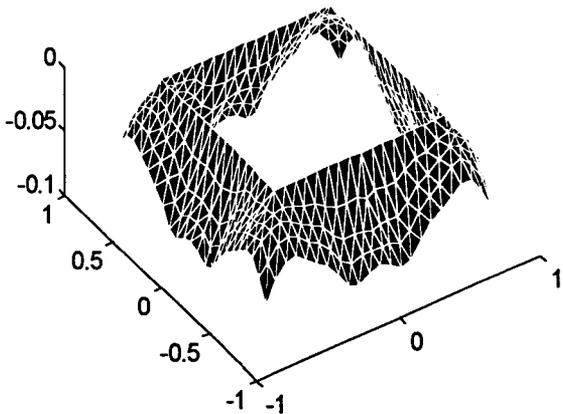
Time=0.1 Color: u Height: u



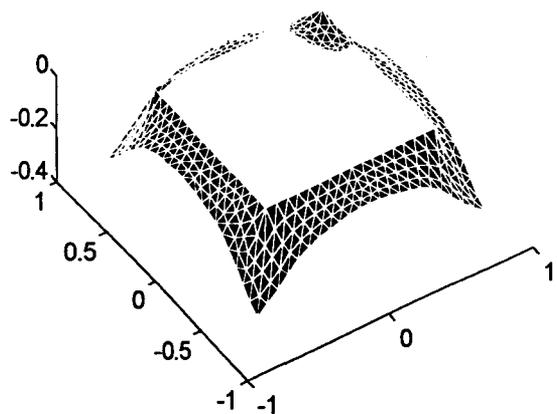
Time=0.2 Color: u Height: u



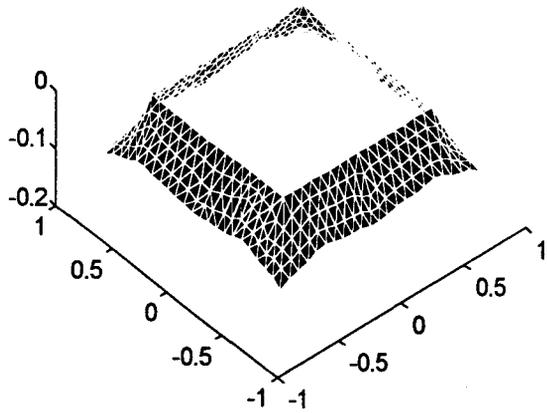
Time=0.3 Color: u Height: u



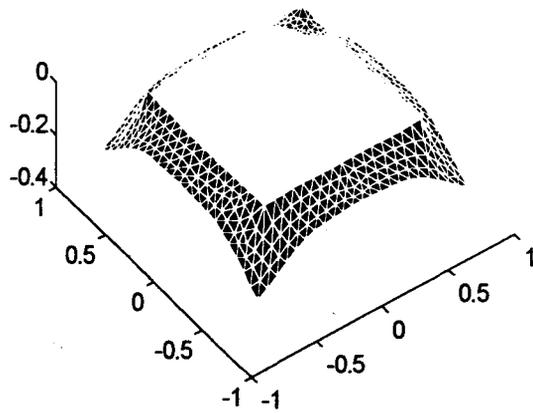
Time=0.4 Color: u Height: u



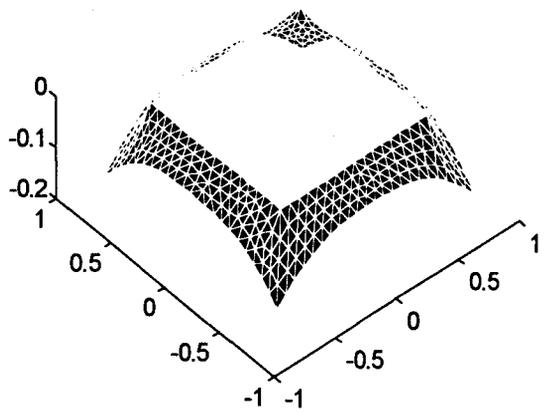
Time=0.5 Color: u Height: u



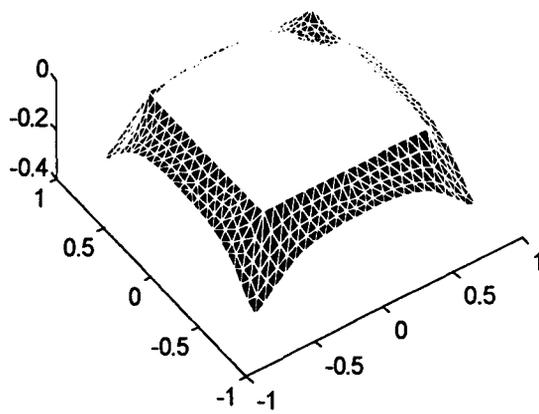
Time=1 Color: u Height: u



Time=3 Color: u Height: u

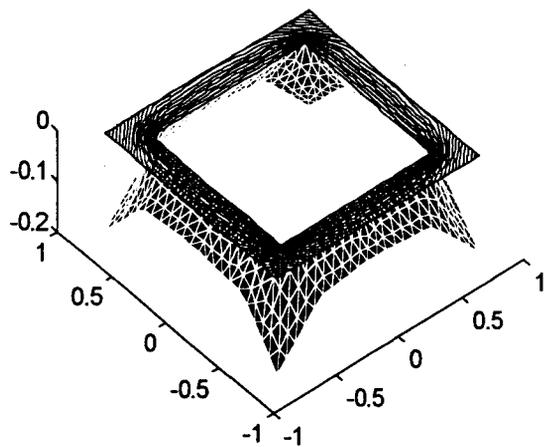


Time=6 Color: u Height: u

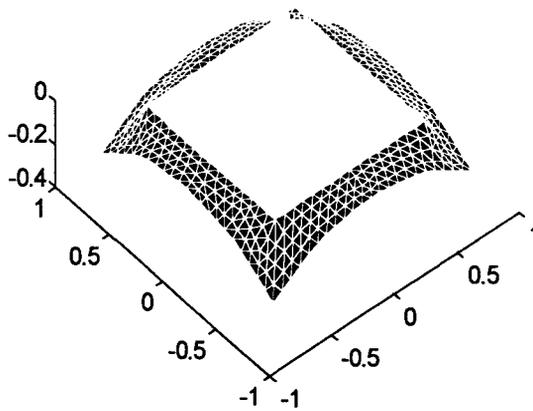


IV-3-3-1-3 / Tissu avec armure satin, chaîne en coton et trame en coton

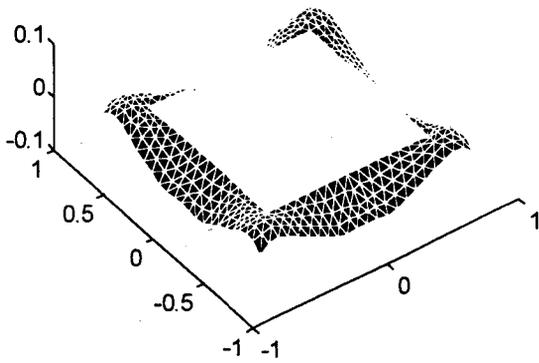
Time=0.1 Color: u Height: u



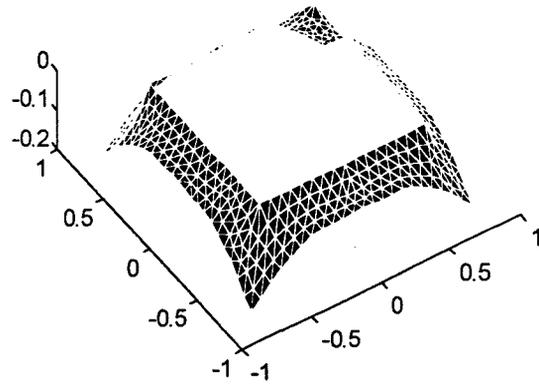
Time=0.2 Color: u Height: u



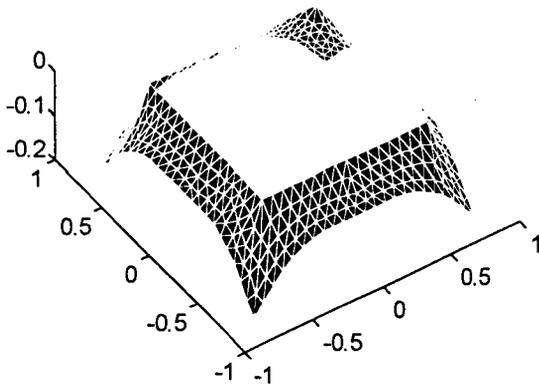
Time=0.3 Color: u Height: u



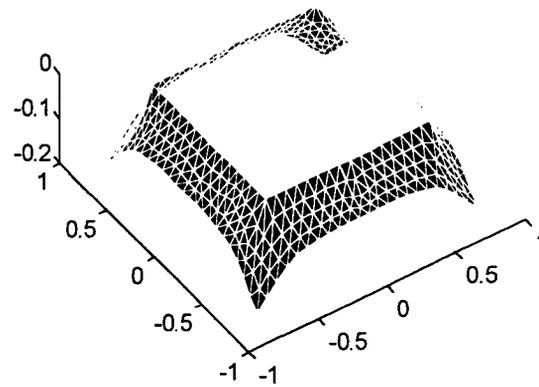
Time=0.4 Color: u Height: u



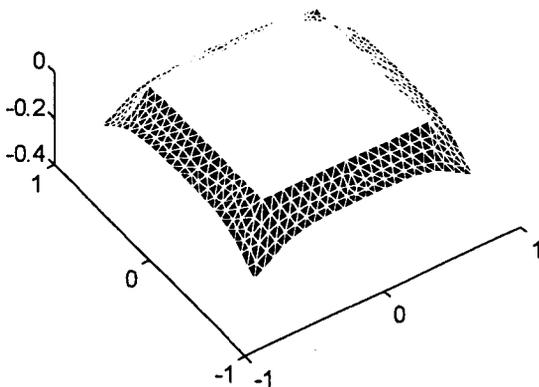
Time=0.5 Color: u Height: u



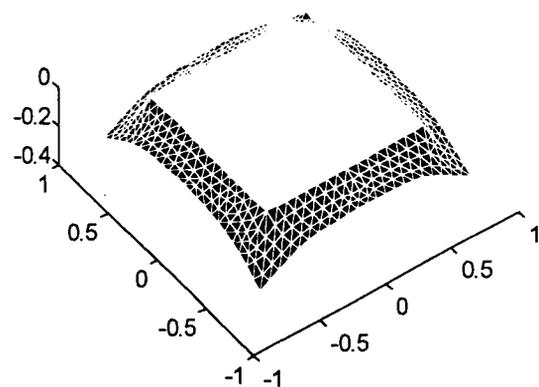
Time=1 Color: u Height: u



Time=3 Color: u Height: u



Time=6 Color: u Height: u

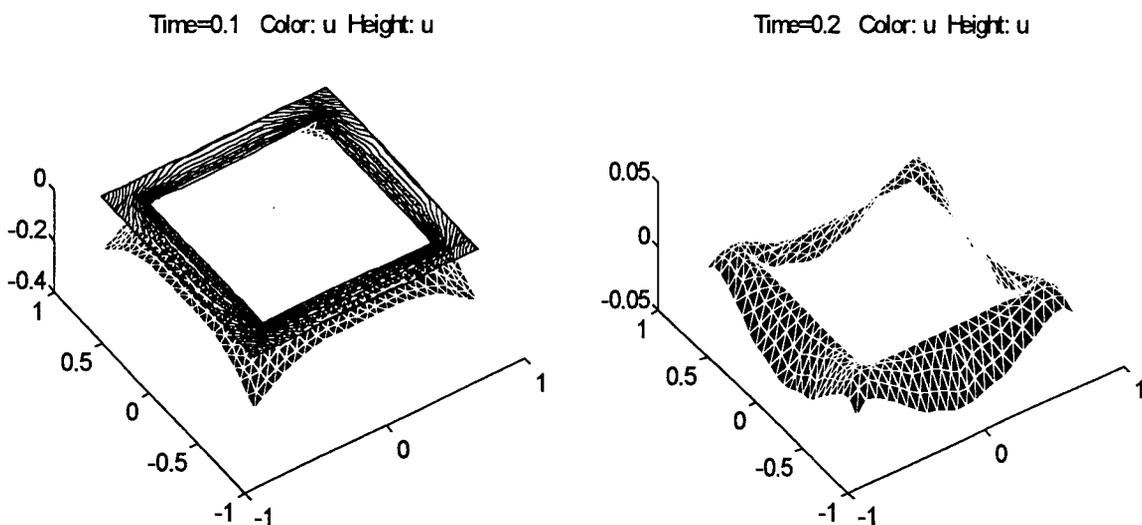


D'après les résultats des différentes évolutions dynamiques, il apparaît que :

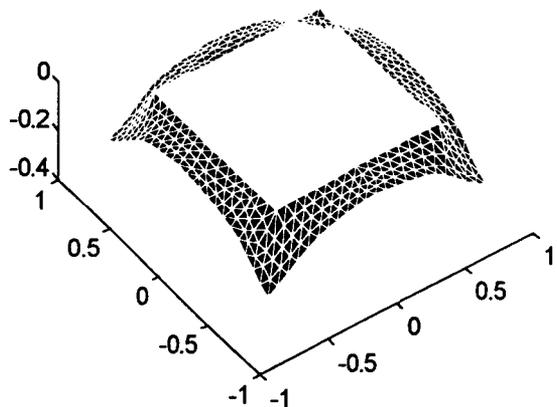
- la forme, l'amplitude et la durée des déformations sont conditionnées par la nature de l'armure à composition de tissu équivalente. Le facteur armure joue alors sur les harmoniques du système transitoire et impose une sorte de fréquence propre dans le comportement dynamique des tissus. Cependant, la durée du phénomène transitoire est d'environ 1s. Ceci explique que, lors d'une utilisation courante, nous ne pouvons pas apercevoir avec une grande précision le détail des phénomènes.
- une fois le phénomène transitoire terminé, tous les tissus tendent vers une position d'équilibre finale, traduisant l'annulation des actions et réactions.

IV-3-3-2 / Influence du fil sur le comportement dynamique des tissus

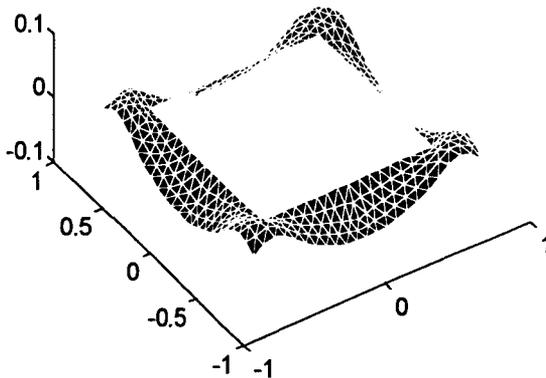
IV-3-3-2-1 / Tissu avec armure toile, chaîne en coton et trame en polyester:



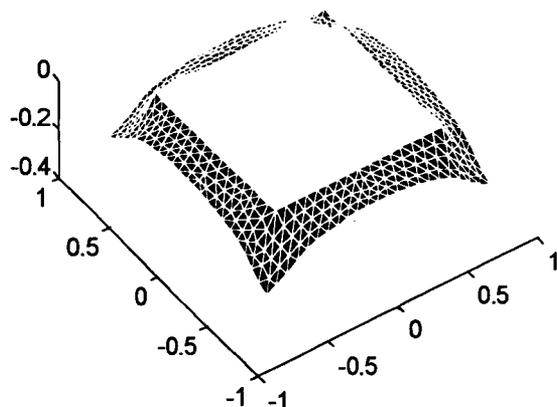
Time=0.3 Color: u Height: u



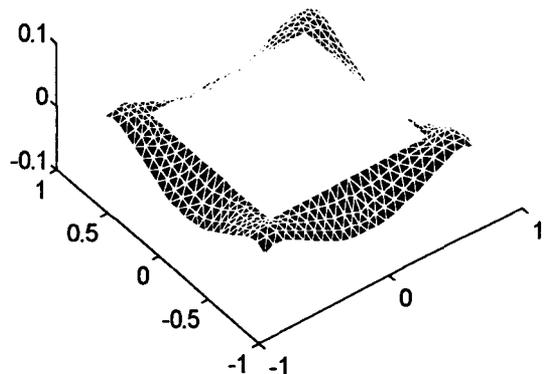
Time=0.4 Color: u Height: u



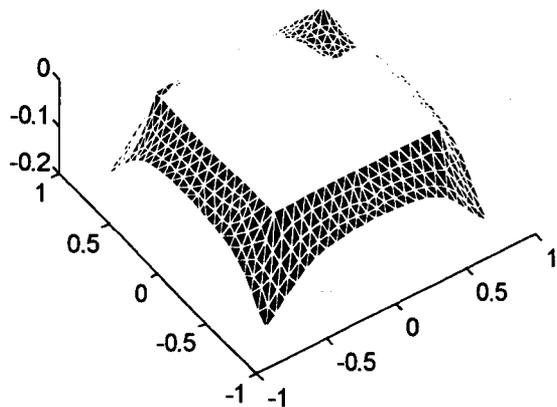
Time=0.5 Color: u Height: u



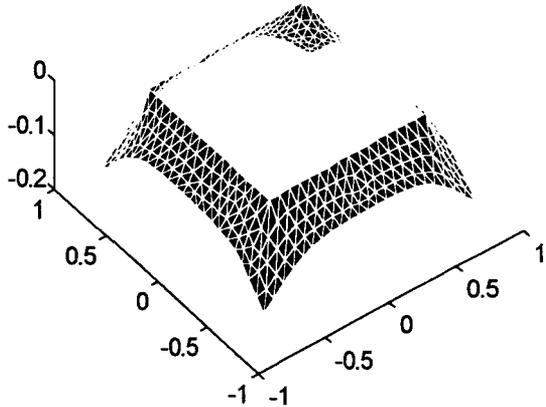
Time=1 Color: u Height: u



Time=3 Color: u Height: u

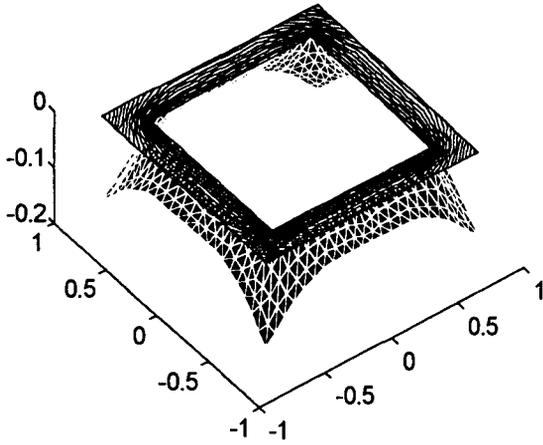


Time=6 Color: u Height: u

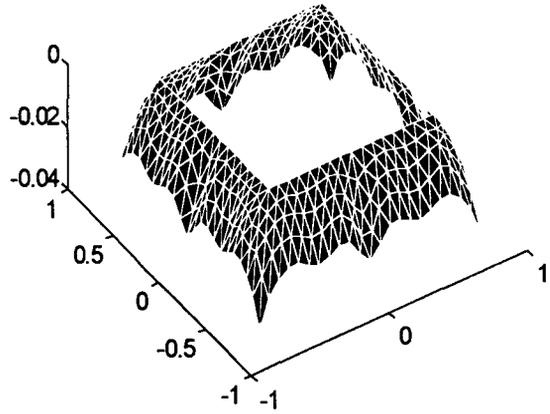


IV-3-3-2-2 / Tissu avec armure toile, chaîne en polyester et trame en coton:

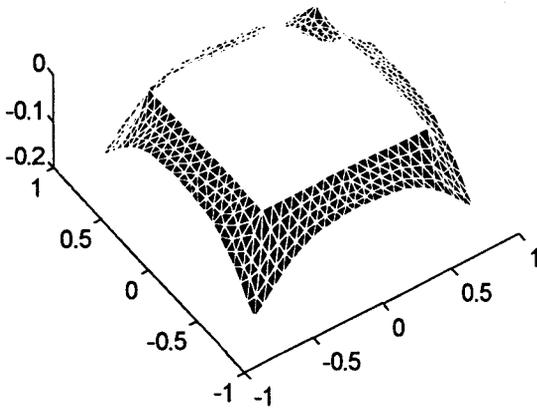
Time=0.1 Color: u Height: u



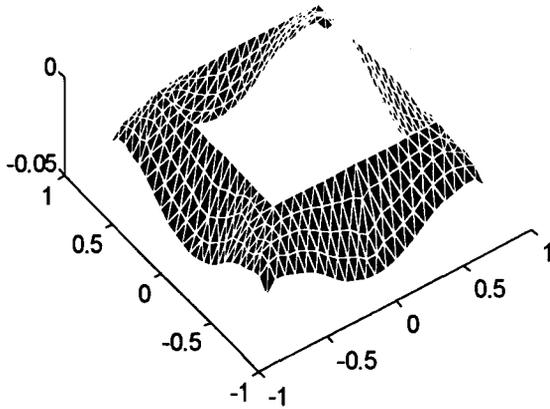
Time=0.2 Color: u Height: u



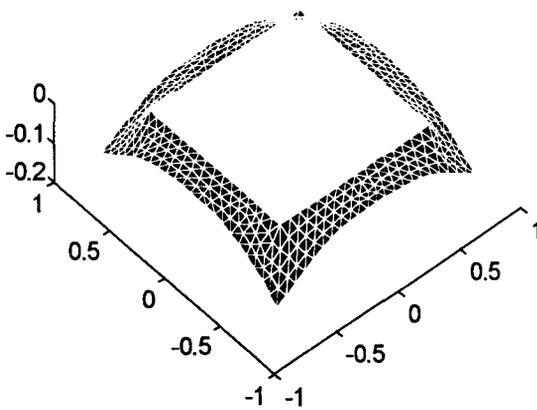
Time=0.3 Color: u Height: u



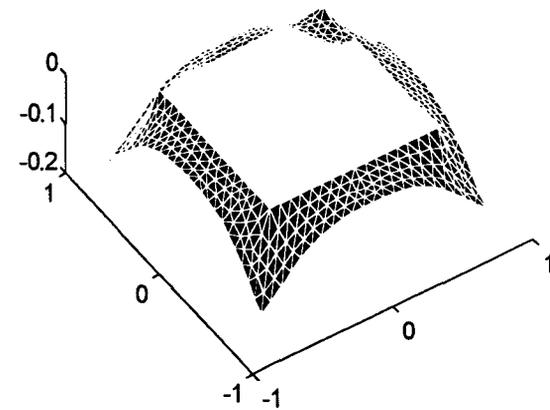
Time=0.4 Color: u Height: u



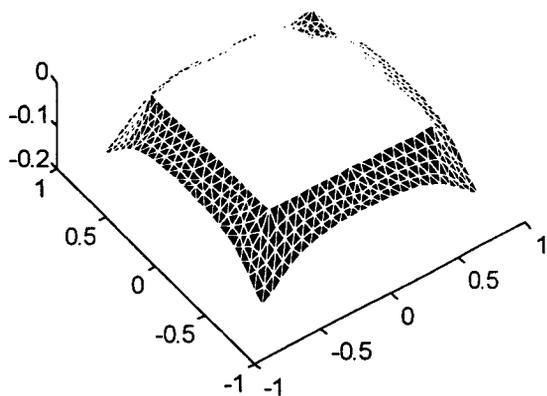
Time=0.5 Color: u Height: u



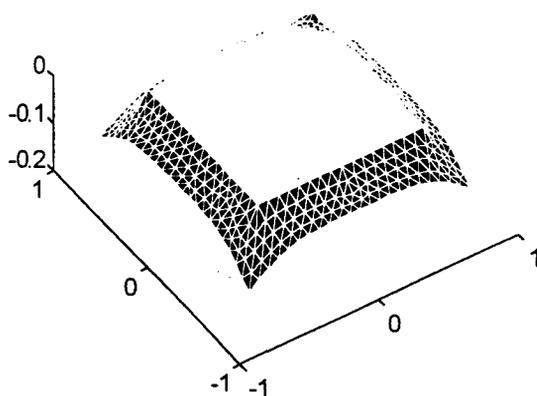
Time=1 Color: u Height: u



Time=3 Color: u Height: u

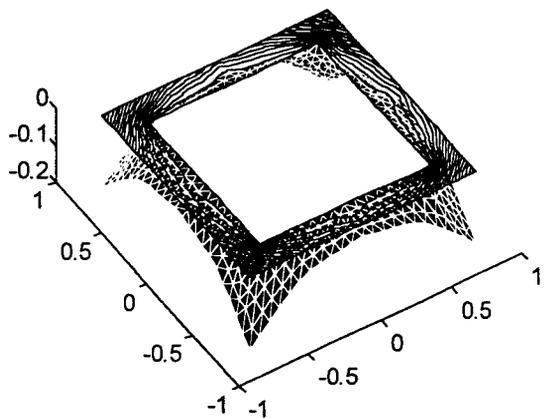


Time=6 Color: u Height: u

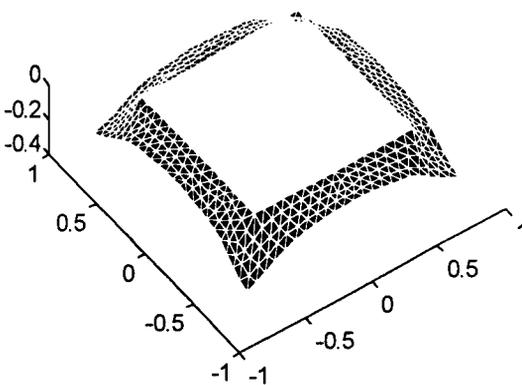


IV-3-3-2-3 / Tissu avec armure toile, chaîne en polyester et trame en polyester:

