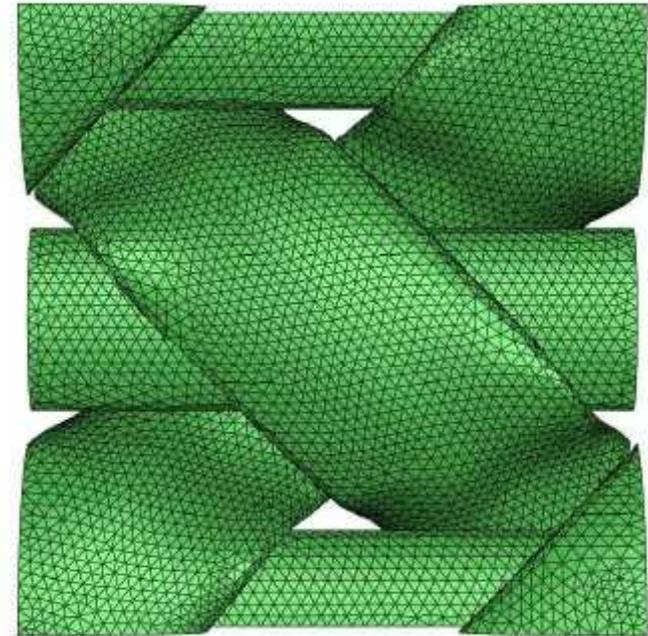


**Chapitre 04b:  
Pli en tissu de verre**

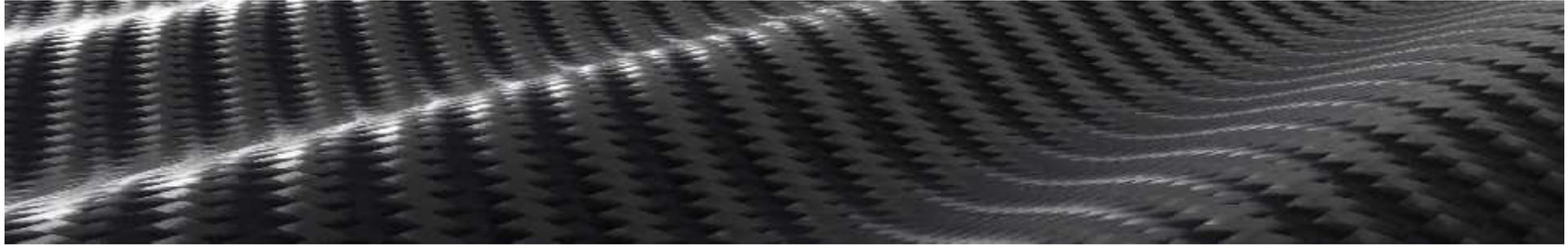
# Introduction

- Le but de ce chapitre est de déterminer les caractéristiques mécaniques d'un pli composé

- d'une résine (polyesters ou époxy),
- D'un tissu de verre (satin ou autres)



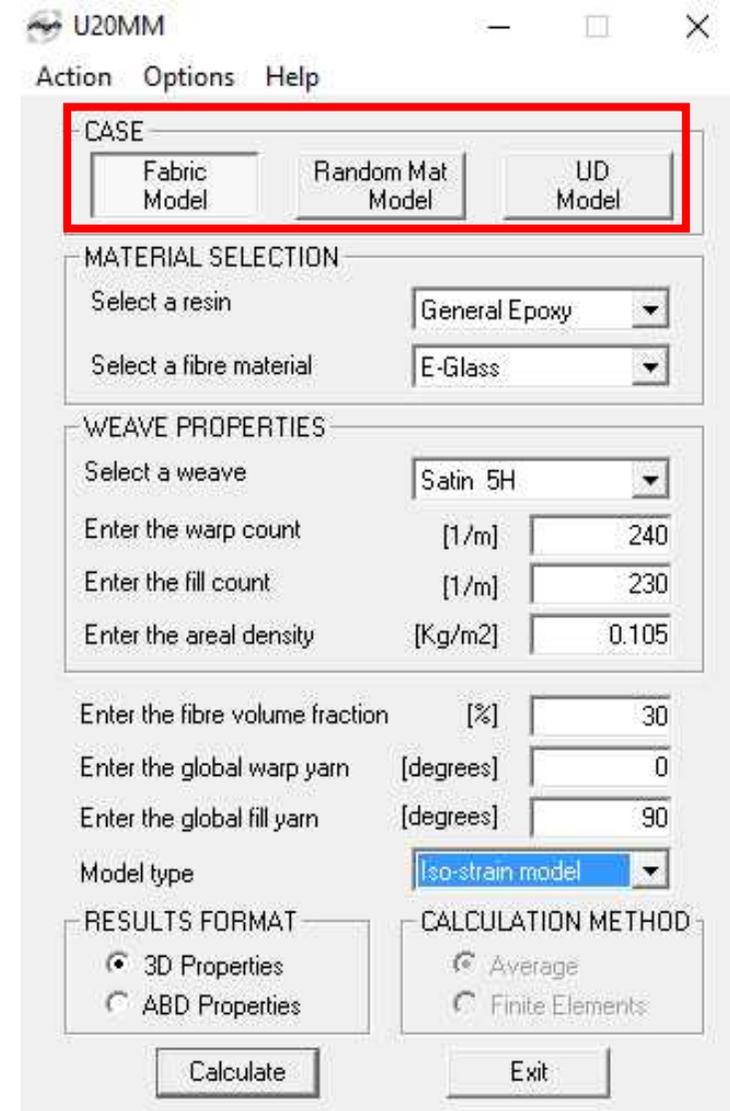
- Nous avons vu dans le chapitre 03 qu'il est difficile d'avoir une étude « analytique » comme dans le cas de l'UD (utilisation de la loi de mélange par exemple).



- Pour palier à ce problème on a une double démarche:
  - Approche quantitative: il s'agit d'utiliser un outil numérique : software U20M,
  - Approche qualitative: il s'agit d'interpréter les résultat numérique.
- sd

# U20M

- Cet outil est particulièrement intéressant pour « estimer » les coefficients mécaniques.
- Le software peut faire le calcul pour du tissu, du mat ou de l'UD.



# U20MM

- Au début il faut choisir une résine et un type de matériau:
- Pour le tissu, il faut préciser l'armature, le nombre de chaîne & trame par mètre.

MATERIAL SELECTION	
Select a resin	General Epoxy
Select a fibre material	E-Glass

WEAVE PROPERTIES	
Select a weave	Satin 5H
Enter the warp count	[1/m] 240
Enter the fill count	[1/m] 230
Enter the areal density	[Kg/m <sup>2</sup> ] 0.105

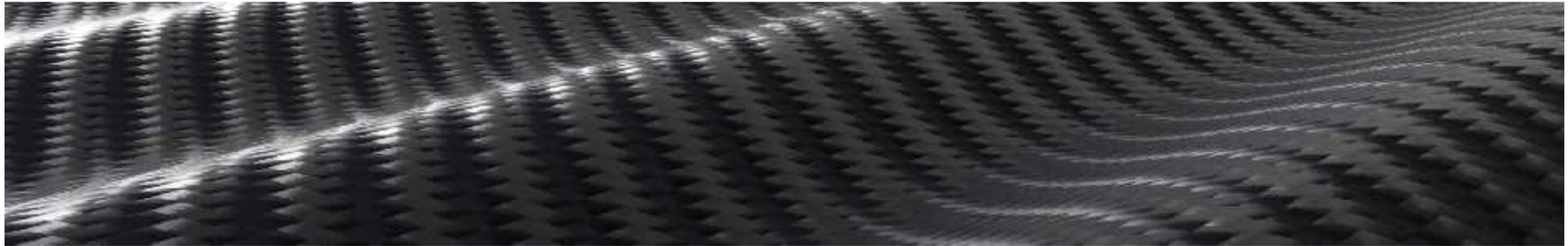
Info disponibles dans la fiche fournisseur:

Nominal construction

Warp : 24 yarn/cm  
Weft : 23 picks/cm

Nominal weight

105 g/m<sup>2</sup>



- Puis il faut préciser le volume relatif du renfort et la disposition des fils (par exemple 0 et 90°).