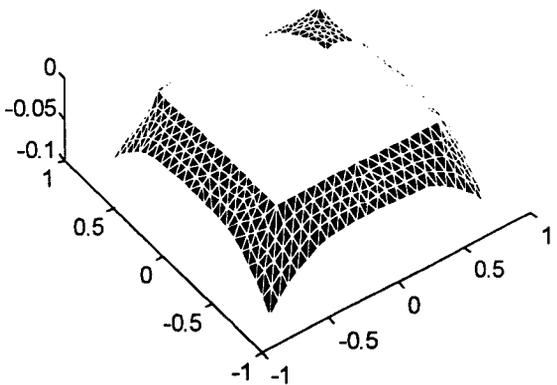
Time=0.1 Color: u Height: u



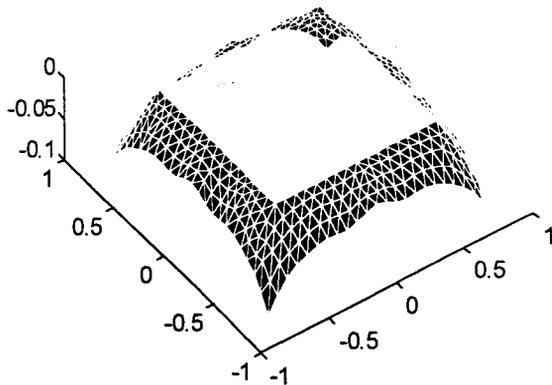
Time=0.2 Color: u Height: u

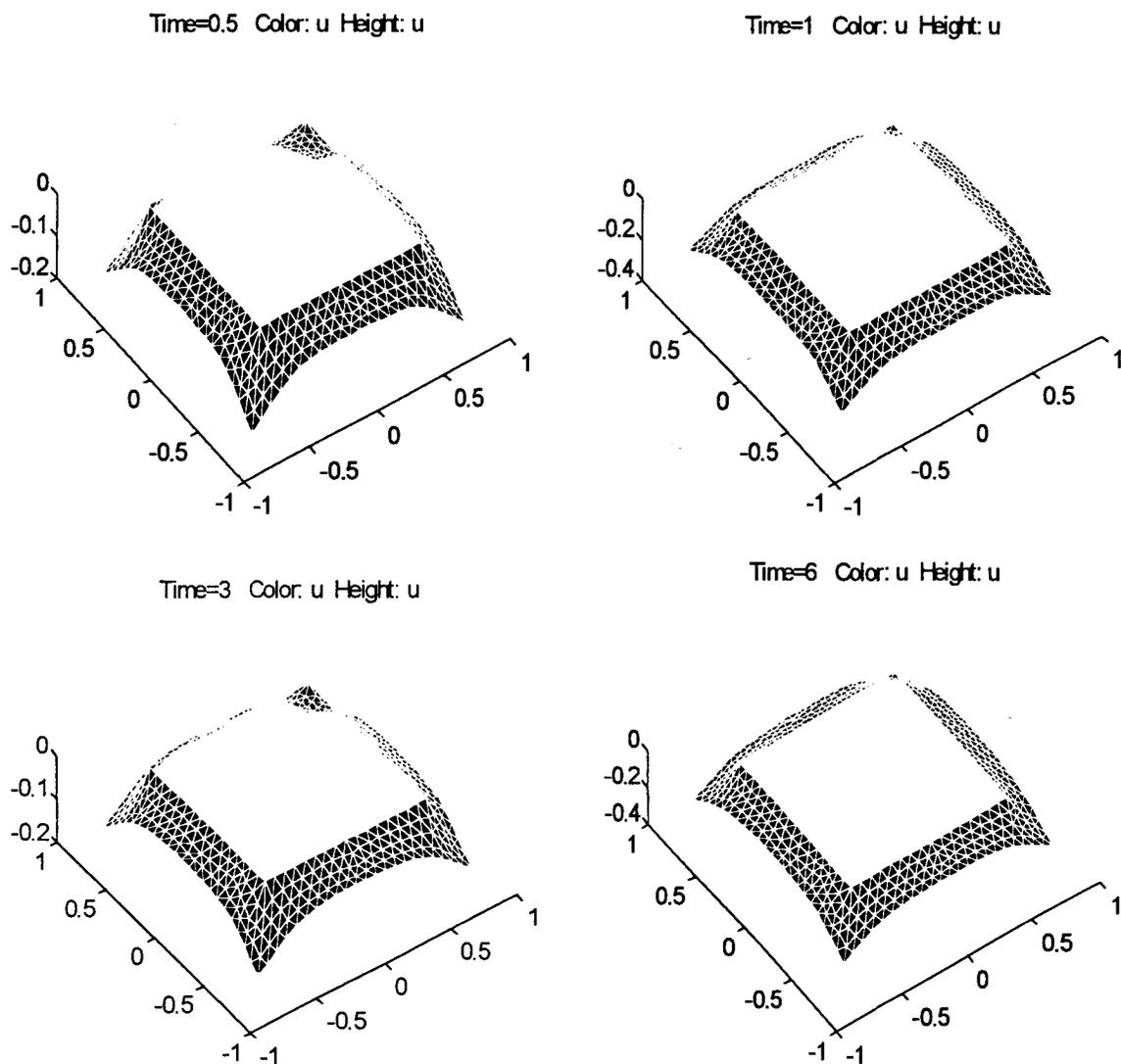


Time=0.3 Color: u Height: u



Time=0.4 Color: u Height: u





Nous constatons que :

- les évolutions dynamiques des tissus, avec une même armure, en tenant compte d'obstacles varient selon la nature du fil de chaîne et la nature du fil de trame.
- dans les différents tissus, le fil en coton s'oppose d'une manière significative aux déformations, ceci est vérifié en comparant les évolutions des tissus avec

une armure toile où il y a au moins un fil en coton avec le tissu d'armure toile où les fils de chaîne et de trame sont en polyester.

IV-4 / CONCLUSION :

Dans ce chapitre, nous avons présenté le principe de deux méthodes d'approximations qui sont : la méthode des différences finies et la méthode des éléments finis. Dans le cadre de ce travail nous avons choisi d'utiliser la deuxième méthode donnant le plus de précision. Une recherche d'outils de simulation, nous a conduit à utiliser le logiciel MATLAB avec son module de résolution des équations à dérivées partielles moyennant quelques modifications et substitutions. Ce qui a permis de résoudre et représenter le système d'équations différentielles mis au point au deuxième chapitre pour représenter les évolutions dynamiques des tissus.

A l'issue de cette présentation, nous avons procédé aux différentes simulations. Les résultats obtenus montrent que les tissus, en tenant compte d'obstacles ou non, sont assujettis à un phénomène transitoire court dans sa durée (moins d'1s) et faible dans son amplitude (environ 1 cm).

Dans le cas où les tissus sont en présence d'un obstacle, ils évoluent après la phase transitoire vers un état d'équilibre dynamique stable en l'absence de contraintes extérieures perturbantes.

D'après l'étude effectuée sur les différents tissus, nous constatons que la nature de l'armure et la composition des tissus ont une influence importante sur leur comportement dynamique. Ceci est vérifié par les écarts d'amplitude, de période et de durée des oscillations. Bien entendu, cela a une incidence sur la position finale du tissu en terme de drapé.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Lors de cette étude, nous avons essayé de contribuer à la modélisation et à la simulation du comportement dynamique des tissus textiles. Pour cela, nous avons :

☛ orienté notre recherche vers une étude bibliographique divisée en deux grands volets :

- le premier vise à comprendre la structure des tissus textiles pour connaître leurs propriétés physiques fondamentales. Dans cette partie, nous avons présenté quelques essais mécaniques élémentaires pratiqués sur les fils et les tissus et dont les résultats peuvent être en implication directe avec les déformations des tissus lors d'une évolution dynamique. Ensuite, nous avons présenté les principaux travaux relatifs à ce problème montrant la chronologie de recherche dans ce secteur. A la fin du premier volet, nous avons présenté les trois méthodes fondamentales permettant la recherche de formes. Il apparaît alors que la méthode idéale doit combiner les points forts des méthodes présentées.
- le deuxième volet est entièrement consacré à la modélisation du comportement dynamique des tissus textiles. Dans cette partie, nous avons essayé de comprendre les différents modèles présentés, afin de sélectionner ou d'améliorer ou d'adapter un modèle qui tient compte de tous les paramètres et qui décrit parfaitement les structures textiles d'un point de vue dynamique. A l'issue de cette étude, nous avons utilisé et adapté des notions de la théorie générale des modèles déformables présentée par Terzopoulos [TER 87] qui, a notre avis, tient compte de tous les facteurs dynamiques (inertie, frottement, forces extérieures).

☛ présenté les outils mathématiques nécessaires pour la compréhension du modèle retenu et adapté aux tissus textiles. Ces outils mathématiques découlent de la théorie de la géométrie différentielle et ont pour but de caractériser les énergies de déformations internes dans les structures textiles.

☛ identifié les paramètres et les coefficients mécaniques des tissus pour construire les matrices de pondération agissant d'une manière significative sur la structure géométrique des tissus, pour créer les déformations caractéristiques de cette matière souple. D'autre part, nous avons pris soin de placer nos points de fonctionnement dans la zone correspondant aux déformations élastiques de la matière textile.

☛ sélectionné un outil de calcul performant qui permet de simuler le comportement dynamique d'un tissu avec ou sans obstacle. Cette simulation a été obtenue en modifiant des modules de calcul du logiciel MATLAB et en développant d'autres modules, afin de tenir compte de tous les paramètres.

Les résultats obtenus, en comparaison avec la bibliographie actuelle, montrent que le modèle retenu dans cette étude est le modèle qui décrit le plus fidèlement le comportement dynamique des tissus textiles.

Cependant, ce travail présente quelques restrictions qu'il faut lever dans le futur, afin de tenir compte d'une utilisation courante dans le secteur de l'habillement. Pour cela :

☛ il est nécessaire de développer une base de données sur les tissus, en vue d'une caractérisation des coefficients mécaniques. Ceci permettrait de prédire la dynamique en terme de drapé d'un tissu, en choisissant le fil de chaîne, le fil de trame, l'armure et la réduction.

☞ il faut intégrer au modèle retenu d'autres types de forces extérieures, notamment aérodynamiques. De plus, il est fondamental de tenir compte des collisions dynamiques (mêmes douces) avec les obstacles susceptibles d'être en contact avec les tissus.

☞ il faut que l'obstacle, immobile dans notre étude, devienne mobile afin de transférer ce modèle sur des silhouettes de mannequins virtuels en mouvement.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABB 73** : G.M. ABBOTT, P. GROSBURG, G.A.V. LEAF ; The Elastic Resistance to Bending of Plain-Woven Fabrics ; Journal Textile Institute, P 346 - 362, N° 64, 1973.
- AFN 75** : Afnor recueil de normes Françaises, Textiles terminologie et méthodes d'essais, tome 1 et tome 2, 1975.
- AFN 88** : Afnor, recueil de normes Françaises, Textiles ; tome3 ; Fibres et Fils, Essais ; 1988.
- AMI 89** : J. AMIRBAYAT and J.W.S. HEARLE ; The Anatomy of Buckling of Textile Fabrics : Drape and Conformability ; Journal of Textile Institute, P 51 - 70, Vol. 80, N° 1, 1989.
- ASC 96** : J. ASCOUGH, H.E. BEZ and A.M. BRICIS; a Simple Beam Element, Large Displacement Model for the Finite Element Simulation of Cloth Drape; Journal of Textile Institute, P 152-165, Vol. 87, Part 1, N° 1, 1996.
- ASH 91** : M.F. ASHBY and D.R.H. JONES , Matériaux : 1. Propriétés et Applications, Editions Bordas, Paris, 1991.
- BAT 90-1** : J.L. BATOZ, G. DHATT; Modélisation des structures par éléments finis; Vol.1, Solides élastiques, Hermès, Paris 1990.
- BAT 90-2** : J.L BATOZ, G. DHATT; Modélisation des structures par éléments finis Vol.2, Poutres et plaques, Hermès, Paris 1990.
- BAT 92** : J.L BATOZ, G. DHATT; Modélisation des structures par éléments finis Vol.3, Coques, Hermès, Paris 1990.
- BEH 61** : B. BEHRE ; Mechanical Properties of Textile Fabrics (Part 1 : Shearing, Part 2 : Buckling, Part 3 : Result) ; Textile Research Journal, P 87, N°2, 1961.

- BEZ 86** : P. BEZIER ; Mathématique et CAO. Vol 4 : Courbes et Surfaces ; Editions Hermes ; Paris ; 1986.
- BOS 65** : R. BOSSUT; Mathématiques Modernisées : des études à l'industrie; éditions: Technique & Vulgarisation, Paris, 1965.
- BRE 94-1** : D.E. BREEN, D.H. HOUSE, M.J. WOZNY; a Practical-Based Model for Simulating the Draping Behavior of Woven Cloth ; Textile Research Journal, P 663-685, Vol 64, N° 11, 1994.
- BRE 94-2** : D.E. BREEN, D.H. HOUSE, M.J. WOZNY; Predicting the Drape of Woven Cloth Using Interacting Particules ; Computer Graphics Proceedings, (Proc. SIGGRAPH 94), P 365-372, Vol. 28, 1994.
- CHE 95** : B. CHEN and M. GOVRENDARAJ ; A Physically Based Model of Fabric Drape Using Flexible Shell Theory , Textile Research Journal, P 324 - 330, Vol. 65, N°6, 1995.
- CHE 96** : B. CHEN and M. GOVINDARAJ ; a Parametric Study of Fabric Drape ; Textile Research Journal, P 17-24, Vol. 66, N° 1, 1996.
- CHO 68** : Y. CHOQUET-BRUHAT; Géométrie Différentielle et Systèmes Extérieurs; Editions : DUNOD, Paris, 1968.
- COU 86** : J.L. COULOMB, J.C. SABONNARDIERE; Méthodes des éléments finis; traité de nouvelles technologies, Paris, 1986.
- CUI 65** : C.E. CUISICK ; The Dependence of Fabrics Drape on Bending and Shear Stiffness ; Journal Textile Institute, P 596, N°56, 1965.
- DRO 93** : B. DROUIN, J-M. SENICOURT, F. LAVASTE et G. FEZANS; De la mécanique vibratoire classique à la méthode des éléments finis; Vol. 1; Afnor 1993.
- EUV 94** : D. EUVRAD; Résolution numérique des équations aux dérivées partielles; de la physique, de la mécanique et des sciences de l'ingénieur; Différences finies, éléments finis, problèmes en domaine non borné, 3^{ème} édition; Masson, Paris, 1994.

- GAR 85** : Y. GARDAN ; Mathématiques et CAO. Vol 1 : Méthodes de basse ; Editions Hermes ; Paris ; 1985.
- GHI 96** : A. GHITH, P. BRUNIAUX, V. KONCAR and C. VASSEUR, Modelisation and Simulation of a Yarn Dynamics, IEEE-IMACS, CESA'96, P 178-183, July 1996, Lille, France.
- GHI 97-1** : A. GHITH, P. BRUNIAUX, V. KONCAR and C. VASSEUR, Modeling and Simulation of Falling Yarn with one End Fixed, Textile Research Journal, P 321-324, Vol 67, N°5, May 1997.
- GHI 97-2** : A. GHITH, P. BRUNIAUX et C. VASSEUR, Modélisation du Drapé d'un Tissu Application au Secteur Textile-Habillemnet, Colloque ITAA-Université de la Mode, Juillet 1997, Lyon, France.
- GHI 97-3** : A. GHITH, P. BRUNIAUX and C. VASSEUR, Modelling a Fabric Dynamics, XI-th Romanian Conference of Textiles and Leathership, October 1997, Iasi, Romania.
- GHI 98** : A. GHITH, P. BRUNIAUX and C. VASSEUR, Deformable Model Theory applied to Fabrics, IEEE-IMACS, CESA'98, April 1998, Nabeul-Hammamet, Tunisie (sous presse).
- GOL 80** : H. Golddtein; Classical mechanics, 2nd Edition, Adison-Wesley, Reading, MA 1980.
- GRO 66** : P. GROSBURG, B.J. PARK ; The Mechanical Properties of Woven Fabrics (Part 5 : The Initial Modulus and the Frictional Restraint in Shearing of Plain Weave Fabrics) ; Textile Research Journal, P 420, N°5, 1966.
- HEA 69** : J.W.HEARLE, P.GROSBURG, S.BACKER ; Structural Mechanics of Fibres, Yarns and Fabrics, chapter 12, vol1, 1969.
- JON 77-1** : S. De Jong, R. Postle ; An Introduction to the Study of Fabric Mechanics Using Energy Methods ; Journal Textile Institute ; P 376 - 379 ; N° 15 ; 1977.

- JON 77-2** : S. De Jong, R. Postle ; An Energy Analysis of woven Fabric Mechanics by Means of Optimal-Control Theory ; Journal Textile Institute ; P 350 - 369 ; N° 68 ; 1977.
- KAG 88** : M.KAGEYAMA, S.KAWABATA and M. NIWA ; The Validity of a Linearizing Method for Predicting the Biaxial-extension Properties of Fabrics ; Journal Textile Institute, P 543, N°4 ,1988.
- KAW 73-1** : S. KAWABATA, M. NIWA, H. KWAI ; The Finite-deformation Theory of Plain-Weave (Part 1 : the Biaxial-deformation theory) ; Journal Textile Institute, P 21-46, N°64, 1973.
- KAW 73-2** : S. KAWABATA, M. NIWA, H. KWAI ; The Finite-deformation Theory of Plain-Weave (Part 1 : the Uniaxial-deformation theory) ; Journal Textile Institute, P 47-61, N°64, 1973.
- KAW 73-3** : S. KAWABATA, M. NIWA, H. KWAI ; The Finite-deformation Theory of Plain-Weave (Part 3 : the Shear-deformation theory) ; Journal Textile Institute, P 62-85, N°2, 1973.
- KAW 80** : S. KAWABATA ; The Standardization and Analyse of Hand Evaluation ; The Textile Machinery Society of Japan ; Osaka ;1980.
- KUN 90** : T.L. KUNII and H. GOTODA; Modeling and Animation of Garment Wrinkle Formation Processes; Workshop on Animation and Simulation, Geneva, Switzerland, 1990.
- LEA 64** : G.A.V. LEAF ; Journal Textile Institute ; P 431, N° 55, 1964.
- LEL 63** : J. LELONG-FERRAND; Géométrie différentielle : Tenseurs - Formes Différentielles; Edition : Masson et Cie, Paris, 1963.
- LIN 60** : J. LINDBERG, R. SVENSON ; Wool Fabrics as garment construction materials, Journal Textile Institute, P 1475, N° 51, 1960.
- MOD 85** : P.L. George; Problèmes Evolutifs, Brochure n°63, MODULEF, I.N.R.I.A., 1985.

- MUR 73** : R. SPIEGEL MURRAY; Analyse vectorielle, cours et problèmes, Ediscience S.A., Paris, 1973.
- OLO 64** : B. OLOFSSON ; Journal Textile Institute ; P 541, N° 55, 1964.
- PEI 30** : F.T. PEIRCE ; The Handle of cloth as a measurable quality ; Journal Textile Institute, P 377, N°21, 1930.
- PHA 69** : A. LICHNEROWICZ; Introduction à la Géométrie des Variétés Différentielles; Editions: DUNOD, Paris, 1969.
- STR 61** : D. J. STRUIK; Lectures on Classical Differential Geometry; 2nd Edition, Dover Publications INC., New York, 1961.
- THO 79** : J. A. THOPE; Elementary Topics in Differential Geometry; Editions: Springer-Verlag, New York, 1979.
- TER 87** : D. TERZOPOULOS, J. PLATT, A. BARR, K. FLEISHER; Elastically Deformable Models ; Computer Graphics (Proc. SIGGRAPH), P 205-214, Vol. 21, N° 4, 1987.
- TER 88** : D. TERZOPOULOS and K. FLEISHER ; Deformable Models ; The Visual Computer, P 306-331, Vol. 4, 1988.
- TSO 91** : N. TSOPELAS; Animating the Crumbling Behaviour of Garments; Proc. Eurographics Workshop on animation and Simulation, P 11-23, Vienne, Septembre 1991.
- WEI 89** : M. WEI ; The theory of the cantilever Stiffness Test, Journal Textile Institute, P 80, N°1, 1989.
- WEI 86** : J. WEIL; The Synthesis of Cloth Objects; Computer Graphics Proceedings (Proc SIGGRAPH 86); P 49-54, Vol 20, N° 4, 1986.
- YUE 92** : W. YUEMING ; Evaluation des caractéristiques physiques des étoffes par méthodes classiques et K.E.S. : Etude de corrélations. Thèse de l'Université de haute Alsace ; 1992.
- ZEI 73** : O.C. ZIENKIEWICZ; La méthodes des éléments finis appliquée à l'art de l'ingénieur; Ediscience, Paris, 1973.

ZEI 73 : O.C. ZIENKIEWICZ; The finite element method; 3rd edition; Mc Graw-Hill, 1977.

GLOSSAIRE

GLOSSAIRE

- Anisotrope** : caractéristique physique d'un matériau dont les propriétés varient selon la direction considérée.
- Arrachement** : essai mécanique pratiqué sur des tissus pour mesurer la résistance à détacher et arracher un ou plusieurs fils.
- Compression** : essai mécanique pratiqué sur des tissus pour mesurer leur pouvoir à se comprimer.
- Confection** : action d'assemblage de pièces de tissus pour fabriquer un vêtement prêt-à-porter.
- Contexture** : dans le fil, la contexture désigne la manière dont les fibres composant celui-ci sont agencés pour donner la cohésion et le caractère continu du fil; dans un tissu, la notion de contexture rejoint celle d'armure pour désigner la manière de croisement des fils de chaîne et de trame.
- Contraintes internes** : pressions, actions et réactions présentes dans une structure avec ou sans l'action d'une grandeur physique extérieure à celle-ci.
- Déchirement** : essai mécanique pratiqué sur des tissus pour évaluer la résistance à déchirer avec une amorce ou non.
- Double courbure** : une structure textile admet une double courbure si elle présente au moins deux courbure successives de rayons différent.
- Eclatement** : essai mécanique pratiqué sur des tissus pour mesurer le pouvoir de résistance d'une pièce de tissu soumise à une pression spécifiée.
- Extensibilité** : c'est le pouvoir d'allongement, d'une pièce de tissu, pour un retour à la configuration initiale dès que les forces provoquant cette extension cessent d'agir.
- Flambage** : dans un contexte textile, ce terme signifie les courbes et les formes rondes prises par une pièce de tissu.
- Flottés** : ce terme textile signifie le nombre de fils de trame considérés comme laissés dans l'opération de tissage.
- Froissement** : action de faire des plis sur une pièce de tissu.

- Hystérésis** : c'est le cycle obtenu par une structure lorsqu'on lui applique une action extérieure pour modifier son état et on annule cette action pour qu'elle retrouve son état initial.
- Isotrope** : propriété physique d'un matériau homogène présentant les mêmes propriétés physiques dans toutes les directions.
- Orthotrope** : une structure est considérée comme orthotrope si elle présente trois plans de symétrie orthogonaux deux-à-deux.
- Ourdissage** : c'est la préparation du fil de chaîne avant de le monter sur le métier à tisser.
- Perméabilité** : propriété des corps se laissant traversés par un liquide, en particulier l'eau.
- Plissé** : pièce de tissu comportant des plis.
- Points de branchement** : dans le contexte de cette étude, ce terme signifie les points où plis prenant naissance en ces points pour se diviser en d'autres plis.
- Relaxation** : une structure relaxée est une structure mise au repos et à laquelle n'est appliquée aucune contrainte ou force extérieure.
- Simple courbure** : une structure textile admet une simple courbure si elle ne présente qu'un seul rayon de courbure.

ANNEXES

DIFFERENTES OPERATIONS DE TISSAGE

Pour éviter des réglages différents sur le métier à tisser, nous avons choisi de prendre 1.60 m la largeur de tissu. C'est la largeur qui se fait habituellement sur le métier et de prendre une longueur de 5 m par tissu pour assurer un nombre d'éprouvettes suffisant pour faire les différents essais mécaniques nécessaires pour ce travail. Pour chaque type de tissu nous avons alors réalisé une surface voisine de 8 m².

I / Tissabilité :

L'entrecroisement des fils de chaîne et de trame dans un tissu donne l'armure. Suivant l'armure à réaliser, la quantité de fils et leur grosseur, il est plus ou moins facile de réaliser le tissu. Donc, il est important de connaître le facteur de couverture.

Le facteur de couverture en chaîne (resp. en trame) est égal au diamètre des fils de chaîne (resp. en trame) en mm multiplié par le nombre de fils de chaîne (resp. de trame) dans 100 mm.

Le facteur de couverture total est calculé par la formule suivante :

$$F_c = \frac{(a - b) * c + b * d}{a * d}$$

Avec :

a : distance des fils de chaîne (mm), b : diamètre des fils de chaîne (mm).

c : diamètre des fils de trame (mm), d : distance des fils de trame (mm).

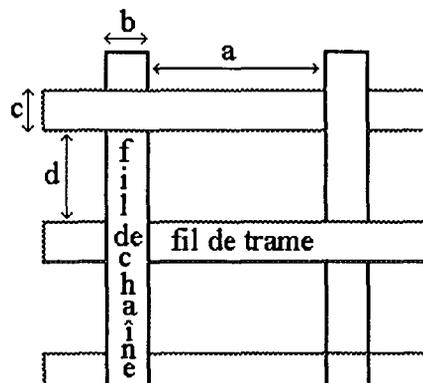


Figure A-1 : Schéma du facteur de couverture.

Application numérique :

$a = 10/R_{ctm} = 10/18 = 0.55$; R_{ctm} : Réduction chaîne tombée métier.

$b = 0.29$; b : diamètre du fil de chaîne.

$c = 0.29$; c : diamètre du fil de trame.

$d = 10/R_{ttm} = 10/18 = 0.55$; R_{ttm} : Réduction trame tombée métier.

Ce qui donne un facteur de couverture, $F_c = 77.65\%$.

La limite de tissabilité dépend du type de l'armure à réaliser, des réductions et du type de fil employé.

- en fonction du type de l'armure, nous multiplions le facteur de couverture par un coefficient k_1 .

* pour la toile : $k_1=1$.

* pour une armure 3/1 : $k_1=0.75$.

- en fonction du type de fils employés, on multiplie le facteur de couverture par un coefficient k_2 .

* pour un fil coton retors : $k_2=0.99$ à 1.02 .

* pour un fil en polyester : $k_2=0.72$.

Le seuil au-delà duquel le tissage devient difficile est de 140%. Avec les armures et les fils choisis, nous sommes bien en dessous de ce seuil.

II- / Préparation de la chaîne

Deux chaînes différentes sont réalisées, la première est en coton et la seconde est en polyester. Pour assurer 6 tissus différents de 5 mètres chacun avec la même chaîne et en tenant compte des différentes pertes, la longueur de la chaîne préparée est d'environ 40 mètres.

Pour avoir une réduction chaîne tissu tombé de métier de 18 fils/cm, il faut prévoir une réduction chaîne sur ensouple inférieure. Avec un embuvage (ou retrait) d'environ 6.5%, nous obtenons une réduction sur métier de 16.83 fils/cm.

$$R_{ctm} = R_{cttm} * \frac{(100 - 6.5)}{100}.$$

Où :

R_{ctm} : Réduction chaîne sur métier.

R_{cttm} : Réduction chaîne tombée de métier.

II-1 / : Nombre de fils de chaîne :

La largeur de l'ensouple du métier à tisser est de 167 cm, pour avoir le nombre de fil de chaîne à prévoir, il faut multiplier cette largeur par la réduction sur métier ce qui donne : $N_f = 167 * 16.83 = 2811$ fils. N_f : nombre de fils de chaîne.

II-2 / Différentes Opérations :

a / L'ourdissage :

Cette opération a pour but de préparer la chaîne en disposant parallèlement les fils, en longueur et en tension constantes.

b / Angle et embrochage du peigne de mise :

Ce réglage sert à définir la largeur qu'occupe une section de fils sur un tour du tambour, le peigne est constitué de deux bras mobiles, l'angle de leur écartement fixe la largeur en fonction de la réduction du peigne et de l'embrochage.

La relation qui donne l'angle d'écartement est la suivante :

$$\cos \Phi = \text{Réduction Peigne} * \text{embrochage} / \text{Réduction chaîne sur métier},$$

avec :

- réduction Peigne = 6 broches/cm,

- embrochage : nombre de fils par broche.

Soit $x = l'$ embrochage; nous avons alors :

$$\cos \Phi = 6 * x / 16.83 .$$

Pour	$x = 2$	$\Phi = 44.5^\circ$.
	$x = 3$	Φ n'existe pas.
	$x = 2.5$	$\Phi = 26.96^\circ$.

L'angle d'écartement des deux bras mobiles du peigne doit être compris entre 0° et 30° . (0° : pas d'écart - 30° : trop de frottement sur les dents du peigne). De ce fait, un embrochage de 2.5 fils par broche donne un angle correct. Pour avoir cet embrochage, nous plaçons deux fils dans une dent puis trois fils dans la suivante et ainsi de suite.

c / Déplacement du peigne de mise :

Lors de l'ourdissage, le peigne de mise se déplace de façon à conserver les fils parallèles entre eux et d'éviter un enchevêtrement. Ce déplacement est fonction de la densité de la matière (voluminosité), de la réduction chaîne, du numéro métrique du fil, et d'un coefficient machine (conicité).

La relation qui donne le déplacement du peigne de mise est la suivante :

$$Dpm = \frac{R_{ctm} * Coef_{machine}}{N_{métrique} * Densité} .$$

Application numérique :

$R_{ctm} = 16.86$ fils/cm; $Coef_{machine} = 1.18$. ; $N_{métrique} = 20$; $Densité = 0.75$ g/cm³.

Dans ces conditions, le déplacement du peigne de mise est :

$$Dpm = 1.326 \text{ cm.}$$

d / Le rentrage

Cette opération consiste à passer tous les fils de chaîne dans les lisses des différents cadres formant le harnais suivant un ordre déterminé au préalable. Le mouvement

vertical des cadres provoque lors de l'opération de tissage l'évolution des fils de chaîne en terme de "levés ou baissés". Chaque cadre comporte un certain nombre de lisses au travers desquels les fils sont introduits individuellement, il y a autant de lisse que de fils.

e / Le nouage automatique

Lorsqu'on souhaite réaliser deux chaînes identiques (même nombre de fils, même réduction), nous pouvons effectuer un nouage automatique. Ceci évite de recommencer les opérations de rentrage et d'embrochage qui sont très longues à faire.

Cette opération consiste à prendre un fil de chaîne de la nouvelle ensouple et de le nouer avec le fil correspondant de l'ancienne ensouple. Pour cela, nous plaçons les fils de chaîne de l'ancienne ensouple sur le chariot du noueur en s'assurant qu'ils restent bien parallèles entre eux, puis nous plaçons les fils de la nouvelle ensouple sur le chariot. Le noueur se déplace ensuite sur le chariot, repère les fils à nouer et effectue le nouage.

Lorsque tous les fils ont été noués, il suffit de faire avancer la chaîne sur le métier, sans tisser. Les fils passent donc tous en même temps dans leur lice et dans leur dent du peigne, nous récupérons ainsi la nouvelle chaîne sur le métier.

III / Formation du tissu sur métier

III-1 / Caractéristiques du métier :

Le métier utilisé est un métier à lances rigides bilatérales, il a une vitesse de 250 coups / mn, une largeur maximale de 1.80 m. Les peignes disponibles sont : 500-550-600-650-700-850 broches / m. Sur ce métier sont montés 10 lames de fond et 2 lames de lisière, un ensouple et 6 sélecteurs de trame.

III-2 / Montage de la chaîne sur le métier

Nous fixons d'abord l'ensouple sur le métier, ensuite nous plaçons les lames une à une à leur place sans oublier les deux premières lames de lisière. nous terminons le montage par la fixation du peigne sur le battant en le positionnant correctement par rapport au temple fixe (celui de droite). Enfin, nous assurons une tension constante des fils de chaîne.

III-3 / Les lisières

Pour éviter un effilochage sur les bords du tissu, nous avons réalisé des lisières de part et d'autre du tissu. Pour cela nous avons utilisé 12 bobines supplémentaires de fil de chaque côté du tissu. 6 fils constituent la fausse lisière et les 6 autres font partie du tissu. Ces fils sont rentrés sur les deux premières lames et évoluent en toile. La fausse lisière est enlevée du tissu grâce à un couteau judicieusement placé.

III-4 / Insertion de la trame

Cette opération se fait en 3 étapes :

- prise de la trame : Au point mort avant, on a la présentation du fil de trame par le sélecteur. La fermeture du ciseau se fait sur la trame sélectionnée. (La trame est coupée à gauche du ciseau puis maintenue par la partie droite). Les deux lances sont à l'extérieur du tissu. La lance d'entrée pince le fil de trame puis pénètre dans la foule.
- échange de la trame : Les 2 lances travaillent simultanément et se rejoignent au centre du métier. La lance de sortie pénètre dans la lance d'entrée en dépassant le fil de trame. Dans son retour, elle saisit le fil de trame et le dégage de la lance d'entrée par glissement.
- lâchage de la trame : Les 2 lances sortent de la foule qui se ferme pour éviter le retour de la trame. La lance de sortie vient se placer face au galet d'ouverture. Le fil de trame est alors libéré.

AVANT-PROPOS

Pour la détermination de la force de rupture et de l'allongement de rupture par traction des tissus, le principe d'une durée constante d'essai de rupture a été retenu par l'ISO ; la norme française NF G 07-119, fondée sur ce principe, est en harmonie avec les études ISO dans ce domaine. Cependant pour la réception courante des tissus dans les marchés ou contrats divers, il est nécessaire de disposer d'une méthode simplifiée, de mise en œuvre plus rapide.

La présente norme décrit une telle méthode.

Il est rappelé que les résultats d'un essai doivent, pour avoir une valeur précise, porter sur des éprouvettes prélevées sur un échantillon aussi représentatif que possible de la livraison ou du lot. L'échantillonnage, n'étant pas du domaine de la présente norme, doit faire l'objet d'un accord préalable entre les parties intéressées à cet essai.

En principe, l'échantillon reçu au laboratoire devrait avoir une longueur de 50 cm, être pris sur toute la laize (), lisières (*) comprises et être présenté sur rouleau de carton ; il ne doit être ni froissé, ni plié et ne doit pas présenter de défauts apparents (**).*

Les résultats obtenus sur un petit échantillon de laboratoire dont les conditions de prélèvement ne sont pas connues, ne peuvent pas être considérés comme représentatifs de la livraison ou du lot.

1. OBJET ET DOMAINE D'APPLICATION

La présente norme décrit une méthode simplifiée de détermination de la force de rupture et de l'allongement de rupture par traction d'un tissu (**).

L'essai peut être effectué, soit sur des éprouvettes conditionnées en atmosphère normale, soit sur des éprouvettes mouillées.

(*) Terme défini par la norme NF G 00-012 « Terminologie relative aux tissus ».

(**) Voir norme NF G 00-016 « Vocabulaire relatif aux défauts des tissus ».

(***) Pour les supports textiles revêtus d'élastomères ou de matières plastiques, voir la norme NF G 37-103.

2. DEFINITIONS (*)

2.1 FORCE DE RUPTURE

Force maximale que peut supporter l'éprouvette dans un essai de traction conduit jusqu'à la rupture.

2.2 ALLONGEMENT DE RUPTURE

Allongement correspondant au moment où on atteint la force de rupture. Sans autre précision, l'allongement de rupture désigne l'« allongement relatif » de rupture, exprimé en pour cent de la longueur initiale.

2.3 LONGUEUR INITIALE D'ESSAI DE L'ÉPROUVETTE

Longueur entre pinces, en début d'essai, d'une éprouvette dans les conditions spécifiées (voir paragraphe 6.1 Dimensions).

3. PRINCIPE

L'éprouvette est soumise à la traction jusqu'à rupture, au moyen d'un appareil d'essai approprié (dynamomètre), qui indique la force de traction exercée et l'allongement de l'éprouvette.

L'essai est effectué avec une vitesse de déplacement de la pince mobile constante (100 mm/mn).

4. APPAREILLAGE

4.1 Appareil d'essai de traction comprenant :

- une paire de pinces pour tenir l'éprouvette par chacune de ses extrémités, (tout glissement, ainsi que tout cisaillement au niveau des pinces doivent être évités),
- un moteur et des mécanismes pour exercer la force de traction sur l'éprouvette et lui donner l'allongement,
- un mécanisme pour indiquer ou enregistrer d'une manière continue, la force appliquée à l'éprouvette et l'allongement qui en résulte.

La vitesse de déplacement de la pince mobile doit être constante et égale à 100 mm/mn \pm 10 mm/mn (millimètres par minute).

L'appareil d'essai doit être pourvu d'un dispositif indicateur de forces à plusieurs échelles, de telle sorte que la rupture de n'importe quelle éprouvette de tissu puisse être obtenue en utilisant une force comprise entre 85 % et 15 % du maximum de l'échelle utilisée.

La forme des mâchoires peut varier avec la nature du tissu à essayer. Elles doivent permettre la fixation des éprouvettes sans glissement possible. Quel que soit le type des mâchoires, elles doivent être réalisées de telle façon que moins de 25 % des éprouvettes se brisent à une distance inférieure à 10 mm des mâchoires.

Précision

L'erreur maximale sur la force indiquée ou enregistrée ne doit, pour aucune valeur de la zone utilisée de l'échelle, être supérieure à 2 % de la force vraie correspondante. Avant d'employer l'appareil, vérifier la précision de l'indication des forces exercées en faisant un contrôle, par exemple au moyen d'étalons de valeurs appropriées (**).

L'erreur admissible sur la longueur initiale entre pinces ne doit pas excéder 1 mm.

4.2 Installations de conditionnement permettant de réaliser, dans une enceinte, le conditionnement en atmosphère normale d'essais (voir chapitre 5).

4.3 Appareillage et réactifs pour essai au mouillé :

- récipients de dimensions suffisantes pour immerger à plat les éprouvettes dans l'eau,
- eau distillée ou déionisée pour le mouillage des éprouvettes,
- agent de surface non-ionique (*), s'il y a lieu de mouiller complètement des tissus hydrophobes.

5. CONDITIONNEMENT

Laisser séjourner l'échantillon vingt-quatre heures, suspendu de manière que l'air ait librement accès sur les deux faces, dans une atmosphère dont l'humidité relative est de 65 % \pm 2 % et la température de 20 °C \pm 2 °C (**). (Cette opération est inutile pour l'essai au mouillé).

6. ÉPROUVETTES

6.1 DIMENSIONS

- largeur : 50 mm (obtenue par effilochage ou découpage),
- longueur suffisante pour que la distance initiale entre pinces (voir paragraphe 2.3) soit de 200 mm.

6.2 NOMBRE MINIMAL

- 5 éprouvettes pour l'essai en chaîne,
- 5 éprouvettes pour l'essai en trame.

6.3 PRELEVEMENT

Le prélèvement des éprouvettes pour l'essai en atmosphère normale doit être fait dans cette même atmosphère (ceci n'est pas nécessaire pour l'essai effectué seulement au mouillé).

Les éprouvettes ne doivent pas être prélevées à moins de 15 cm des lisières ni aux endroits froissés, chiffonnés, pliés ou déformés.

Les emplacements des prélèvements des éprouvettes en chaîne doivent être répartis sur toute la largeur du tissu de façon que deux éprouvettes ne contiennent pas les mêmes fils de chaîne.

De même les emplacements des prélèvements des éprouvettes en trame doivent être répartis dans la longueur de l'échantillon de façon que deux éprouvettes ne contiennent pas les mêmes duites (cependant il faut remarquer que pour les éprouvettes en trame, on ne peut, en général, pas éviter d'avoir dans les cinq éprouvettes le même fil de trame provenant de la même canette).

Si le tissu peut être effiloché, les éprouvettes brutes seront découpées droit fil avec une largeur de 60 mm environ, les éprouvettes finies à la largeur de 50 mm seront obtenues en effilochant de façon égale sur chacun des deux grands côtés de l'éprouvette. L'éprouvette finie présente ainsi de chaque côté une frange d'environ 5 mm : la largeur de cette frange doit être suffisante pour qu'aucun des fils longitudinaux ne puisse se détisser de l'éprouvette pendant l'essai ; pour les tissus ayant un tissage très lâche, il peut être nécessaire de prendre une largeur d'éprouvette brute de 70 mm de façon à laisser une frange de 10 mm environ de chaque côté.

(*) D'autres définitions relatives à l'essai de traction sont données dans la norme NF G 07-119.

(**) Voir norme NF A 03-501 « Vérification des machines de traction statique ».

(*) Suivant la norme NF T 73 000 partie II, un agent de surface non-ionique est un agent de surface ne donnant pas naissance à des ions en solution aqueuse. La solubilité dans l'eau des agents de surface non-ionique est due à la présence dans leurs molécules de groupements fonctionnels ayant une forte affinité pour l'eau.

(**) Atmosphère définie par la norme NF G 06 003.

Pour les tissus cardés, foulés, apprêtés, sur lesquels l'effilochage n'est pas possible, les éprouvettes doivent être découpées droit fil à la largeur finie de 50 mm. Ne jamais déchirer.

6.4 EPROUVETTES POUR ESSAI AU MOUILLE

Pour le mouillage, utiliser de l'eau distillée ou déionisée à une température comprise entre 17 °C et 30 °C.

Poser l'éprouvette, aux dimensions indiquées en 6.1, sur la surface de l'eau jusqu'à ce qu'elle enfonce sous son propre poids.

On peut aussi immerger l'éprouvette dans l'eau pendant au moins une heure.

Lorsqu'il est nécessaire de mouiller complètement des éprouvettes, qui habituellement résistent au mouillage, remplacer l'eau pure par une solution contenant au plus 1 g par litre d'un agent de mouillage non-ionique. mais dans ce cas les éprouvettes doivent être, après mouillage, soigneusement rincées dans l'eau distillée ou déionisée.

Si le temps de mouillage complet n'est pas connu, laisser séjourner les éprouvettes pendant 24 heures dans cette solution.

7. MODE OPÉRATOIRE

7.1 ESSAI SUR EPROUVETTES CONDITIONNEES EN ATMOSPHERE NORMALE

Opérer en atmosphère normale d'essai des textiles.

Amener la pince de traction à une distance de l'autre pince égale à la longueur initiale d'essai (200 mm).

Vérifier que les axes des pinces sont correctement alignés et que les bords des pinces sont parallèles de manière que la force appliquée à l'éprouvette ne produise aucune déviation angulaire des pinces. Vérifier que pour chaque pince, le serrage de l'éprouvette entre mâchoires s'effectue régulièrement et également sur toute la largeur (*).

Prendre une éprouvette aux dimensions finies, (voir chapitre 6) et fixer l'une des extrémités dans une des pinces et l'autre extrémités dans l'autre pince. S'assurer que l'éprouvette est bien centrée dans la pince, c'est-à-dire que le milieu de la largeur de l'éprouvette est au milieu du bord de la pince : serrer la pince.

Tracer un trait sur toute la largeur de l'éprouvette au ras de chaque pince. Ce marquage permet de contrôler s'il y a un glissement au cours de l'essai : on constate alors que le trait marqué s'écarte du bord de la pince.

Opérer la traction jusqu'à la rupture.

Si le trait marqué s'écarte du bord de la pince vers une extrémité de l'arête de la pince et non vers l'autre extrémité, cela indique que le serrage n'est pas uniforme dans la largeur. Du côté où il n'y a pas glissement, les fils supportent une force plus grande que les fils de l'autre côté et le résultat de l'essai s'en trouve faussé.

Noter la force sous laquelle l'éprouvette s'est rompue et l'allongement de rupture correspondant.

Ne pas tenir compte des résultats obtenus sur des éprouvettes qui ont glissé entre les pinces ou qui ont été coupées par des pinces en mauvais état. Répéter l'essai avec d'autres éprouvettes de façon à avoir cinq résultats valables.

(*) Une méthode pratique de vérification du parallélisme et de la planéité des mâchoires, dans le cas où celles-ci sont plates, consiste à insérer entre les deux parties de chaque mâchoire une feuille de papier blanc disposée entre deux feuilles de papier carbone, à serrer légèrement les mâchoires et à observer ensuite l'empreinte obtenue.

Prendre note du nombre de mesures dont il n'a pas pu être tenu compte : si l'on aperçoit que la rupture aux pinces est causée par le mauvais état des mâchoires, il est nécessaire de les réajuster.

7.2 ESSAI SUR EPROUVETTES MOUILLEES

Retirer l'éprouvette de l'eau, l'éponger entre deux feuilles de buvard pressées à la main et poursuivre l'essai immédiatement : après avoir retiré l'éprouvette de l'eau, l'essai doit être terminé dans les deux minutes qui suivent.