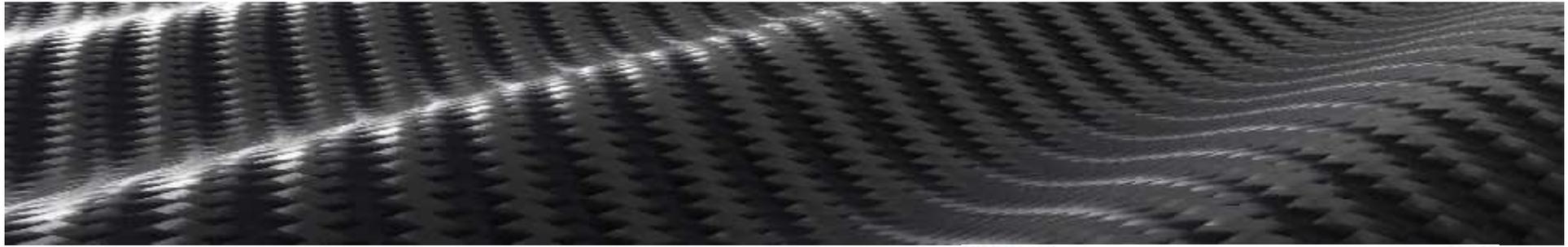
Enter the fibre volume fraction	[%]	<input type="text" value="30"/>
Enter the global warp yarn	[degrees]	<input type="text" value="0"/>
Enter the global fill yarn	[degrees]	<input type="text" value="90"/>

De façon général, notre méthode par voie humide et sans le vide ne peut dépasser les 30% de volume relatif en fibre.

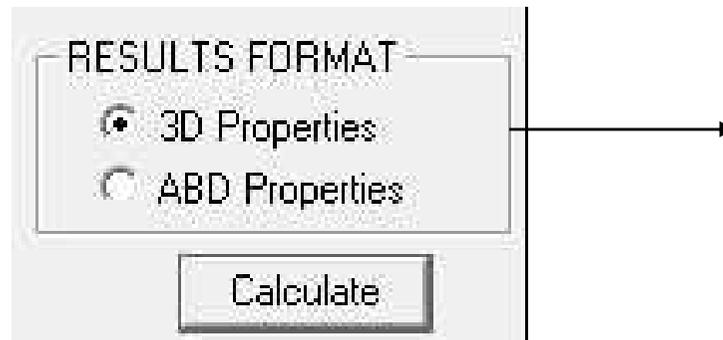
- Pour le calcul, on utilise un modèle iso-déformation (entre la matrice et le renfort)

Model type

Iso-strain model



- On utilise le format 3D:



- On a les coefficients mécaniques: module d'élasticité, cisaillement, poisson.

3D Results

Property	Unit	Value
Ex	[GPa]	15.8981
Ey	[GPa]	15.3756
Ez	[GPa]	7.10358
Gxy	[GPa]	2.34913
Gxz	[GPa]	2.37564
Gyz	[GPa]	2.37693
$\nu_{xy}$	[]	0.136954
$\nu_{xz}$	[]	0.423229
$\nu_{yz}$	[]	0.42661
$\nu_{yx}$	[]	0.132453
$\nu_{zx}$	[]	0.189106
$\nu_{zy}$	[]	0.197095
$\alpha_x$	[ppm/K]	22.0112
$\alpha_y$	[ppm/K]	22.9531
$\alpha_z$	[ppm/K]	74.9458
$\alpha_{xy}$	[ppm/K]	-4.62722e-015
C16/C11	[]	0
C26/C22	[]	0

Create Output File    Return

# Coefficients utiles

- Notre étude de l'UD nous a permis de savoir que les coefficients qui « pour le moment » vont nous intéresser sont:
  - Module d'Young suivant l'axe principale ( $0^\circ$ ):  $E_x$
  - Module d'Young suivant l'axe perpendiculaire ( $90^\circ$ ):  $E_y$ .

Ces deux coefficients ( $E_x$ ,  $E_y$ ) seront déterminant lors du calcul de la contrainte max du pli puis celle du stratifié.