Toutes les autres prescriptions du paragraphe 7.1 restent valables.

8. CALCUL ET EXPRESSION DES RÉSULTATS

8.1 FORCE DE RUPTURE

La force de rupture par traction (en chaîne et en trame) d'un tissu est donnée par la moyenne arithmétique, exprimée en décanewtons, des forces de rupture obtenues pour chacune des cinq éprouvettes soumises à l'essai (en chaîne et en trame).

Calculer la force moyenne de rupture avec 4 chiffres et l'arrondir à 3 chiffres significatifs.

8.2 ALLONGEMENT DE RUPTURE

L'allongement de rupture par traction (en chaîne et en trame) d'un tissu est donné par la moyenne arithmétique, exprimée en pour cent, des allongements relatifs obtenus pour chacune des cinq éprouvettes soumises à l'essai (en chaîne et en trame, arrondie à :

- 0.2 près, lorsqu'elle est inférieure à 10 %,
- 0.5 près, lorsqu'elle est comprise entre 10 et 50 %,
- 1 près, lorsqu'elle est supérieure à 50 %.

9. PROCÈS-VERBAL D'ESSAI

Indiquer, en les notant séparément, les résultats en chaîne et les résultats en trame (définis au chapitre 8) ainsi que :

- les valeurs individuelles des forces de rupture (en chaîne et en trame) exprimées en décanewtons,
 - les valeurs individuelles des allongements de rupture (en chaîne et en trame) exprimées en pour cent.
- Mentionner en outre,
- le mode d'échantillonnage, s'il est connu, et le mode de prélèvement des éprouvettes sur l'échantillon reçu au laboratoire,
 - le nombre d'éprouvettes soumises à l'essai et le nombre de mesures dont il n'a pu être tenu compte,
 - le mode opératoire utilisé, éventuellement celui prévu au paragraphe 7.1 ou au paragraphe 7.2 ou les deux à la fois,
 - le type et la capacité de force de l'appareil d'essai utilisé, ainsi que le type de pinces employées.

Mentionner également la référence à la présente norme, toutes les conditions de l'essai et tous les détails opératoires non prévus dans la norme, ou facultatifs, ainsi que les facteurs susceptibles d'avoir agi sur les résultats.

LONGUEUR DE RUPTURE

La longueur de rupture, en kilomètres, est parfois utilisée (*).

Les longueurs de rupture en chaîne et en trame sont calculées par application des formules :

$$L_c = \frac{20 R}{0,98 M} \quad L_t = \frac{20 R'}{0,98 M}$$

où :

L_c = longueur de rupture en chaîne, en kilomètres.

L_t = longueur de rupture en trame, en kilomètres.

R = force de rupture en chaîne, en décanewtons, mesurée selon la présente norme.

R' = force de rupture en trame, en décanewtons, mesurée selon la présente norme.

M = masse par mètre carré du tissu conditionné en atmosphère normale, exprimée en grammes.

La longueur totale de rupture L est calculée selon la formule :

$$L = \frac{20 (R + R')}{0,98 M} = L_c + L_t$$

La longueur totale de rupture correspond bien en pratique à la résistance globale des tissus et permet de les classer entre eux à ce point de vue.

Si l'on a effectué un essai au mouillé, la longueur de rupture est calculée de la même façon, la lettre M représentant toujours la masse par mètre carré du tissu conditionné en atmosphère normale.

(*) La longueur de rupture d'un tissu est la longueur limite calculée, au-delà de laquelle une bande de tissu, d'une largeur quelconque mais uniforme, supposée suspendue par l'une de ses extrémités, se rompt sous son propre poids.

Elle est donnée par la formule :

$$L_r = \frac{1}{9,8} \times \frac{10 R}{M} \times \frac{10^2}{l_e}$$

où :

L_r = longueur de rupture, en kilomètres.

R = force de rupture, en décanewtons.

M = masse par mètre carré du tissu conditionné en atmosphère normale, exprimée en grammes.

l_e = largeur de l'éprouvette, en centimètres.

Si les éprouvettes ont uniformément une largeur de 5 cm, la formule peut s'écrire :

$$L = \frac{20 R}{0,98 M}$$

I - AVANT-PROPOS

En général, le retrait définitif d'un tissu n'est pas obtenu après un seul lavage ; la présente norme ne donne que le mode opératoire à utiliser (conditions de marquage et de mesure, traitement de lavage, etc...), mais on ne peut, dans cette norme, prétendre indiquer pour un tissu quelconque, combien de lavages sont nécessaires jusqu'à stabilisation.

Une seule opération de lavage ne donne en général qu'une valeur indicative, et les résultats de laboratoire sur des échantillons d'un même tissu pour un seul lavage peuvent présenter des différences non négligeables. Pour une étude complète, il faudrait répéter un grand nombre de fois le mode opératoire précisé dans la norme : par répétition de l'essai, le retrait tend vers une limite.

Suivant les cas, suivant les spécifications prescrites ou les accords entre fournisseurs et clients, on pourra envisager de contrôler la variation dimensionnelle après un seul lavage, ou après une série de lavages. Si l'on fait plusieurs lavages successifs, il est nécessaire de prévoir un repassage entre deux lavages successifs. En donnant les résultats rapportés aux dimensions originales du tissu avant lavage, il faut préciser le nombre de cycles de lavages auxquels l'éprouvette a été soumise.

Si un dégommage préalable est fait en vue d'obtenir plus rapidement le rétrécissement total du tissu, le marquage des éprouvettes doit être fait avant ce dégommage.

II - OBJET ET DOMAINE D'APPLICATION

La présente norme a pour objet de fixer le mode opératoire destiné à déterminer la variation des dimensions sens chaîne et sens trame (rétrécissement ou éventuellement allongement) des tissus de coton et de cellulose régénérée exposés ordinairement à être lavés au voisinage de l'ébullition.

Elle n'est pas applicable à d'autres textiles (*) destinés à être lavés au voisinage de l'ébullition, ni aux étoffes à mailles quelle que soit leur matière textile constituante.

NOTE : S'agissant d'une méthode de contrôle du retrait (ou éventuellement de l'allongement) des tissus, la méthode de lavage décrite dans la norme n'est pas destinée à être appliquée à d'autres essais de laboratoire ni à être employée dans les laveries industrielles. Son utilisation, dans ces cas-là, n'est pas en effet souhaitable en raison de la formation de savons calcaires qu'elle peut entraîner et qui donnent alors lieu, sur les tissus lavés, à des dépôts nuisibles à d'autres propriétés des tissus.

III - PRINCIPE

Lavage à 95 ± 5 °C d'une éprouvette dans une machine à laver constituée par un tambour cylindrique à axe horizontal, à mouvement réversible.

Ensuite, essorage de l'éprouvette et repassage à la presse sans tension.

Les distances entre des repères portés sur l'éprouvette dans les sens chaîne et trame sont mesurées avant et après l'essai.

(*) Elle ne pourra être appliquée à d'autres textiles destinés à être lavés au voisinage de l'ébullition, qu'après mise au point et normalisation, de spécifications à préciser ultérieurement pour le marquage, le repassage et la mesure.

AVANT-PROPOS

A la date de sa publication, la présente norme est en harmonie avec un avant-projet de norme internationale ISO traitant du même sujet. Elle ne prévoit pas l'utilisation d'une tension préalable applicable aux éprouvettes avant l'essai, tandis que l'avant-projet de norme internationale prévoit les deux possibilités (utilisation ou non).

Elle est fondée sur le principe d'une durée constante d'essai de rupture.

Une méthode simplifiée ne retenant pas ce principe fait l'objet de la norme NF G 07-001.

1. OBJET

La présente norme a pour objet de fixer les conditions de l'essai et le mode opératoire à suivre pour déterminer la force de rupture, ainsi que l'allongement de rupture d'une éprouvette de tissu par essai de traction : l'éprouvette est une bande rectangulaire de tissu qui, à chaque extrémité, est maintenue serrée sur toute sa largeur par l'une des deux pinces de l'appareil de traction.

Cette norme donne, d'une part les conditions de l'essai sur éprouvette conditionnée en atmosphère normale, d'autre part les conditions de l'essai sur éprouvette mouillée.

Pour cette méthode sont utilisables des appareils d'essai de types suivants (voir paragraphe 5.1.2) :

- a) appareil à vitesse constante d'accroissement de force,
- b) appareil à vitesse constante de déplacement de la pince de traction.

2. DOMAINE D'APPLICATION

La méthode décrite dans la présente norme est applicable aux tissus (**).

Elle n'est pas applicable aux supports textiles revêtus d'élastomères ou de matières plastiques (dans ce cas, appliquer la norme NF G 37-103 « Essai de résistance à l'allongement à la rupture par traction (méthode de la bande préparée) »).

Elle n'est pas applicable aux tissus dont les éprouvettes de 50 mm de largeur (voir paragraphe 8.1) comportent moins de 20 fils en largeur.

(*) L'essai d'arrachement, dit en anglais « grab test », fera l'objet d'une autre norme.

(**) Pour la définition du terme « tissu », voir norme NF G 00-012, paragraphe 2.1.2. Le terme « tissu » exclut aussi bien les tricots et articles à mailles, que les étoffes dites « non tissées ».

3. DÉFINITIONS

3.1 FORCE DE RUPTURE

Force maximale que peut supporter l'éprouvette dans un essai de traction conduit jusqu'à la rupture.

3.2 FORCE A LA RUPTURE

Force notée au moment où l'éprouvette se rompt (*).

3.3 ALLONGEMENT ABSOLU

Accroissement de longueur d'une éprouvette.

Il est exprimé comme une longueur.

3.4 ALLONGEMENT RELATIF

Accroissement de longueur d'une éprouvette, rapporté à la longueur initiale (voir paragraphe 3.7).

L'allongement relatif s'exprime en pourcent (%) de la longueur initiale, il se désigne souvent comme « allongement en pourcent » :

$$A \% = 100 \times \frac{a}{l_0}$$

a étant l'allongement absolu et l_0 la longueur initiale.

3.5 ALLONGEMENT DE RUPTURE

Allongement correspondant au moment où est atteinte la force de rupture.

Sans autre précision, l'allongement de rupture désigne l'« allongement relatif » de rupture.

Pour l'allongement absolu correspondant, il est nécessaire de préciser : « allongement absolu de rupture ».

3.6 ALLONGEMENT A LA RUPTURE

Allongement correspondant à la rupture totale de l'éprouvette (**).

Comme pour l'allongement de rupture, sans autre précision, l'allongement à la rupture désigne l'allongement « relatif » à la rupture, et pour l'allongement absolu correspondant, il est nécessaire de préciser allongement « absolu ».

3.7 LONGUEUR INITIALE D'ESSAI DE L'ÉPROUVETTE

Longueur entre pinces, en début d'essai, d'une éprouvette dans les conditions spécifiées (voir paragraphes 8.1 Dimensions et 8.4 Marquage).

3.8 DURÉE D'ESSAI DE RUPTURE

Temps d'essai nécessaire pour arriver à la force de rupture.

Par exemple, la durée d'essai de rupture, sur le diagramme d'enregistrement, est indiquée par l'intervalle entre le moment où le stylet enregistre la première application de la force sur l'éprouvette et le moment où le stylet enregistre la force maximale (force de rupture).

(*) Il peut arriver que la « force de rupture » soit identique à la « force à la rupture ». Dans certains cas, la force à la rupture peut être difficilement appréciable.

(**) Il peut arriver que l'allongement de rupture soit identique à l'allongement à la rupture (quand la force de rupture est identique à la force à la rupture).

4. PRINCIPE

L'éprouvette est soumise à la traction jusqu'à rupture, au moyen d'un appareil d'essai approprié (dynamomètre), qui indique la force de traction exercée et l'allongement de l'éprouvette.

L'appareil doit être réglé de façon que la moyenne des durées d'essais de rupture d'une série d'éprouvettes soit égale à la durée prescrite — 30 secondes — avec tolérance de ± 5 secondes.

L'appareil doit être de l'un des types indiqués au chapitre 5 « Appareillage ».

5. APPAREILLAGE

5.1 APPAREIL D'ESSAI DE TRACTION

5.1.1 Cet appareil doit comprendre :

- une paire de pinces pour tenir l'éprouvette par chacune de ses extrémités. (Tout glissement, ainsi que tout cisaillement au niveau des pinces doivent être évités).
- un moteur et des mécanismes pour exercer la force de traction sur l'éprouvette et lui donner l'allongement,
- un mécanisme pour enregistrer d'une manière continue, la force appliquée à l'éprouvette et l'allongement qui en résulte.

Il est nécessaire d'avoir un enregistreur graphique automatique de la courbe « force-allongement » ce qui peut permettre, notamment, de déterminer l'allongement sous une force donnée. L'inertie des pièces mobiles de l'enregistreur doit être assez faible, de façon qu'il ne se produise pas de déformation sensible de la courbe « force-allongement », même dans la zone où la pente est la plus forte. Le fonctionnement correct de l'appareil enregistreur doit être vérifié avant chaque série de mesures.

Si l'on peut réaliser automatiquement l'enregistrement graphique de la courbe « force-allongement », ceci permet de lire la durée de l'essai en fonction de la vitesse de l'appareil d'enregistrement dans le cas des appareils à vitesse constante d'accroissement de force et dans le cas des appareils à vitesse constante d'allongement.

5.1.2 Types d'appareils

La méthode est applicable avec un appareil de l'un des types suivants :

- a) Appareil à vitesse constante d'accroissement de force.
- b) Appareil à vitesse constante de déplacement de la pince de traction.

Les appareils à vitesse constante de déplacement de la pince de traction dont l'autre pince est fixe sont des appareils à « vitesse constante d'allongement ». Les appareils à vitesse constante de déplacement de la pince de traction dont l'autre pince n'est pas fixe donnent une bonne concordance entre leurs résultats et ceux des appareils à vitesse d'allongement vraiment constante lorsque la durée de l'essai de rupture est la même. Il est néanmoins souhaitable d'avoir un déplacement de la pince solidaire du système de mesure des forces, aussi faible que possible, pour qu'il tende à être négligeable devant l'allongement absolu de l'éprouvette.

Bien que le temps d'essai soit fixé à 30 secondes ± 5 secondes, quel que soit le type d'appareil utilisé, il peut arriver que les résultats obtenus sur des appareils de type a) et b) soient quelque peu différents, d'où la nécessité d'indiquer toujours dans le procès-verbal, le type d'appareil utilisé.

Les vitesses d'accroissement de force ou de déplacement de la pince de traction doivent être constantes à 10 % près au bout de deux secondes après le commencement de l'essai.

Tous les appareils d'essai doivent permettre, par une application régulière et progressive de la force, de rompre les éprouvettes dans la durée moyenne d'essai de rupture de 30 secondes avec la tolérance de ± 5 secondes.

Les échelles de mesure des forces doivent être choisies de telle sorte que la rupture de n'importe quelle éprouvette puisse être obtenue dans un intervalle compris entre 85 % et 15 % du maximum de l'échelle utilisée.

Le réglage des appareils s'effectue plus aisément s'il s'agit d'appareils équipés de variateurs de vitesse, mais des appareils dont le réglage se fait suivant une série de paliers successifs peuvent être utilisés à condition que l'échelonnement soit suffisamment serré. La raison de la progression de l'échelonnement doit être au maximum de 1,25.

Pour pouvoir régler la vitesse à sa valeur adéquate, il peut être nécessaire d'effectuer une série de mesures préliminaires. Il n'est pas sûr qu'une mesure préliminaire unique, effectuée dans le temps d'essai prescrit, garantisse un temps moyen (pour l'ensemble des épreuves) dans l'intervalle prescrit (voir paragraphe 9.1.2).

5.1.3 Précision

L'erreur maximale sur la force enregistrée ne doit, pour aucune valeur de l'intervalle d'utilisation, être supérieure à 2 % de la force vraie correspondante. Avant d'employer l'appareil, vérifier la précision de l'indication des forces exercées en faisant un contrôle, par exemple au moyen d'étalons de valeurs appropriées (*).

L'erreur admissible sur la longueur initiale entre pinces ne doit pas excéder 1 mm.

5.1.4 Longueur initiale entre pinces

L'appareil doit pouvoir permettre l'essai sur une éprouvette dont la longueur initiale entre pinces est égale à 200 mm.

Éventuellement, pour des tissus extensibles la longueur initiale d'essai peut être réduite à 100 mm par accord entre les parties intéressées (voir paragraphe 8.1).

5.1.5 Pinces

Chacune des pinces destinées à tenir le tissu pendant l'essai est constituée de deux mâchoires : les faces de serrage doivent être de préférence lisses, plates, elles doivent être capables de maintenir une extrémité de l'éprouvette sans la laisser glisser et sans l'endommager de façon apparente. Les axes des deux pinces doivent être alignés dans la direction de l'effort de traction, les bords des mâchoires doivent être perpendiculaires à cette direction et les faces de serrage des deux mâchoires de chaque pince doivent être parallèles de façon à assurer un serrage régulier sur toute la largeur. Les mâchoires doivent avoir une largeur d'au moins 60 mm.

Lorsque les éprouvettes ne peuvent être maintenues d'une façon satisfaisante avec des mâchoires à surfaces planes, d'autres types de pinces peuvent être utilisés après accord entre les parties intéressées. Dans ce cas, il faut le signaler dans le procès-verbal d'essai et attirer l'attention sur le fait que la longueur de l'éprouvette entre pinces peut être alors mal déterminée et que l'allongement relevé ne correspond pas à l'allongement indiqué avec les pinces plates.

On peut aussi utiliser des garnitures de pinces en papier, feutre, cuivre, plastique, caoutchouc, etc.

5.2 INSTALLATIONS DE CONDITIONNEMENT (Voir chapitre 6 et paragraphe 9.1)

5.2.1 Installation permettant de réaliser, dans une enceinte, le conditionnement en atmosphère normale d'essais (voir chapitre 6).

5.2.2 Installation permettant de réaliser, dans une enceinte, le conditionnement préalable (voir chapitre 6).

5.3 APPAREILLAGE ET RÉACTIFS POUR ESSAIS AU MOUILLÉ (Voir paragraphes 8.5 et 8.2)

5.3.1 Récipient de dimensions suffisantes pour immerger à plat les éprouvettes dans l'eau.

5.3.2 Eau distillée ou déionisée pour le mouillage des éprouvettes.

(*) Voir norme NF A 03-501 « Vérification des machines de traction statique ».

5.3.3 Agent de surface non-ionique (*), s'il y a lieu de mouiller complètement des tissus hydrophobes (voir paragraphe 8.5).

5.4 COMPTE-SECONDES OU CHRONOMETRE

6. CONDITIONNEMENT

L'essai, suivant le mode opératoire 9.1, est effectué dans l'atmosphère normale de conditionnement et d'essais (**): température $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$, humidité relative $65\% \pm 2\%$.

Pour l'exécution de cet essai, il faut disposer d'une enceinte de conditionnement permettant de maintenir cette atmosphère (voir paragraphe 5.2.1).

L'équilibre hygrométrique est atteint par absorption à partir d'un état plus sec : l'atmosphère pour le conditionnement préalable (***) doit avoir une humidité relative de 10 % à 25 %, à une température ne dépassant pas 50 °C. Elle peut être obtenue en prenant de l'air dans les conditions normales et en le chauffant jusqu'à une température ne dépassant pas 50 °C.

Pour le conditionnement préalable, il faut donc disposer d'une autre enceinte de conditionnement (voir paragraphe 5.2.2) où est réalisée l'atmosphère indiquée ci-dessus.

7. ÉCHANTILLONNAGE

7.1 PRÉLEVEMENT DE L'ÉCHANTILLON

Pour que les résultats soient vraiment représentatifs, il faudrait faire un grand nombre de mesures. Comme les parties intéressées sont en général d'accord pour éviter un échantillonnage et un contrôle trop onéreux, il faut admettre le caractère conventionnel de l'essai de traction sur tissu. L'échantillonnage devrait toujours faire l'objet d'un accord préalable entre les parties afin d'éviter les contestations ultérieures.

Sauf convention contraire entre les parties intéressées, prélever l'échantillon à au moins 3 m du chef ou lileau de pièce.

On constate souvent une irrégularité de densité des fils de chaîne, elle peut être symétrique ou non par rapport à l'axe de mi-laize. De plus, dans des tissus ayant subi d'importants traitements, des déplacements d'armure, plus ou moins visibles, ont pu se produire. C'est pourquoi l'échantillon, d'une longueur de 50 cm, doit être pris sur toute la laize, lisières comprises. Ne pas prélever d'éprouvettes à une distance de la lisière inférieure à 10 % de la largeur, sauf s'il s'agit de laize supérieure à 150 cm auquel cas il suffit de ne pas prélever d'éprouvette à moins de 15 cm des lisières.

L'échantillon, reçu au laboratoire, doit être présenté sur rouleau de carton, il ne doit être ni froissé ni plié et ne doit pas avoir de défaut apparent (****).

Les résultats obtenus sur un petit échantillon de laboratoire, dont les conditions de prélèvement ne sont pas connues, ne doivent être considérés que comme représentatif de l'échantillon étudié et ne peuvent représenter l'ensemble du tissu, où il a été prélevé.

(*) Suivant la norme NF T 73-000, un agent de surface non-ionique est un agent de surface ne donnant pas naissance à des ions en solution aqueuse. La solubilité dans l'eau des agents de surface non-ioniques est due à la présence dans leurs molécules de groupements fonctionnels ayant une forte affinité pour l'eau.

(**) Voir norme NF G 00-003 « Atmosphère normale de référence et atmosphère normale de conditionnement et d'essais des textiles ».

(***) Le conditionnement préalable n'est pas nécessaire pour les textiles synthétiques : il ne doit pas être effectué pour ceux de ces textiles qui sont thermorétractables. Dans le cas d'un mélange comportant de ces fibres thermorétractables, le conditionnement préalable devra faire l'objet d'un accord entre les parties : on peut par exemple utiliser des desséchants pour obtenir une atmosphère plus sèche.

(****) Voir norme NF G 00-016 « Vocabulaire relatif aux défauts des tissus ».

7.2 CONDITIONNEMENT PRÉALABLE DE L'ÉCHANTILLON

Ce conditionnement préalable est recommandé (*) pour les tissus qui doivent être soumis à l'essai en atmosphère normale. Il n'est pas nécessaire pour l'essai au mouillé.

7.2.1 Exposer l'échantillon de laboratoire pendant au moins douze heures dans l'atmosphère pour le conditionnement préalable indiqué au paragraphe 6.

7.2.2 Après conditionnement préalable, laisser l'échantillon arriver à l'équilibre hygrométrique en l'exposant dans l'atmosphère normale pour essais pendant au moins 24 h (48 h dans le cas d'échantillon dont le tissage est très serré).

8. ÉPROUVETTES

8.1 DIMENSIONS

- largeur : 50 mm (obtenue par effilochage ou découpage).
- longueur suffisante pour que la distance initiale entre pinces (voir paragraphe 3.7) soit de 200 mm (*).

8.2 NOMBRE MINIMAL

- 5 éprouvettes pour l'essai en chaîne.
- 5 éprouvettes pour l'essai en trame.

En plus de ces éprouvettes sur lesquelles seront déterminés les résultats, il faut prévoir le nombre d'éprouvettes nécessaires, dans chaque direction, pour l'essai préalable servant au réglage de l'appareil afin que la durée d'essai de rupture se situe dans les limites prescrites.

8.3 PRÉLÈVEMENT

Le prélèvement des éprouvettes pour l'essai en atmosphère normale doit être fait dans cette même atmosphère (ceci n'est pas nécessaire pour l'essai effectué seulement au mouillé).

Les emplacements des prélèvements des éprouvettes en chaîne doivent être répartis sur toute la largeur du tissu de façon que deux éprouvettes ne contiennent pas les mêmes fils de chaîne.

De même les emplacements des prélèvements des éprouvettes en trame doivent être répartis dans la longueur de l'échantillon de façon que deux éprouvettes ne contiennent pas les mêmes duites (cependant il faut remarquer que pour les éprouvettes en trame, on ne peut en général pas éviter d'avoir dans les cinq éprouvettes le même fil de trame provenant de la même canette).

Si le tissu peut être effiloché, les éprouvettes brutes seront découpées droit fil avec une largeur de 60 mm environ, les éprouvettes finies à la largeur de 50 mm seront obtenues en effilochant de façon égale sur chacun des deux grands côtés de l'éprouvette. L'éprouvette finie présente ainsi de chaque côté une frange d'environ 5 mm, la largeur de cette frange doit être suffisante pour qu'aucun des fils longitudinaux ne puisse se détisser de l'éprouvette pendant l'essai ; pour les tissus ayant un tissage très lâche, il peut être nécessaire de prendre une largeur d'éprouvette brute de 70 mm de façon à laisser une frange de 10 mm environ de chaque côté.

(*) Le conditionnement préalable n'est pas nécessaire pour les textiles synthétiques, il ne doit pas être effectué pour ceux de ces textiles qui sont thermorétractables. Dans le cas d'un mélange comportant de ces fibres thermorétractables, le conditionnement préalable devra faire l'objet d'un accord entre les parties : on peut par exemple utiliser des desséchants pour obtenir une atmosphère plus sèche.

(**) Pour les tissus qui ont un allongement relatif de rupture supérieur à 75 %, la longueur initiale d'essai peut être réduite à 100 mm. Ceci doit faire l'objet d'un accord préalable entre les parties intéressées.

Pour les tissus cardés, foulés, apprêtés, sur lesquels l'effilochage n'est pas possible, les éprouvettes doivent être découpées droit fil (*) à la largeur finie de 50 mm. Ne jamais déchirer.

Si l'échantillon présente un défaut, tel que « écart de flèche » (**), qui rende le découpage droit fil impossible, l'essai de traction sur bande ne peut être fait sur cet échantillon.

8.4 MARQUAGE

Prendre une éprouvette aux dimensions finies, la placer à plat sans tension sur une table et, de préférence au moyen d'un gabarit, tracer deux traits indéformables, parallèles aux petits côtés de l'éprouvette, distants dans le sens de la longueur de l'éprouvette de 200 mm \pm 1 mm (longueur initiale d'essai), en laissant à chaque extrémité de l'éprouvette un espace suffisant pour le serrage de l'extrémité de l'éprouvette dans la pince.

Pour l'essai en atmosphère normale le marquage est effectué en atmosphère normale. Pour l'essai au mouillé, voir paragraphes 8.5 et 8.6.

8.5 ÉPROUVETTES POUR ESSAI AU MOUILLÉ

Pour le mouillage, utiliser de l'eau distillée ou déionisée à une température comprise entre 17 °C et 30 °C.

Poser l'éprouvette (aux dimensions indiquées au paragraphe 8.1) à la surface de l'eau jusqu'à ce qu'elle s'enfonce sous son propre poids.

On peut aussi immerger l'éprouvette dans l'eau pendant au moins une heure.

Lorsqu'il est nécessaire de mouiller complètement des éprouvettes qui habituellement résistent au mouillage, remplacer l'eau pure par une solution contenant au plus 1 g par litre d'un agent de mouillage non-ionique, mais dans ce cas les éprouvettes doivent être, après mouillage, soigneusement rincées dans l'eau distillée ou déionisée.

Si le temps de mouillage complet n'est pas connu, laisser séjourner les éprouvettes 24 heures dans cette solution.

Sauf convention contraire, le marquage est fait sur les éprouvettes mouillées aussitôt après les avoir retirées de l'eau.

8.6 ESSAI COMPARATIF A SEC ET AU MOUILLÉ

Pour comparer la résistance à sec et au mouillé d'un tissu, prélever des éprouvettes d'une longueur au moins double de celle qui est prévue au paragraphe 8.1. Marquer d'un numéro chaque extrémité de chaque bande, effilochez l'éprouvette pour l'amener à la largeur finie (s'il y a lieu) et ensuite couper au milieu de chaque bande en deux éprouvettes, l'une pour déterminer la force de rupture à sec (en atmosphère normale) l'autre pour déterminer la force de rupture au mouillé.

Cette façon de procéder permet d'avoir dans chaque paire d'éprouvettes les mêmes fils longitudinaux.

Si l'on fait le marquage sur éprouvette pour essai au mouillé après mouillage comme prévu en 8.5 et si le tissu rétrécit beaucoup au mouillage, la longueur initiale de l'éprouvette pour essai au mouillé doit être plus grande que celle de l'éprouvette pour essai à sec.

Si l'on voulait faire l'essai sur la même quantité de matière textile au mouillé et à sec, le marquage de la longueur initiale d'essai devrait être fait avant mouillage. Ceci devrait faire l'objet d'un accord préalable, la détermination de l'allongement relatif au mouillé n'aurait plus de signification.

(*) Si les fils ne sont pas apparents, le découpage droit fil n'est pas possible et la méthode n'est pas applicable. (Dans ce cas, appliquer un essai d'arrachement).

(**) Voir norme NF G 00-016 « Vocabulaire relatif aux défauts des tissus » (n° 1214).

9. MODE OPÉRATOIRE

9.1 ESSAI SUR ÉPROUVETTES CONDITIONNÉES EN ATMOSPHÈRE NORMALE

Opérer en atmosphère normale d'essais des textiles.

9.1.1 Mise en place de l'éprouvette

Amener la pince de traction à une distance de l'autre pince égale à la longueur initiale d'essai (200 mm).

Vérifier que les axes des pinces sont correctement alignés et que les bords des pinces sont parallèles de manière que la force appliquée à l'éprouvette ne produise aucune déviation angulaire des pinces. Vérifier que pour chaque pince, le serrage de l'éprouvette entre mâchoires s'effectue régulièrement et également sur toute la largeur (*).

Prendre une éprouvette aux dimensions finies, (voir chapitre 8) et fixer l'une des extrémités dans une pince et l'autre extrémité dans l'autre pince, de façon que les bords de la pince soient exactement sur le trait marqué délimitant la longueur initiale d'essai (**). S'assurer que l'éprouvette est bien centrée dans la pince, c'est-à-dire que le milieu de la largeur de l'éprouvette est au milieu du bord de la pince ; serrer la pince.

Éviter de toucher à main nue la partie de l'éprouvette, qui sera soumise à la traction, c'est-à-dire celle qui est comprise entre les pinces.

9.1.2 Essai

Effectuer d'abord toutes les mesures dans une direction (chaîne ou trame), puis toutes les mesures dans l'autre direction.

Le réglage de la vitesse de l'appareil n'est pas d'une façon générale exactement le même dans les deux directions.

Si la qualité du tissu à soumettre à l'essai n'est pas connue par des essais antérieurs, faire un essai préliminaire en vue de déterminer le réglage de la vitesse pour que la durée moyenne d'essai dans la direction considérée (chaîne ou trame), soit de 30 secondes \pm 5 secondes.

Mettre l'appareil en marche, noter (***) :

- la durée d'essai de rupture (voir 3.8),
- la force de rupture (voir 3.1),
- l'allongement de rupture (voir 3.5).

Remettre la pince de traction à la position de départ et enlever les extrémités de l'éprouvette rompue.

Quand les cinq mesures ont été effectuées de la même façon, vérifier que la durée moyenne de ces cinq mesures se trouve dans les limites prescrites de 30 secondes \pm 5 secondes.

Si la durée moyenne ne correspond pas, rejeter les résultats et effectuer sur l'appareil les réglages mécaniques ou électriques nécessaires pour obtenir une durée moyenne d'essai dans les limites prescrites. Vérifier au bout de cinq nouvelles mesures que la durée moyenne est satisfaisante ; sinon effectuer de nouveau les réglages nécessaires et recommencer cinq mesures.

(*) Une méthode pratique de vérification du parallélisme et de la planéité des mâchoires, dans le cas où celles-ci sont plates, consiste à insérer entre les deux parties de chaque mâchoire une feuille de papier blanc disposée entre deux feuilles de papier carbone, à serrer légèrement les mâchoires et à observer ensuite l'empreinte obtenue.

(**) L'utilisation d'éprouvettes marquées permet de contrôler s'il y a un glissement au cours de l'essai : on constate alors que le trait marqué s'écarte du bord de la pince. Si le trait marqué s'écarte du bord de la pince vers une extrémité de l'arête de la pince et pas vers l'autre extrémité, cela indique que le serrage n'est pas uniforme dans la largeur. Du côté où il n'y a pas glissement, les fils supportent une force plus grande que les fils de l'autre côté et le résultat de l'essai s'en trouve faussé.

(***) Si cela est demandé et si cela est possible avec l'appareillage utilisé, noter la force à la rupture et l'allongement à la rupture.

Si à l'issue de cette seconde série de mesures, l'impossibilité de respecter une durée moyenne provient d'une trop forte irrégularité du tissu, arrêter l'essai et faire mention expresse de cette difficulté au procès-verbal.

Retenir les résultats du premier essai pour lequel la durée moyenne est comprise dans les limites de 30 secondes \pm 5 secondes.

Ne pas tenir compte des résultats obtenus sur des éprouvettes qui ont glissé entre les pinces ou qui ont été coupées par des pinces en mauvais état. Répéter l'essai avec d'autres éprouvettes de façon à avoir cinq résultats valables.

Prendre note du nombre de mesures dont il n'a pas pu être tenu compte ; si l'on s'aperçoit que la rupture aux pinces est causée par le mauvais état des mâchoires, il est nécessaire de les réajuster.

9.2 ESSAI SUR ÉPROUVETTES MOUILLÉES

Il n'est pas nécessaire d'opérer en laboratoire conditionné.

Retirer l'éprouvette de l'eau, procéder au marquage sur éprouvette mouillée (voir paragraphes 8.4 et 8.5), puis faire l'essai immédiatement : l'essai doit être terminé dans les deux minutes après avoir retiré l'éprouvette de l'eau.

Toutes les autres prescriptions du paragraphe 9.1 restent valables.

10. CALCUL ET EXPRESSION DES RÉSULTATS

Calculer séparément les résultats pour l'essai en chaîne et l'essai en trame.

10.1 FORCES

Les forces doivent être exprimées en décanewtons (*).

La force moyenne de rupture (soit en chaîne, soit en trame) est égale à la somme des forces de rupture pour chaque éprouvette divisée par le nombre de mesures.

Calculer la force moyenne de rupture avec quatre chiffres significatifs et l'arrondir avec trois chiffres significatifs.

10.2 ALLONGEMENTS

Les allongements absolus doivent être notés dans la même unité que la longueur initiale (en millimètres), puis les allongements relatifs sont calculés en pourcent de la longueur initiale d'essai de l'éprouvette.

L'allongement relatif moyen de rupture (soit en chaîne, soit en trame) est égal à la somme des allongements relatifs pour chaque éprouvette, divisé par le nombre de mesures.

Arrondir l'allongement relatif moyen, exprimé en pourcent, à :

- 0,2 près, lorsqu'il est inférieur à 10 %,
- 0,5 près, lorsqu'il est compris entre 10 et 50 %,
- 1 près, lorsqu'il est supérieur à 50 %.

10.3 PRÉCISION DES RÉSULTATS

Compte tenu du petit nombre de valeurs individuelles, si l'on veut faire une interprétation statistique, ceci devrait faire l'objet d'un accord préalable entre les parties intéressées à l'essai.

Il est toujours nécessaire de donner les valeurs individuelles pour chaque essai (en chaîne ou en trame) comme cela est demandé au chapitre 11 (1° et 2°).

(*) Le newton est l'unité légale de force.

11. PROCÈS-VERBAL D'ESSAI

Indiquer en notant séparément les résultats en chaîne et les résultats en trame :

1^o Les résultats individuels de force de rupture (en chaîne ou en trame) et la force moyenne de rupture (en chaîne ou en trame) exprimés en décanewtons (*).

2^o Les résultats individuels d'allongement de rupture (en chaîne ou en trame) et l'allongement relatif moyen de rupture (en chaîne ou en trame), en pourcent (*).

Mentionner en outre, les conditions de l'échantillonnage et de la conduite d'essai :

— le mode d'échantillonnage, s'il est connu, et le mode de prélèvement des éprouvettes sur l'échantillon reçu au laboratoire.

— le nombre d'éprouvettes soumises à l'essai et le nombre de mesures dont il n'a pu être tenu compte.

— la méthode utilisée (9.1 ou 9.2) y compris s'il y a lieu, le mode opératoire de conditionnement préalable, les dimensions des éprouvettes et la durée moyenne de l'essai de rupture.

— le type et la capacité de force de l'appareil d'essai utilisé, ainsi que le type de pinces employées.

Mentionner également la référence à la présente norme, toutes les conditions de l'essai et tous les détails opératoires non prévus dans la norme, ou facultatifs, ainsi que les facteurs susceptibles d'avoir agi sur les résultats. Mentionner éventuellement, l'irrégularité du tissu, si cela a empêché le réglage de la vitesse.

(*) Si cela est demandé, indiquer aussi les résultats individuels et les moyennes pour les forces à la rupture et les allongements à la rupture.

AVANT-PROPOS

A la date de l'enregistrement, la présente norme est en harmonie avec un avant-projet de norme internationale ISO traitant du même sujet. Elle ne prévoit pas l'utilisation d'une tension préalable applicable aux éprouvettes avant l'essai, tandis que l'avant-projet de norme ISO prévoit les deux possibilités (utilisation ou non).

L'essai d'arrachement est effectué sur un appareil d'essai de traction avec une éprouvette d'une largeur plus grande que celle des pinces : les fils de l'éprouvette adjacents aux fils pris dans les pinces participent à la résistance de l'éprouvette à l'effort de traction exercé par l'appareil d'essai. Il n'y a pas de relation simple entre les résultats obtenus par cette méthode et ceux qui sont donnés par l'essai sur bande effilochée ou découpée (NF G 07-119); dans l'essai d'arrachement, la force de rupture supplémentaire des fils adjacents dépend de plusieurs facteurs tels que type d'armure, nombre de fils au centimètre, embuvage, etc.

1. OBIET

La présente norme a pour objet de fixer les conditions de l'essai et le mode opératoire pour déterminer la force de rupture d'une éprouvette de tissu (**) par essai d'arrachement : la largeur de l'éprouvette est supérieure à la largeur des pinces de l'appareil de traction.

Cette norme donne, d'une part les conditions de l'essai sur éprouvette conditionnée en atmosphère normale, d'autre part les conditions de l'essai sur éprouvette mouillée.

Pour cette méthode sont utilisables des appareils d'essai de types suivants (voir paragraphe 5.1.2) :

- appareil à vitesse constante d'accroissement de force,
- appareil à vitesse constante de déplacement de la pince de traction.

2. DOMAINE D'APPLICATION

La méthode décrite par la présente norme est applicable aux tissus.

Elle n'est pas applicable aux supports textiles revêtus d'élastomères ou de matières plastiques (dans ce cas, appliquer la norme NF G 37-103 - Essai de résistance à la rupture par traction (méthode de la bande préparée) -).

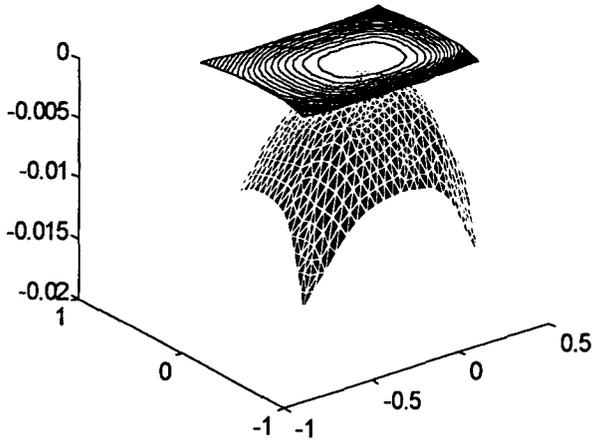
(*) Essai dénommé « grab test » en anglais.

(**) Pour la définition du terme « tissu » voir NF G 00-012, paragraphe 2.12. Le terme « tissu » exclut aussi bien les tricots et articles à mailles que les étoffes dites « non tissées ».

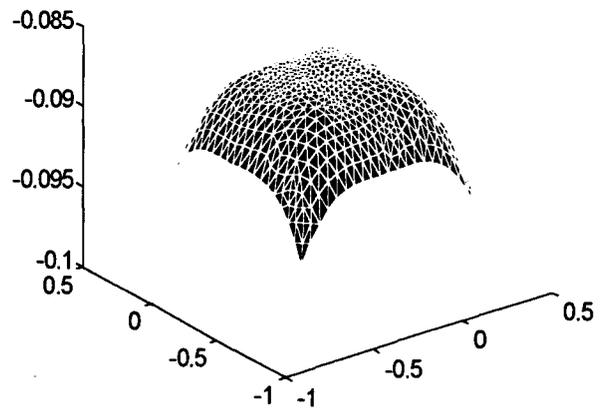
COMPLEMENT DE RESULTATS

Evolutions dynamiques du tissu avec armure toile, chaîne en coton et trame en polyester :

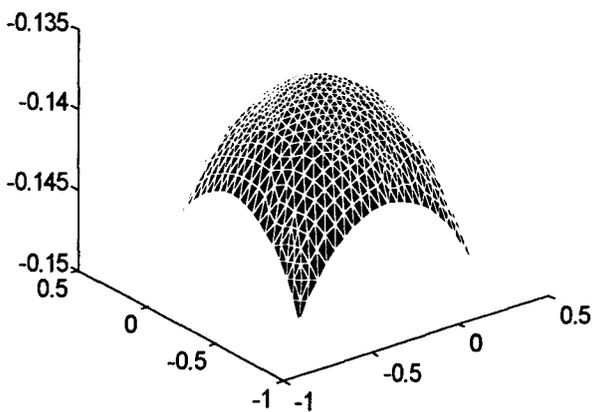
Time=0.05 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



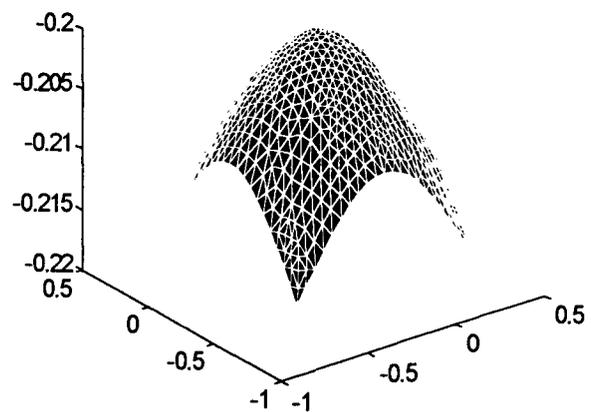
Time=0.2 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



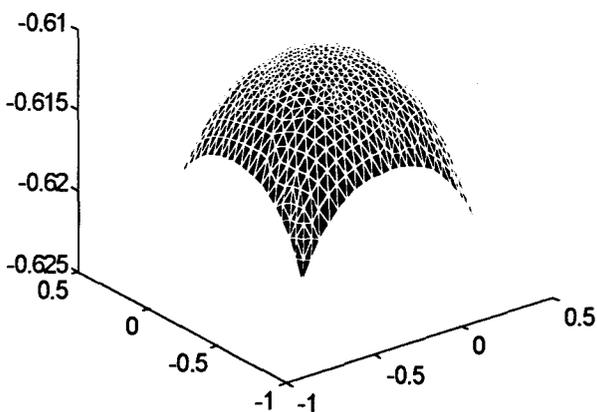
Time=0.25 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



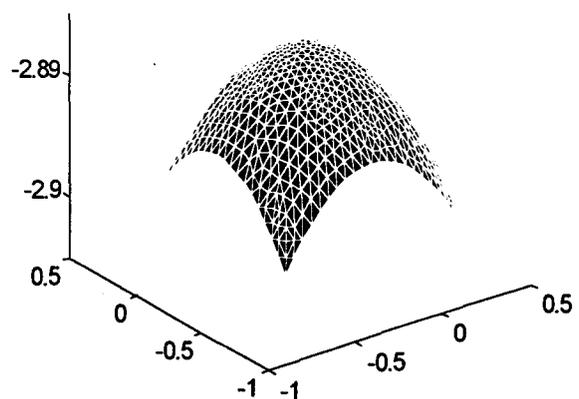
Time=0.3 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



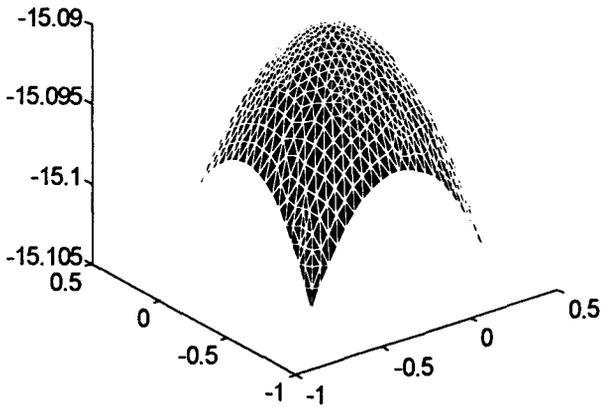
Time=0.5 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



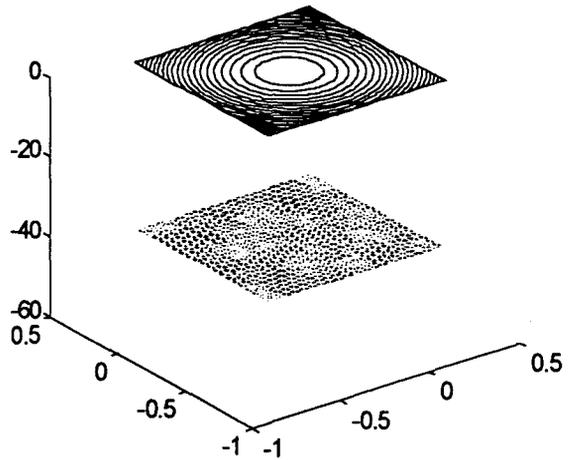
Time=1 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



Time=2 Color: u Height: u Displacement: (u,v)

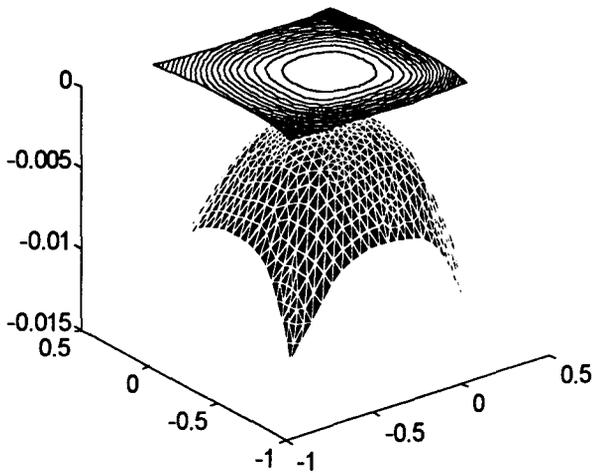


Time=3 Color: u Height: u Displacement: (u,v)