# Satin 4H

- Satin de 4
- Masse  
106gr
- Chaîne:  
23.2/cm
- Trame:  
22.4/cm

U20MM

Action Options Help

CASE

Fabric Model Random Mat Model UD Model

MATERIAL SELECTION

Select a resin General Epoxy

Select a fibre material E-Glass

WEAVE PROPERTIES

Select a weave Satin 5H

Enter the warp count [1/m] 232

Enter the fill count [1/m] 224

Enter the areal density [Kg/m2] 0.106

Enter the fibre volume fraction [%] 30

Enter the global warp yarn [degrees] 0

Enter the global fill yarn [degrees] 90

Model type Iso-strain model

RESULTS FORMAT

3D Properties

ABD Properties

CALCULATION METHOD

Average

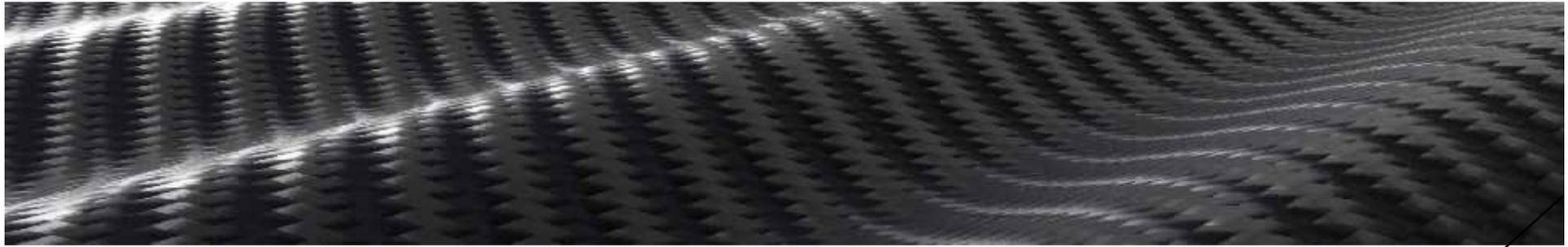
Finite Elements

Calculate Exit

3D Results

Property	Unit	Value
Ex	[GPa]	15.864
Ey	[GPa]	15.4355
Ez	[GPa]	7.10746
Gxy	[GPa]	2.35035
Gxz	[GPa]	2.37694
Gyz	[GPa]	2.37801
$\nu_{xy}$	[]	0.136476
$\nu_{xz}$	[]	0.423502
$\nu_{yz}$	[]	0.426273
$\nu_{yx}$	[]	0.13279
$\nu_{zx}$	[]	0.18974
$\nu_{zy}$	[]	0.196283
$\alpha_x$	[ppm/K]	22.08
$\alpha_y$	[ppm/K]	22.8511
$\alpha_z$	[ppm/K]	74.9306
$\alpha_{xy}$	[ppm/K]	-4.64406e-015
C16/C11	[]	0
C26/C22	[]	0

Create Output File Return



**CASE**

**MATERIAL SELECTION**

Select a resin:

Select a fibre material:

**WEAVE PROPERTIES**

Select a weave:

Enter the warp count [1/m]:

Enter the fill count [1/m]:

Enter the areal density [Kg/m2]:

Enter the fibre volume fraction [%]:

Enter the global warp yarn [degrees]:

Enter the global fill yarn [degrees]:

Model type:

**RESULTS FORMAT**

3D Properties  
 ABD Properties

**CALCULATION METHOD**

Average  
 Finite Elements

**3D Results**

Property	Unit	Value
Ex	[GPa]	15.6664
Ey	[GPa]	15.6664
Ez	[GPa]	7.11263
Gxy	[GPa]	2.35286
Gxz	[GPa]	2.3836
Gyz	[GPa]	2.3836
$\nu_{xy}$		0.134372
$\nu_{xz}$		0.425141
$\nu_{yz}$		0.425141
$\nu_{yx}$		0.134372
$\nu_{zx}$		0.193016
$\nu_{zy}$		0.193016
$\alpha_x$	[ppm/K]	22.4511
$\alpha_y$	[ppm/K]	22.4511
$\alpha_z$	[ppm/K]	74.8658
$\alpha_{xy}$	[ppm/K]	-4.70582e-015
C16/C11		0
C26/C22		0

# Satin 8H 299gr

CASE

MATERIAL SELECTION

Select a resin:

Select a fibre material:

WEAVE PROPERTIES

Select a weave:

Enter the warp count [1/m]:

Enter the fill count [1/m]:

Enter the areal density [Kg/m2]:

Enter the fibre volume fraction [%]:

Enter the global warp yarn [degrees]:

Enter the global fill yarn [degrees]:

Model type:

RESULTS FORMAT

3D Properties

ABD Properties

CALCULATION METHOD

Average

Finite Elements

Property	Unit	Value
Ex	[GPa]	15.9338
Ey	[GPa]	15.2621
Ez	[GPa]	7.09229
Gxy	[GPa]	2.34663
Gxz	[GPa]	2.37789
Gyz	[GPa]	2.37835
$\nu_{xy}$	[]	0.137624
$\nu_{xz}$	[]	0.423221
$\nu_{yz}$	[]	0.427488
$\nu_{yx}$	[]	0.131806
$\nu_{zx}$	[]	0.188357
$\nu_{zy}$	[]	0.198654
$\alpha_x$	[ppm/K]	21.9295
$\alpha_y$	[ppm/K]	23.149
$\alpha_z$	[ppm/K]	74.9378
$\alpha_{xy}$	[ppm/K]	-4.59441e-015
C16/C11	[]	0
C26/C22	[]	0

# Taffetas Sotucide 200gr 110fils/m

3D Results

Property	Unit	Value
Ex	[GPa]	15.6723
Ey	[GPa]	15.6722
Ez	[GPa]	7.11432
Gxy	[GPa]	2.35285
Gxz	[GPa]	2.38136
Gyz	[GPa]	2.38136
$\nu_{xy}$	[]	0.134443
$\nu_{xz}$	[]	0.424948
$\nu_{yz}$	[]	0.424948
$\nu_{yx}$	[]	0.134443
$\nu_{zx}$	[]	0.192903
$\nu_{zy}$	[]	0.192903
$\alpha_x$	[ppm/K]	22.4394
$\alpha_y$	[ppm/K]	22.4394
$\alpha_z$	[ppm/K]	74.886
$\alpha_{xy}$	[ppm/K]	-4.70703e-015
C16/C11	[]	0
C26/C22	[]	0