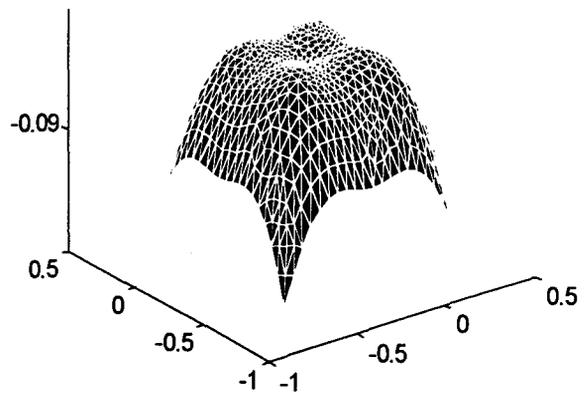


Evolutions dynamiques du tissu avec armure toile, chaîne en polyester et trame en coton :

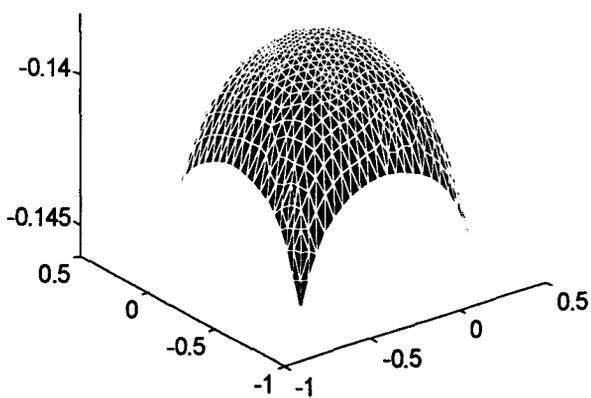
Time=0.05 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



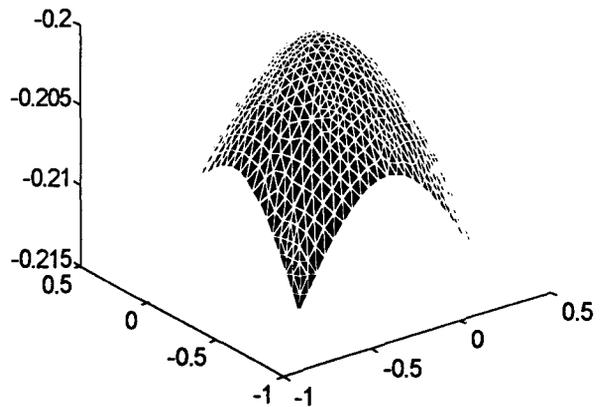
Time=0.2 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



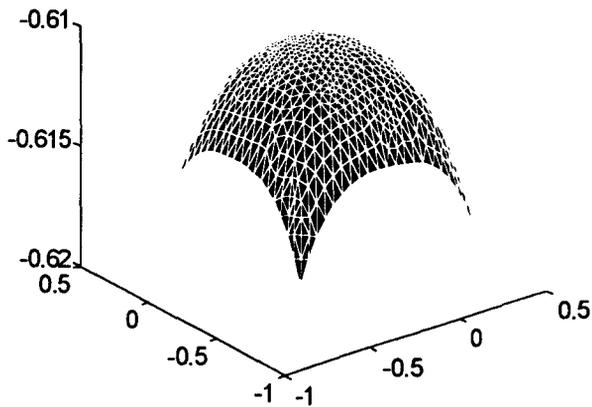
Time=0.25 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



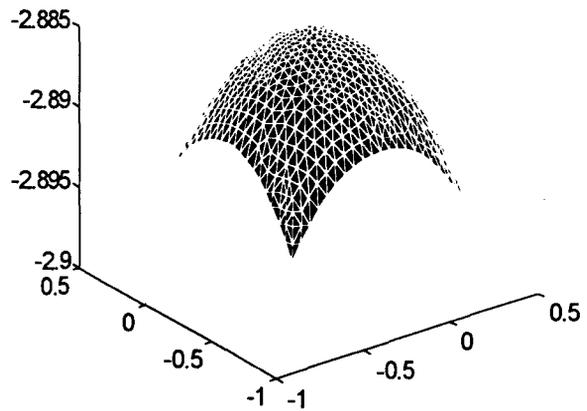
Time=0.3 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



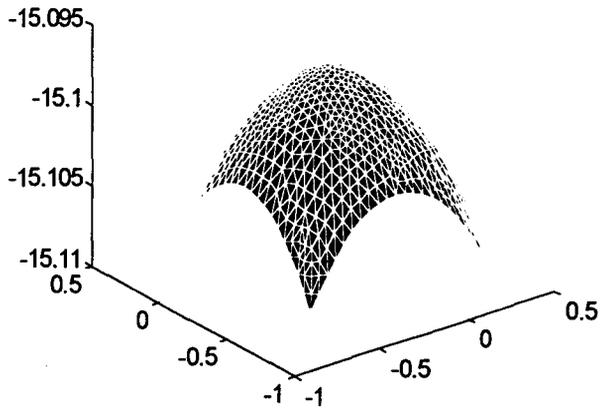
Time=0.5 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



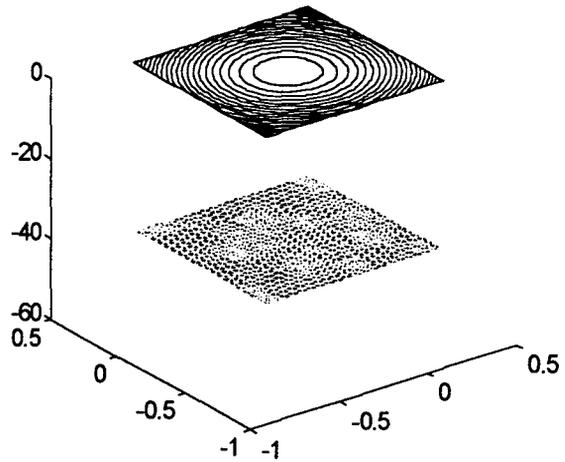
Time=1 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



Time=2 Color: u Height: u Displacement: (u,v)

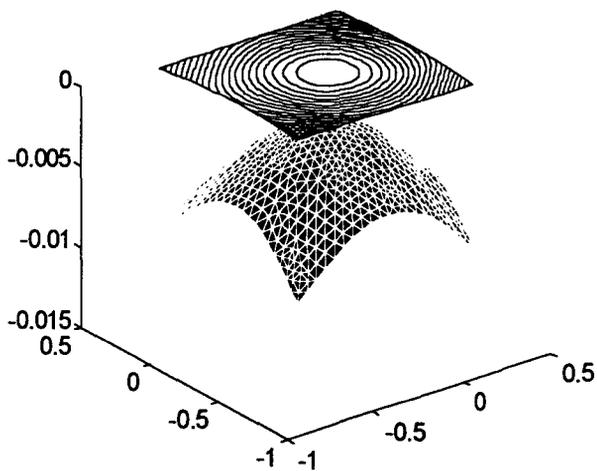


Time=3 Color: u Height: u Displacement: (u,v)

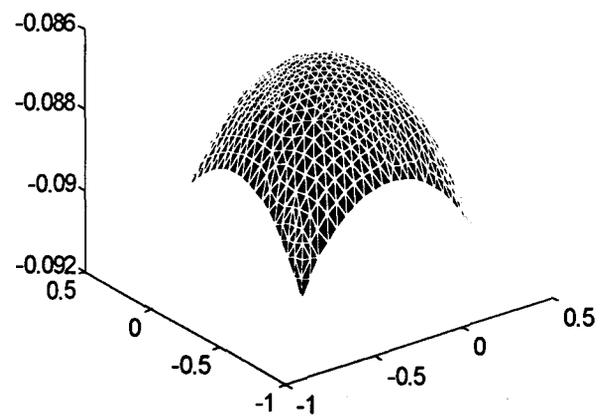


Evolutions dynamiques du tissu avec armure toile, chaîne en polyester et trame en polyester :

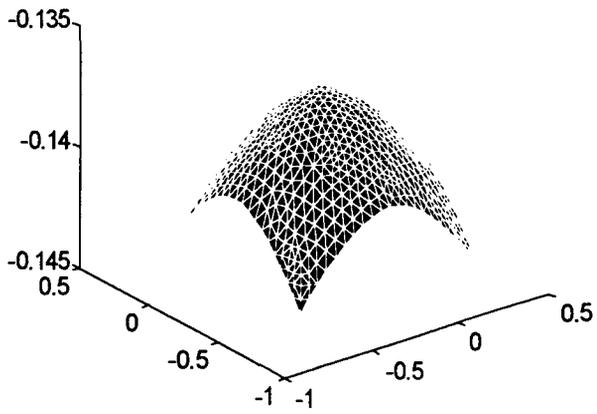
Time=0.05 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



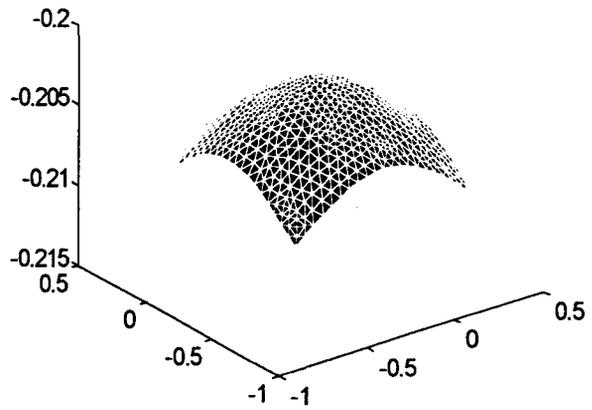
Time=0.2 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



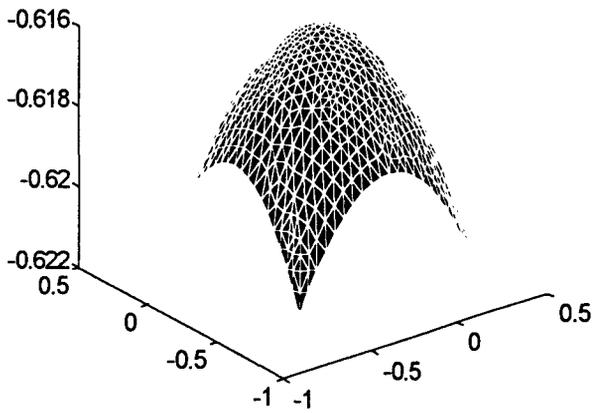
Time=0.25 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



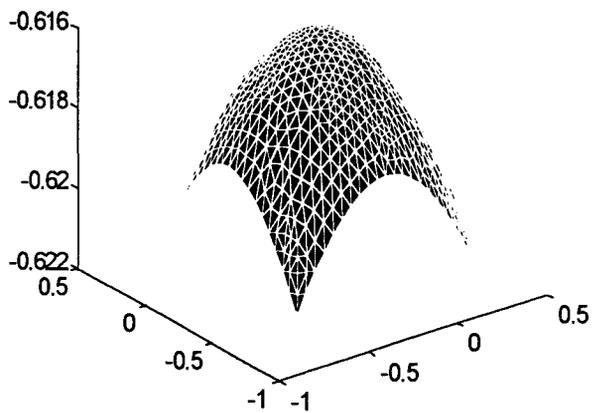
Time=0.3 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



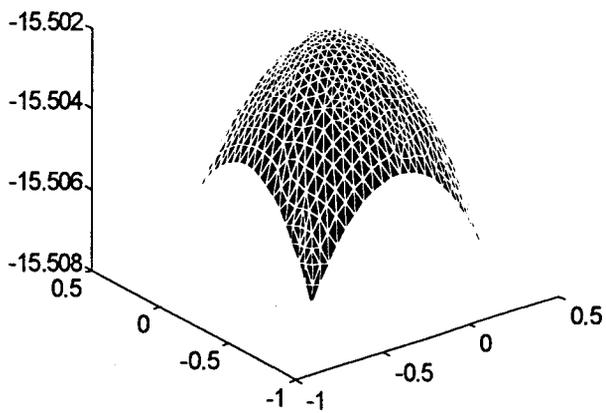
Time=0.5 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



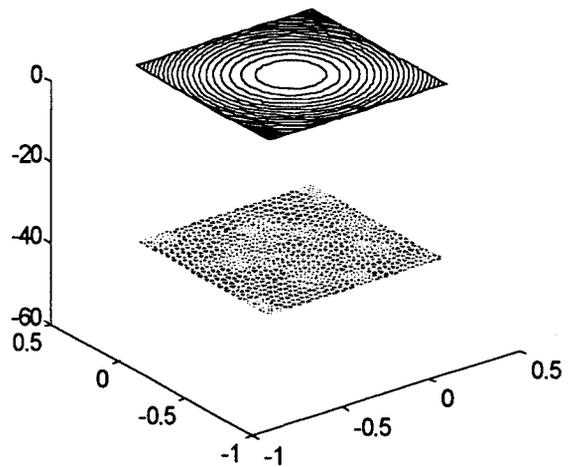
Time=0.5 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



Time=2 Color: u Height: u Displacement: (u,v)

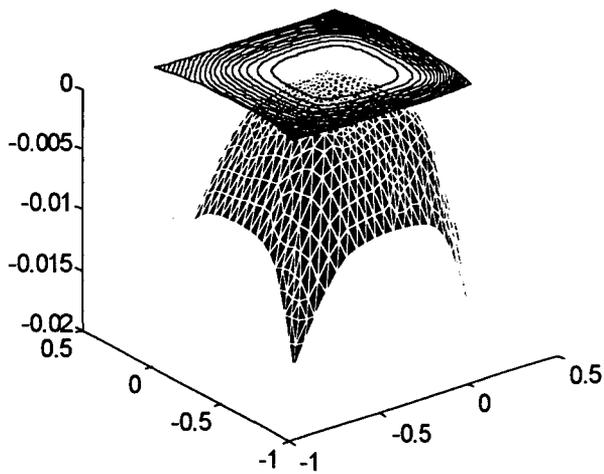


Time=3 Color: u Height: u Displacement: (u,v)

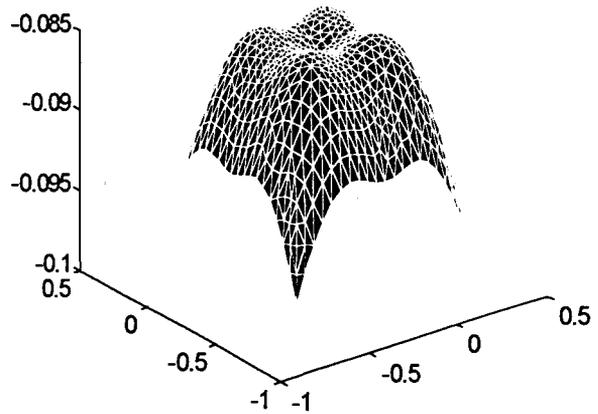


Evolutions dynamiques du tissu avec armure satin, chaîne en coton et trame en polyester :

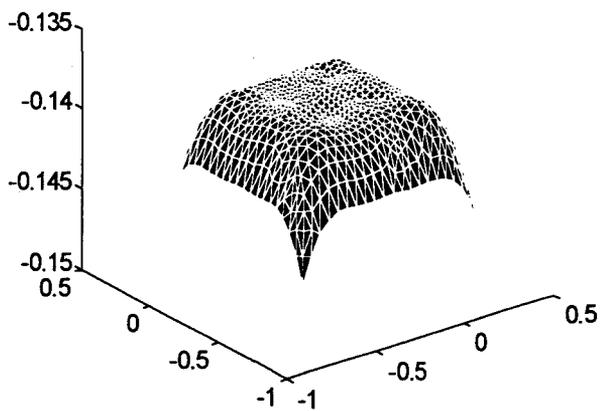
Time=0.05 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



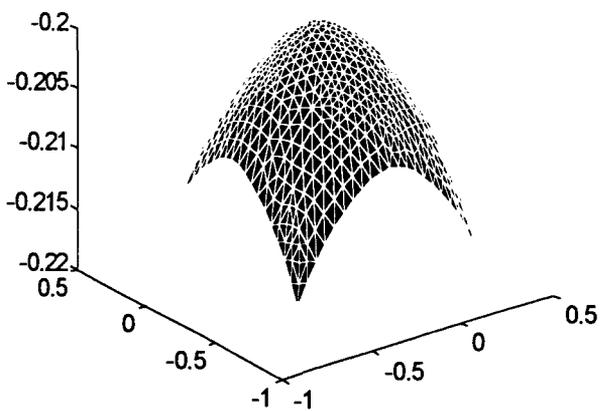
Time=0.2 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



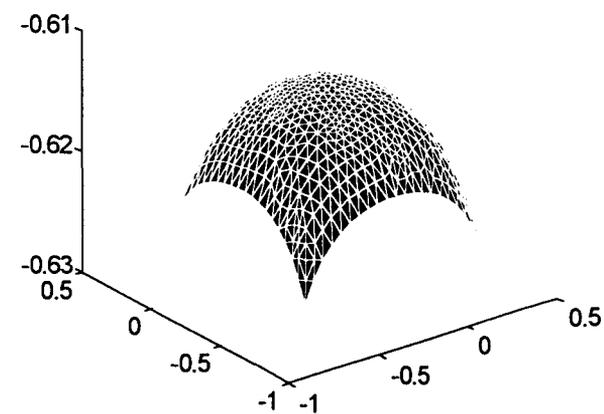
Time=0.25 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



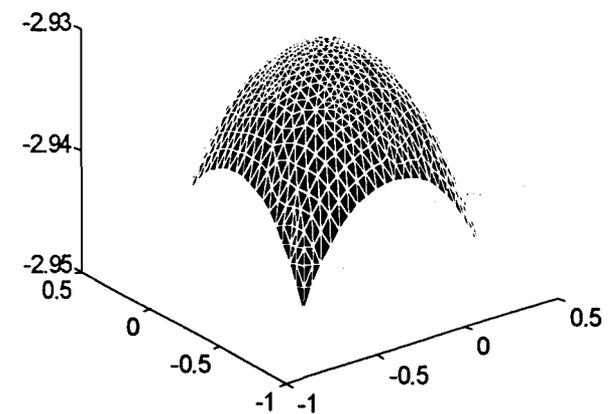
Time=0.3 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



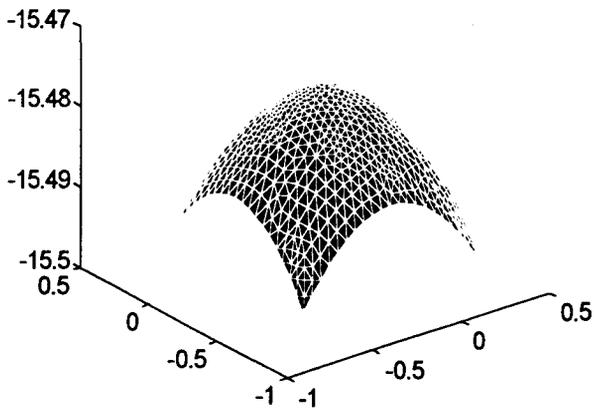
Time=0.5 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



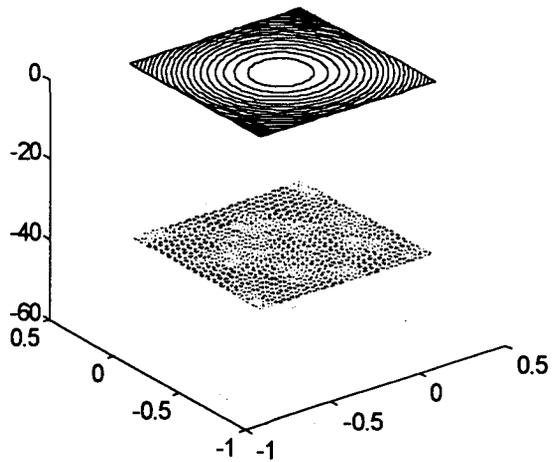
Time=1 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



Time=2 Color: u Height: u Displacement: (u,v)

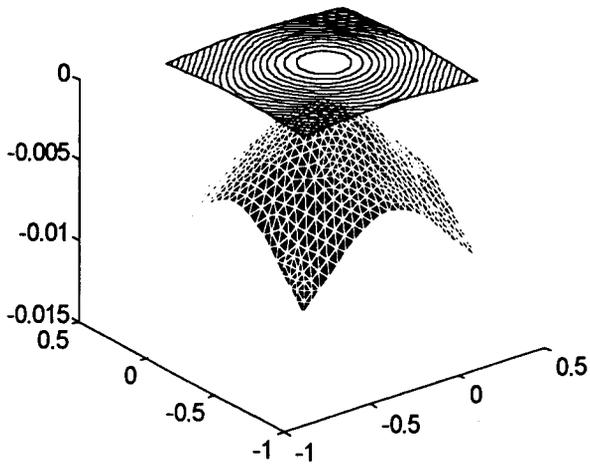


Time=3 Color: u Height: u Displacement: (u,v)

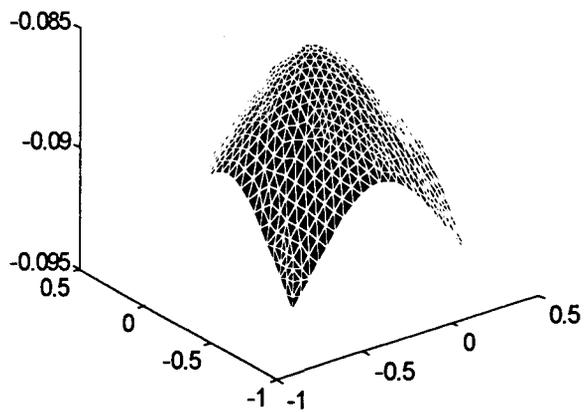


Evolutions dynamiques du tissu avec armure satin, chaîne en coton et trame en polyester :

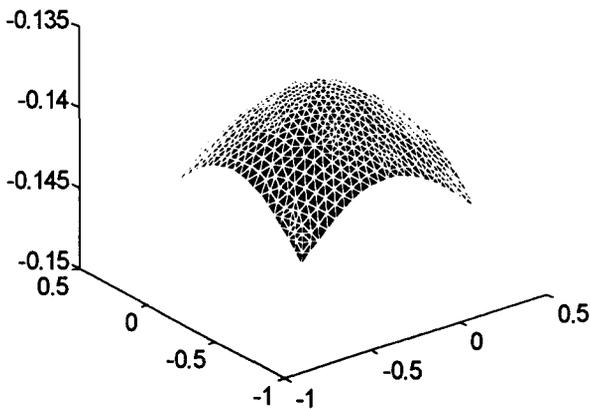
Time=0.05 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



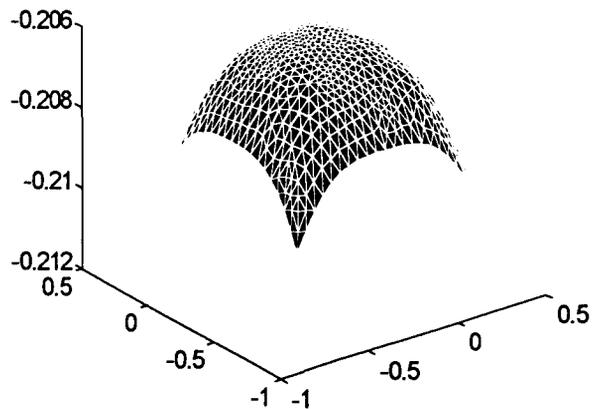
Time=0.2 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



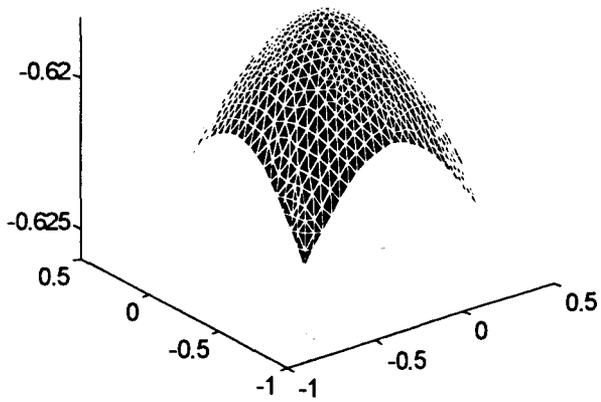
Time=0.25 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



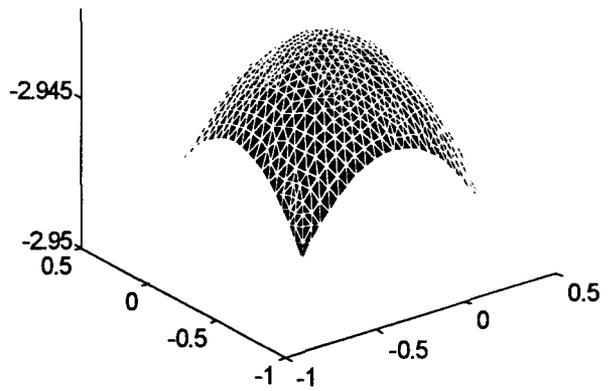
Time=0.3 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



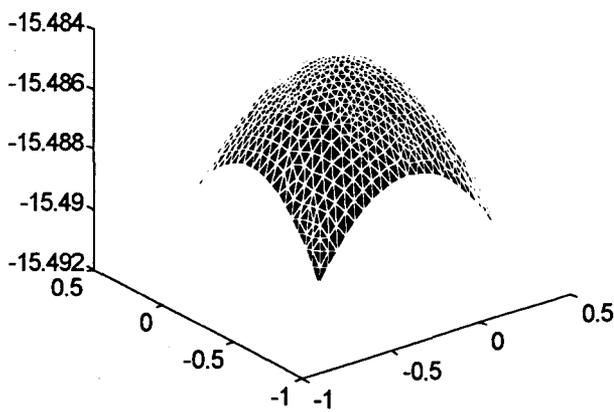
Time=0.5 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



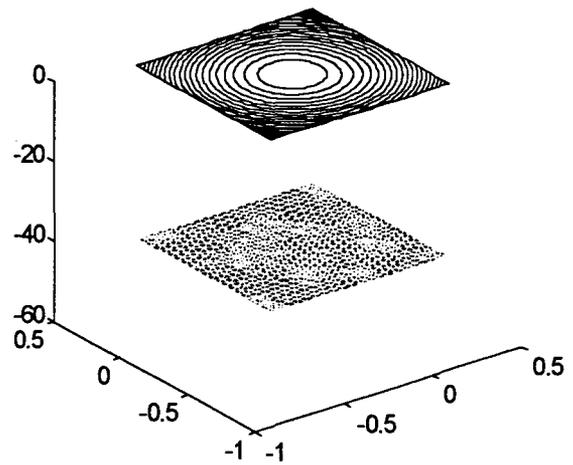
Time=1 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



Time=2 Color: u Height: u Displacement: (u,v)

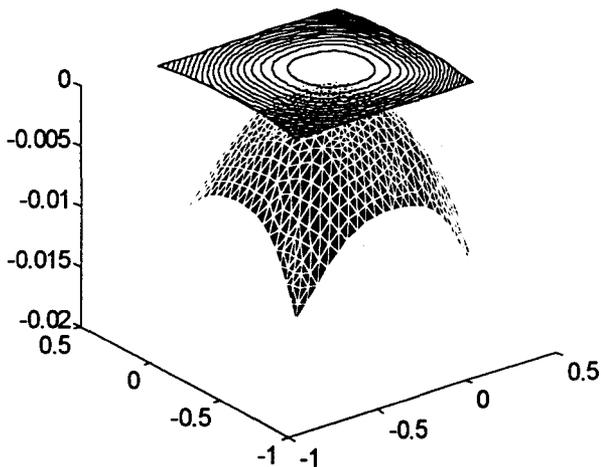


Time=3 Color: u Height: u Displacement: (u,v)

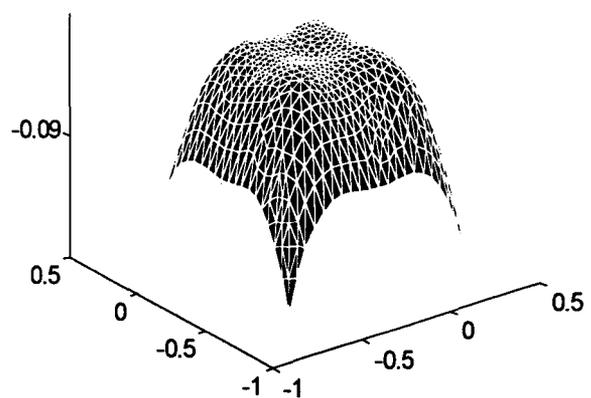


Evolutions dynamiques du tissu une armure satin, chaîne en polyester et trame en polyester :

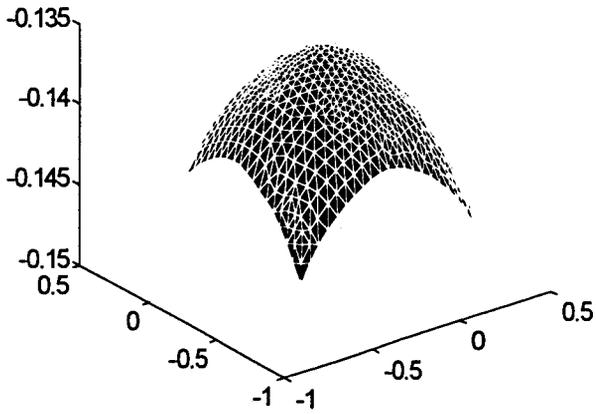
Time=0.05 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



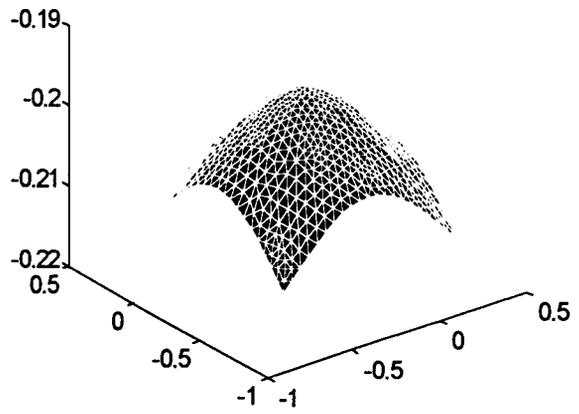
Time=0.2 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



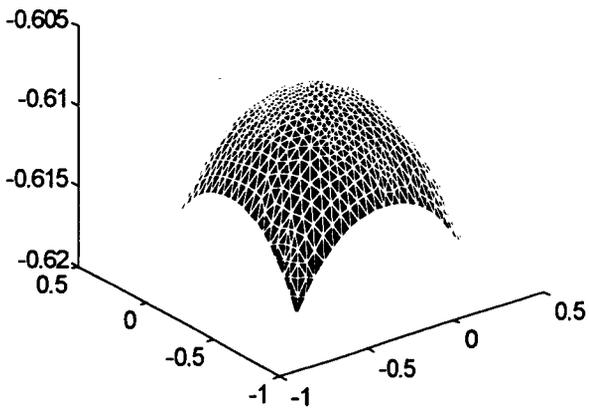
Time=0.25 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



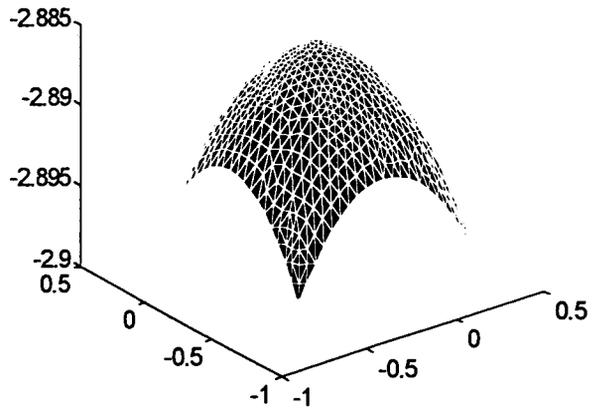
Time=0.3 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



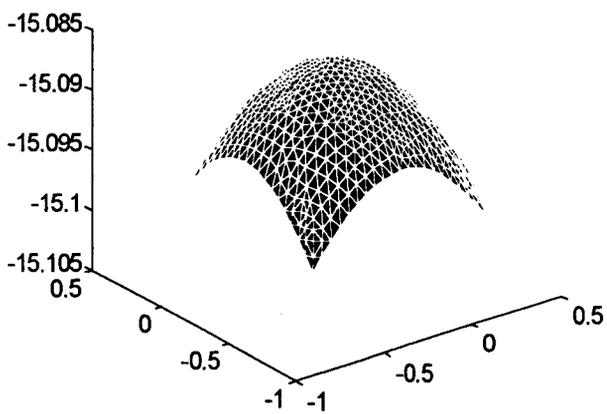
Time=0.5 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



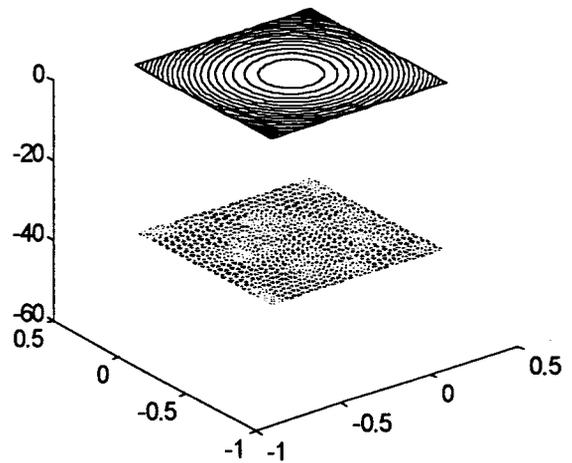
Time=1 Color: u Height: u Displacement: (u,v)



Time=2 Color: u Height: u Displacement: (u,v)

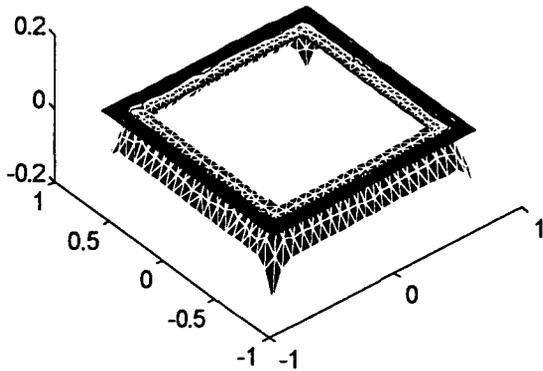


Time=3 Color: u Height: u Displacement: (u,v)

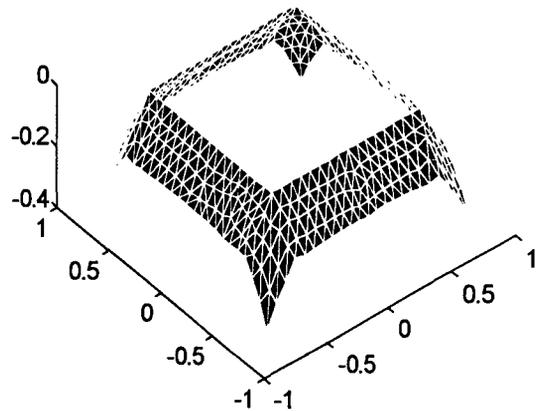


Evolutions dynamiques en présence d'un obstacle du tissu d'armure sergé, de chaîne en coton et de trame en polyester :

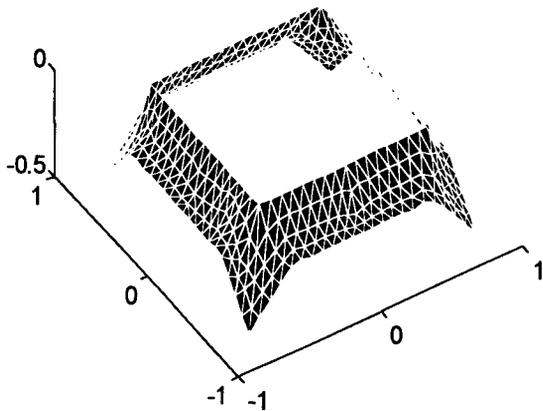
Time=0.1 Color: u Height: u



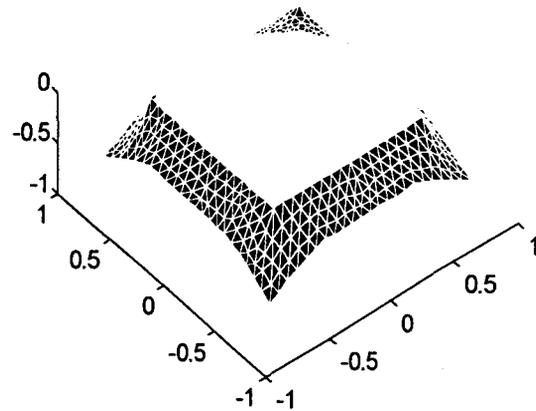
Time=0.2 Color: u Height: u



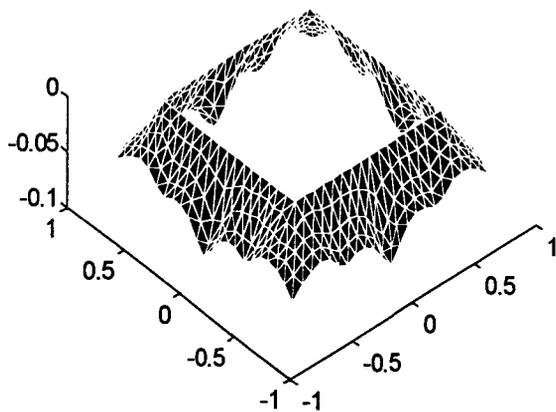
Time=0.3 Color: u Height: u



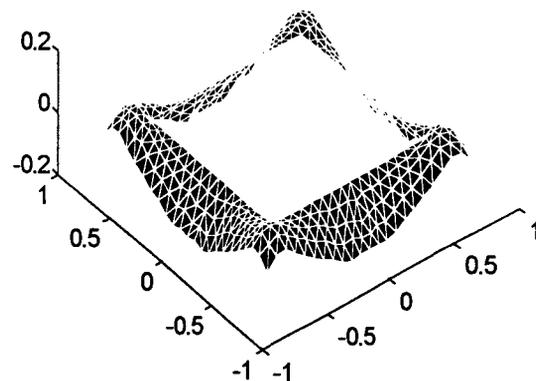
Time=0.4 Color: u Height: u



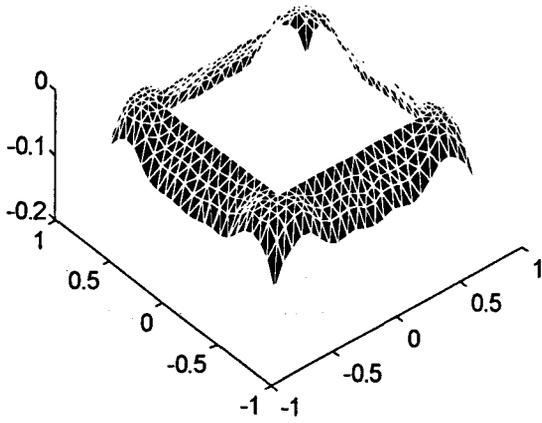
Time=0.5 Color: u Height: u



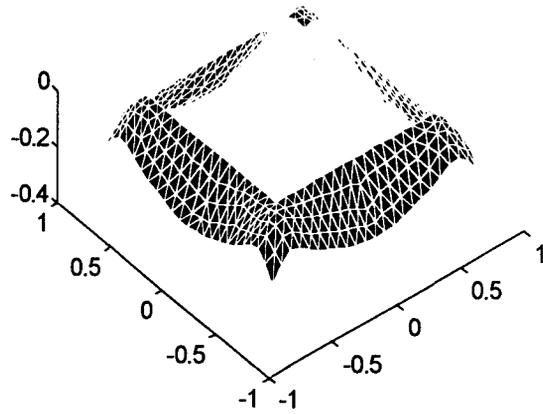
Time=1 Color: u Height: u



Time=3 Color: u Height: u

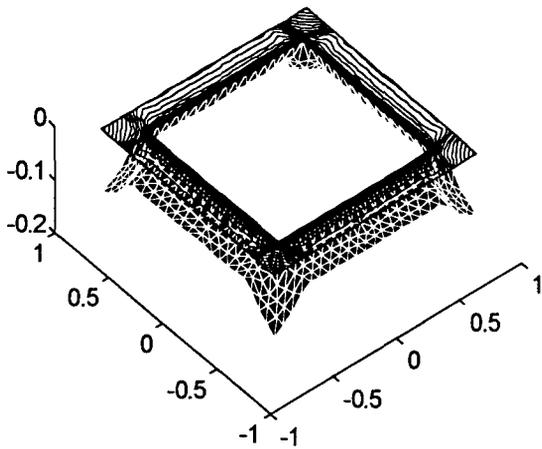


Time=6 Color: u Height: u

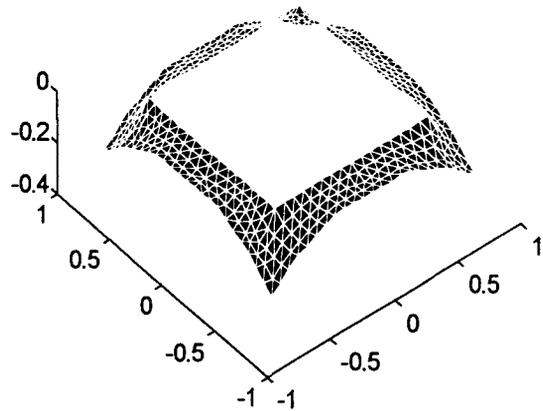


Evolutions dynamiques en présence d'un obstacle du tissu d'armure sergé, de chaîne en polyester et de trame en coton :

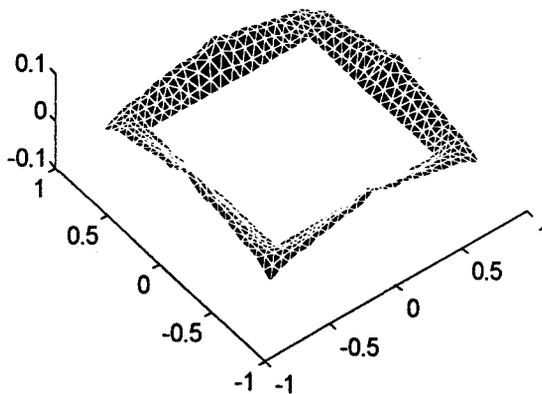
Time=0.1 Color: u Height: u



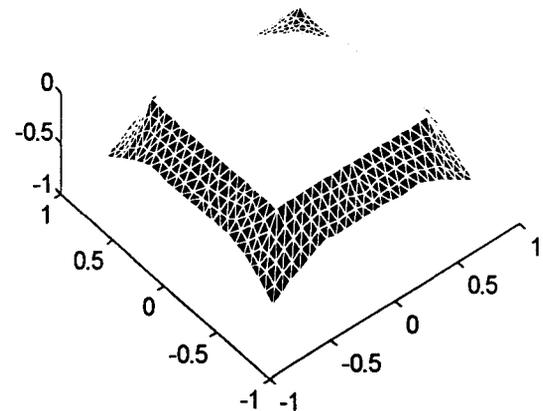
Time=0.2 Color: u Height: u



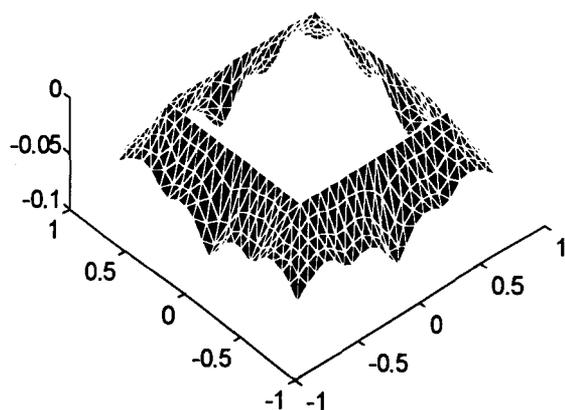
Time=0.3 Color: u Height: u



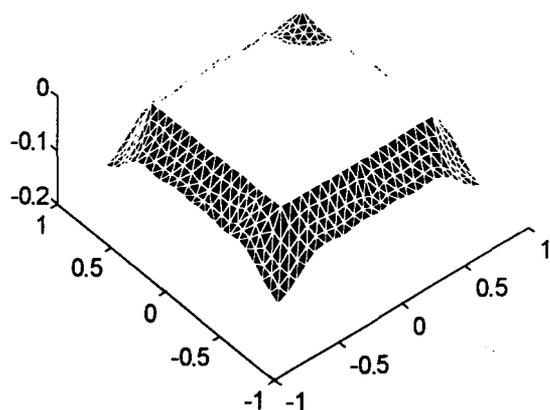
Time=0.4 Color: u Height: u



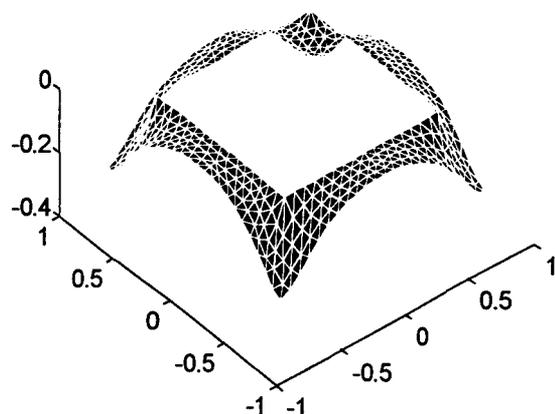
Time=0.5 Color: u Height: u



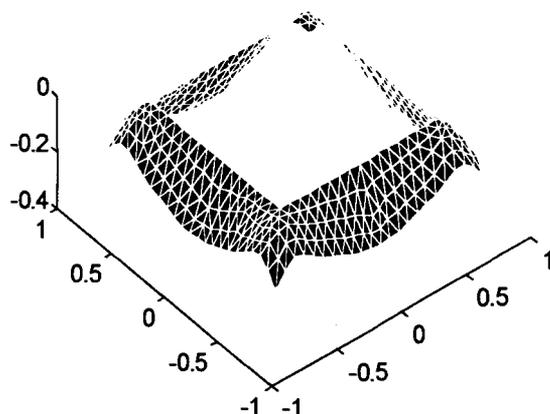
Time=1 Color: u Height: u



Time=3 Color: u Height: u

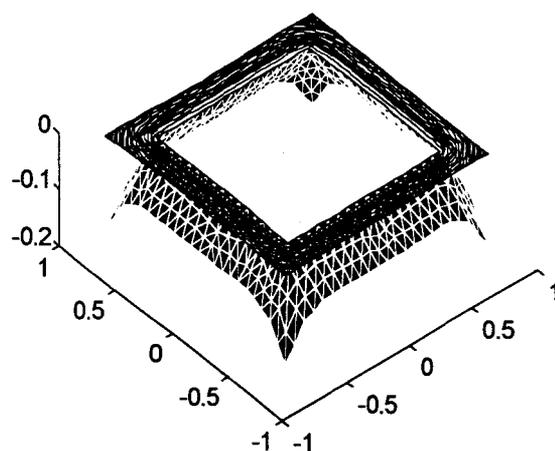


Time=6 Color: u Height: u

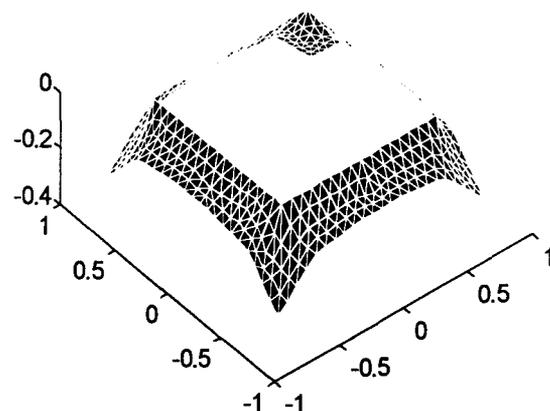


Evolutions dynamiques en présence d'un obstacle du tissu d'armure sergé, de chaîne en polyester et de trame en polyester :

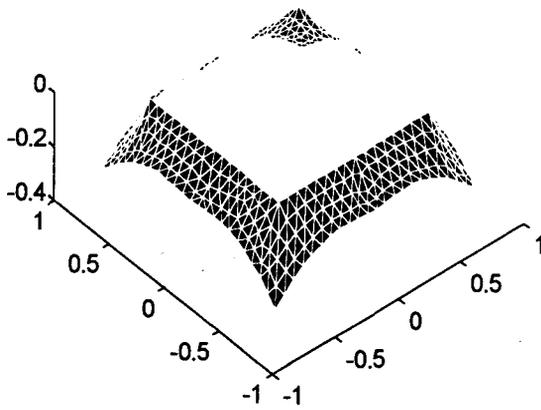
Time=0.1 Color: u Height: u



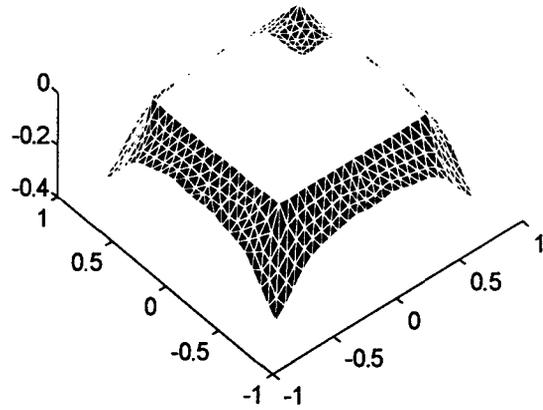
Time=0.2 Color: u Height: u



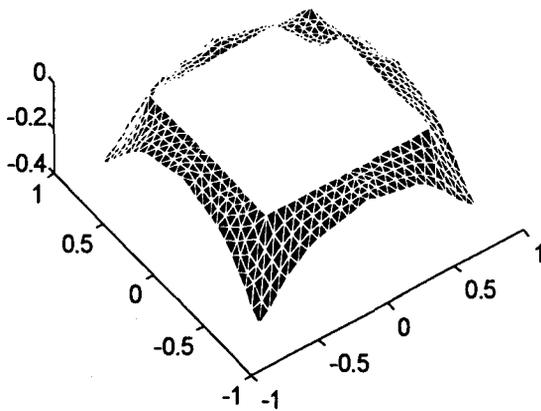
Time=0.3 Color: u Height: u



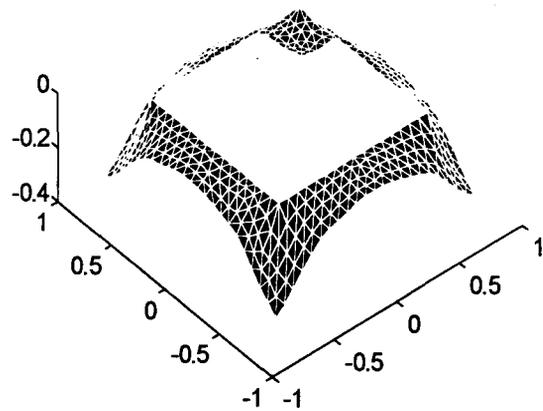
Time=0.4 Color: u Height: u



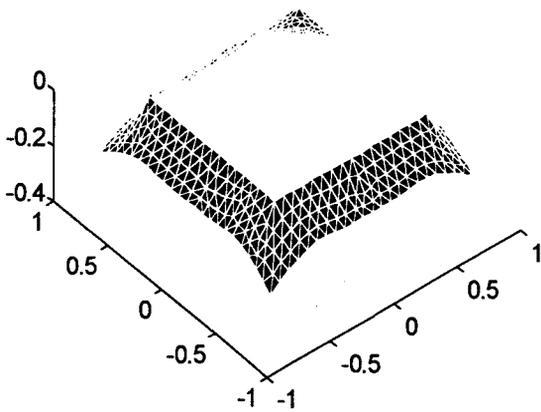
Time=0.5 Color: u Height: u



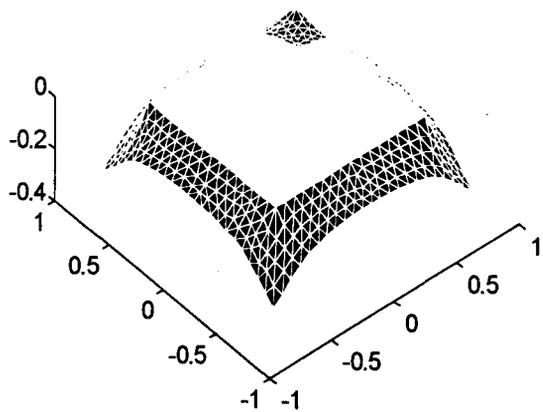
Time=1 Color: u Height: u



Time=3 Color: u Height: u

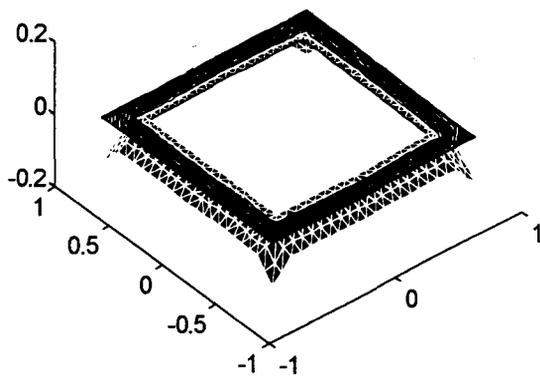


Time=6 Color: u Height: u

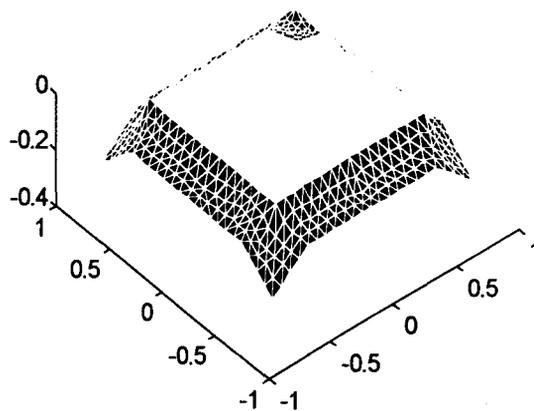


Evolutions dynamiques en présence d'un obstacle du tissu d'armure satin, de chaîne en coton et de trame en polyester :

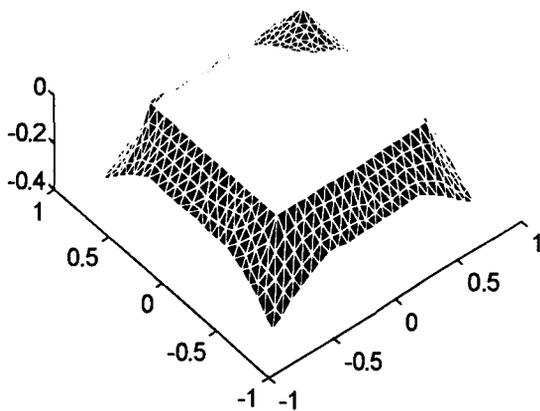
Time=0.1 Color: u Height: u



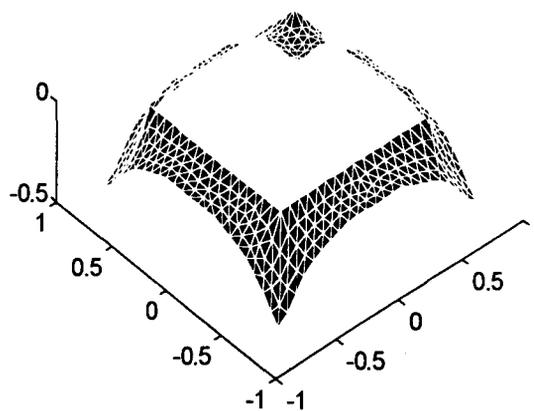
Time=0.2 Color: u Height: u



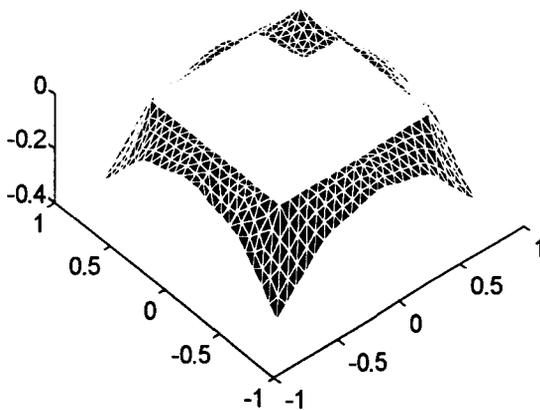
Time=0.3 Color: u Height: u



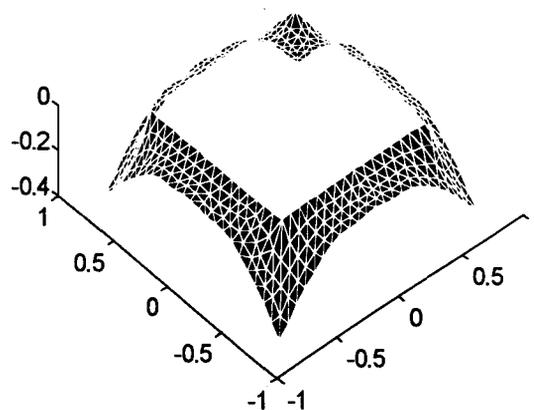
Time=0.4 Color: u Height: u



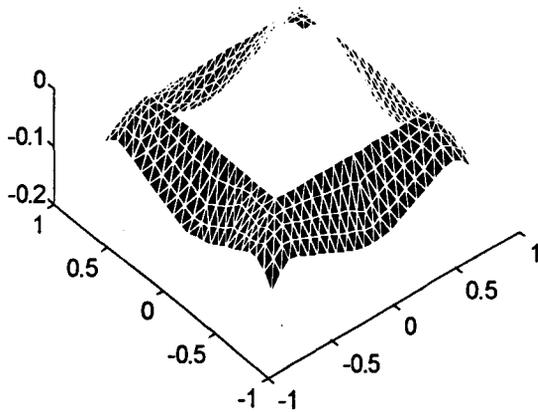
Time=0.5 Color: u Height: u



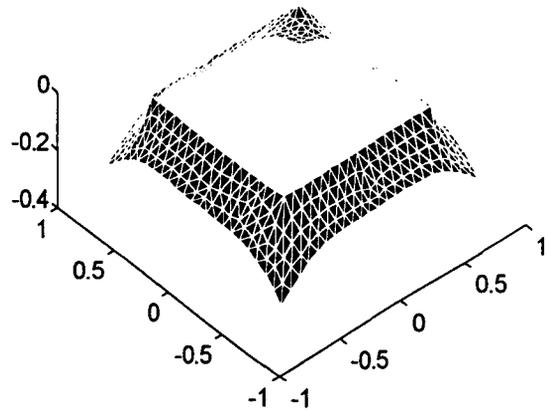
Time=1 Color: u Height: u



Time=3 Color: u Height: u

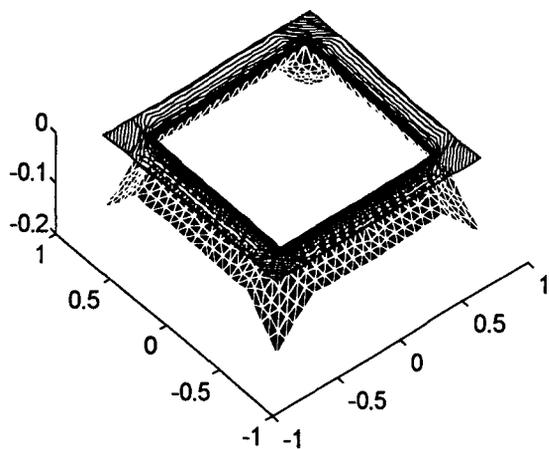


Time=6 Color: u Height: u

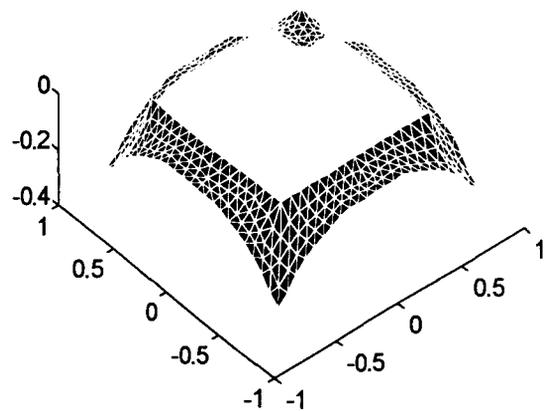


Evolutions dynamiques en présence d'un obstacle du tissu d'armure satin, de chaîne en polyester et de trame en coton:

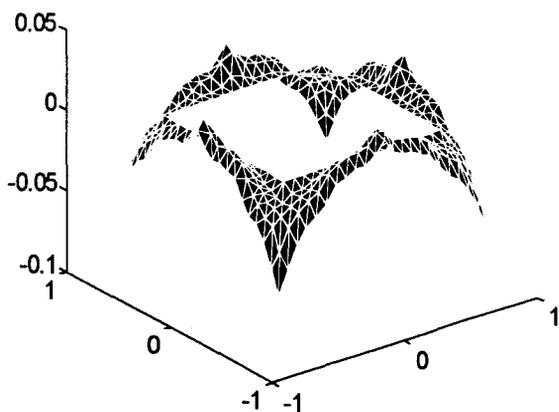
Time=0.1 Color: u Height: u



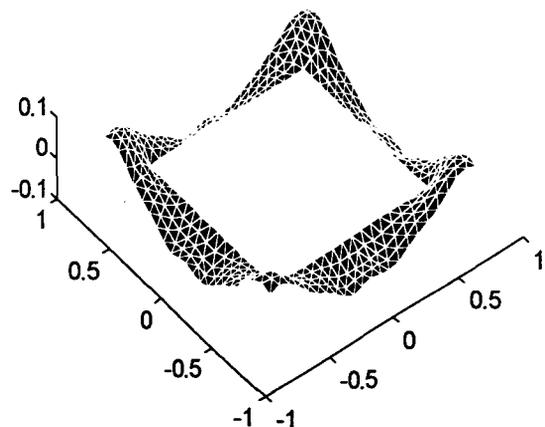
Time=0.2 Color: u Height: u



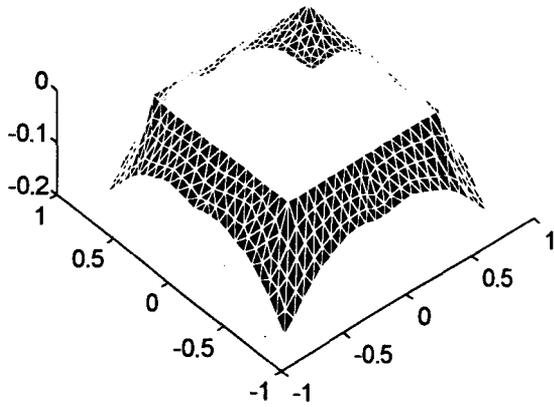
Time=0.3 Color: u Height: u



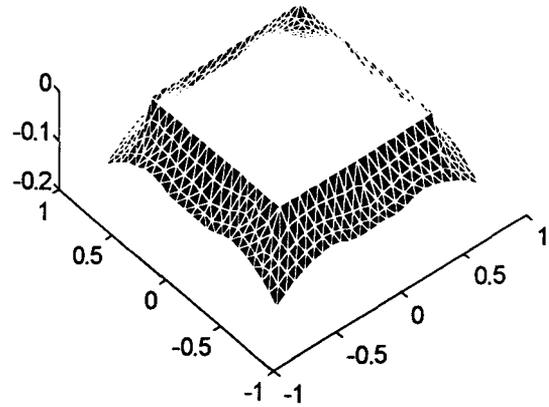
Time=0.4 Color: u Height: u



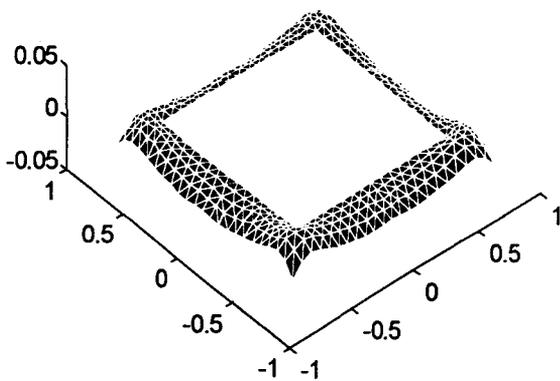
Time=0.5 Color: u Height: u



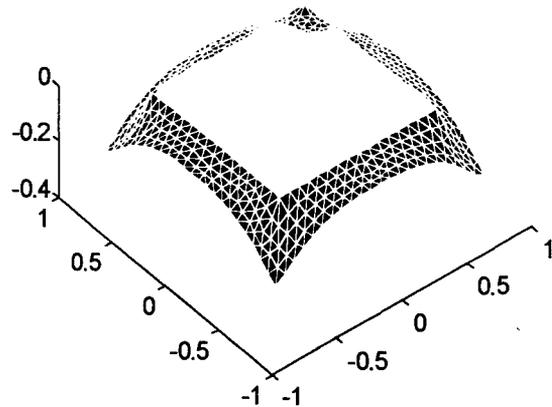
Time=1 Color: u Height: u



Time=3 Color: u Height: u

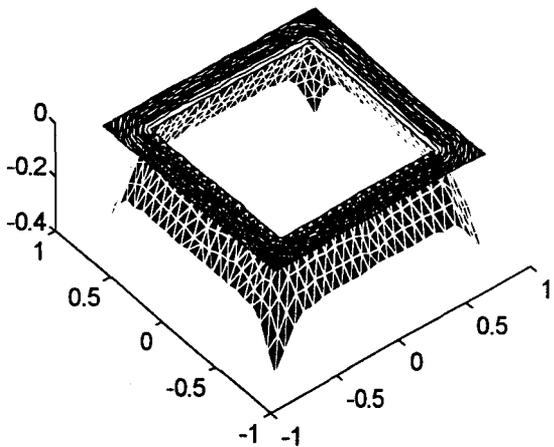


Time=6 Color: u Height: u

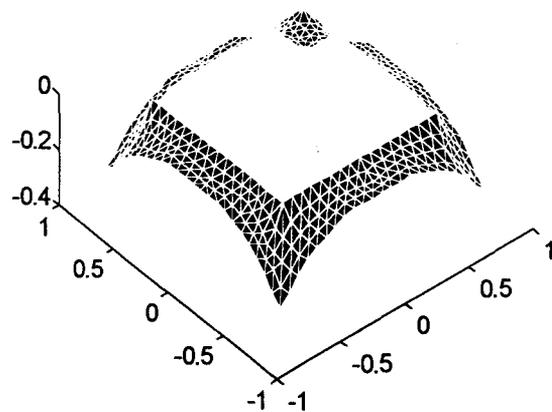


Evolutions dynamiques en présence d'un obstacle du tissu d'armure satin, de chaîne en polyester et de trame en polyester:

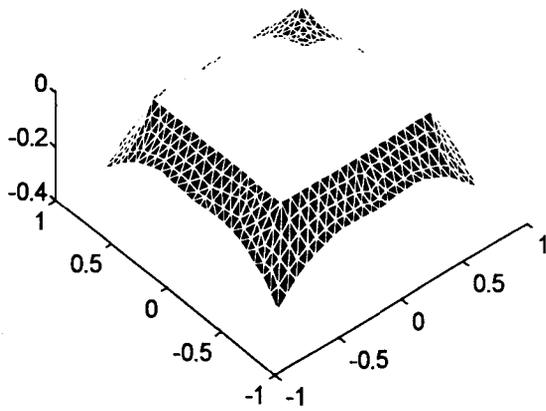
Time=0.1 Color: u Height: u



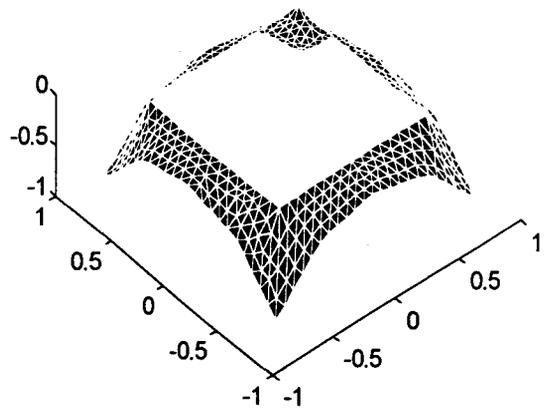
Time=0.2 Color: u Height: u



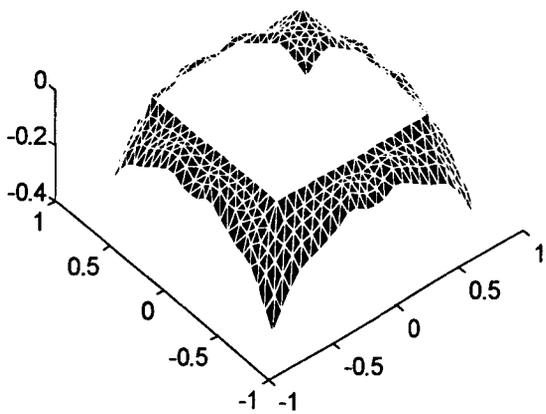
Time=0.3 Color: u Height: u



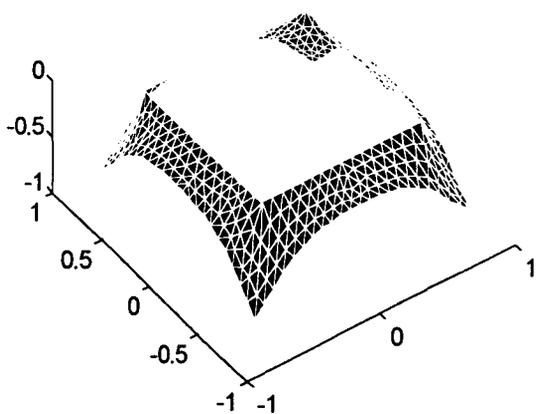
Time=0.4 Color: u Height: u



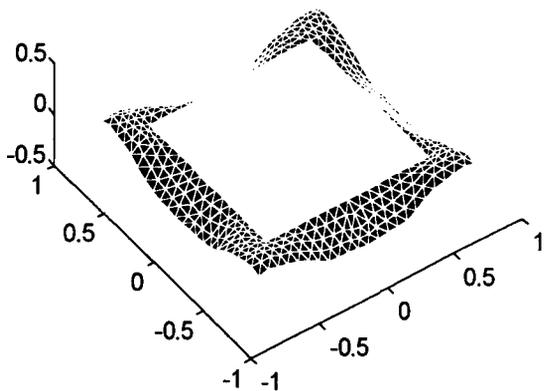
Time=0.5 Color: u Height: u



Time=1 Color: u Height: u



Time=3 Color: u Height: u



Time=6 Color: u Height: u