Calculate      Exit      Create Output File      Return

CASE

Fabric Model      Random Mat Model      UD Model

MATERIAL SELECTION

Select a resin: General Epoxy

Select a fibre material: E-Glass

WEAVE PROPERTIES

Select a weave: Plain

Enter the warp count [1/m]: 110

Enter the fill count [1/m]: 110

Enter the areal density [Kg/m2]: 0.200

Enter the fibre volume fraction [%]: 30

Enter the global warp yarn [degrees]: 0

Enter the global fill yarn [degrees]: 90

Model type: Iso-strain model

RESULTS FORMAT

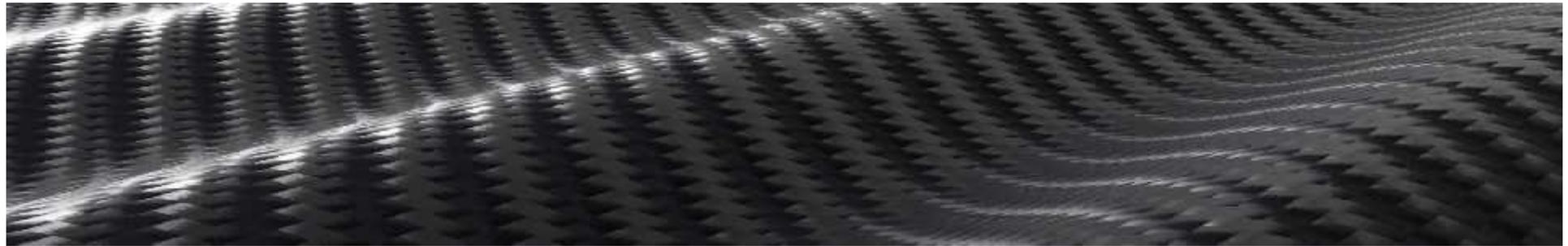
3D Properties

ABD Properties

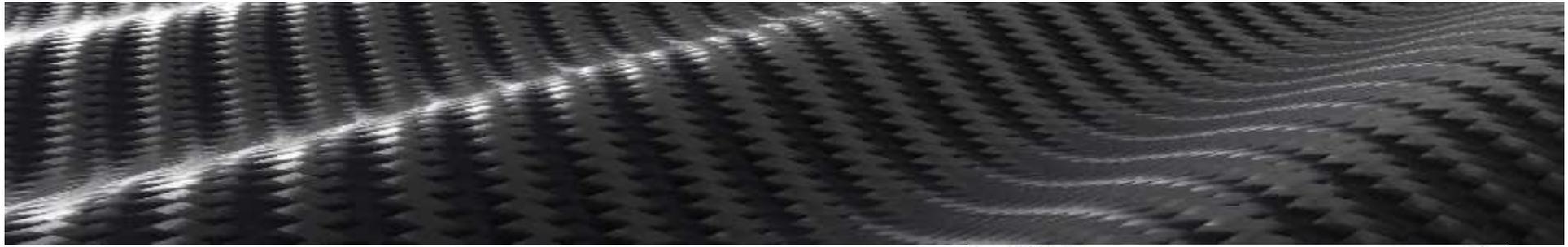
CALCULATION METHOD

Average

Finite Elements



Property	Unit	Value	Value	Value
$E_x$	[GPa]	15.864	15.9358	15.6722
$E_y$	[GPa]	15.4355	15.2621	15.6722
$E_z$	[GPa]	7.10746	7.09229	7.11432
$G_{xy}$	[GPa]	2.35035	2.34663	2.35285
$G_{xz}$	[GPa]	2.37694	2.37789	2.38136
$G_{yz}$	[GPa]	2.37801	2.37835	2.38136



U20MM

Action Options Help

CASE

Fabric Model Random Mat Model UD Model

MATERIAL SELECTION

Select a resin ACG LTM 10

Select a fibre material E-Glass

WEAVE PROPERTIES

Select a weave Torayca M 55 J  
User defined  
UserUD01  
basket zxz

Enter the warp count [1/m] 0

Enter the fill count [1/m] 0

Enter the areal density [Kg/m<sup>2</sup>] 0

Enter the fibre volume fraction [%] 0

Enter the global warp yarn [degrees] 0

Enter the global fill yarn [degrees] 0

Model type Iso-stress model

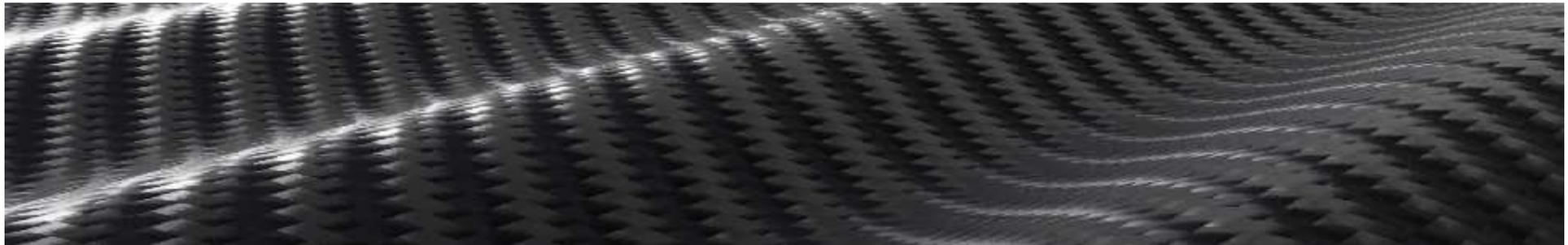
RESULTS FORMAT

3D Properties  
 ABD Properties

CALCULATION METHOD

Average  
 Finite Elements

Calculate Exit



3D Results

Property	Unit	Value
$E_x$	[GPa]	15.8981
$E_y$	[GPa]	15.3756
$E_z$	[GPa]	7.10358
$G_{xy}$	[GPa]	2.34913
$G_{xz}$	[GPa]	2.37564
$G_{yz}$	[GPa]	2.37693
$\nu_{xy}$	[]	0.136954
$\nu_{xz}$	[]	0.423229
$\nu_{yz}$	[]	0.42661
$\nu_{yx}$	[]	0.132453
$\nu_{zx}$	[]	0.189106
$\nu_{zy}$	[]	0.197095
$\alpha_x$	[ppm/K]	22.0112
$\alpha_y$	[ppm/K]	22.9531
$\alpha_z$	[ppm/K]	74.9458
$\alpha_{xy}$	[ppm/K]	-4.62722e-015
C16/C11	[]	0
C26/C22	[]	0

U20MM

Action Options Help

CASE

MATERIAL SELECTION

Select a resin:

Select a fibre material:

WEAVE PROPERTIES

Select a weave:

Enter the warp count: [1/m]

Enter the fill count: [1/m]

Enter the areal density: [Kg/m2]

Enter the fibre volume fraction: [%]

Enter the global warp yarn: [degrees]

Enter the global fill yarn: [degrees]

Model type:

RESULTS FORMAT

3D Properties  
 ABD Properties

CALCULATION METHOD

Average  
 Finite Elements

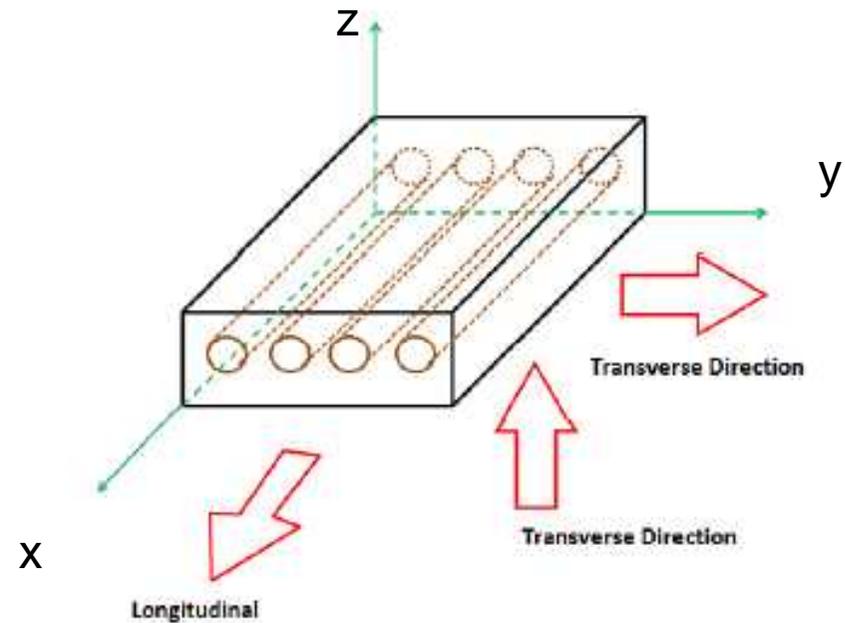
# Sommaire :

## **Introduction**

- **Loi de mélange**
- **Aspect quantitatif**
- **Coeff mécaniques**
- **Autres modèles**
- **Annexes**

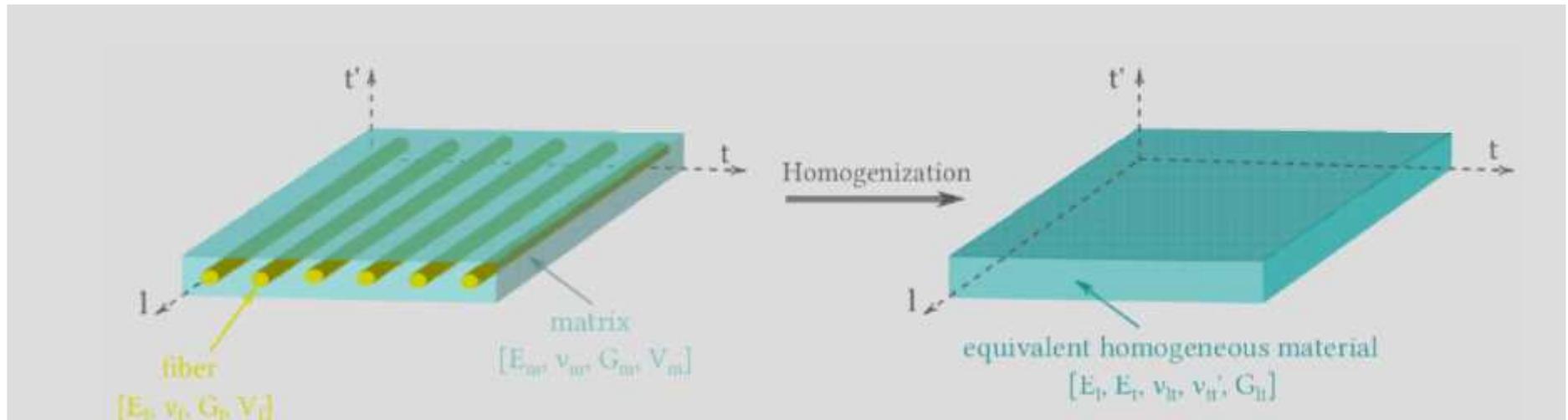
# Introduction

- Un pli UD composite est constitué d'un tissu unidirectionnel (renfort) imprégné de résine (matrice).
- On a une direction « privilégiée » qui est dans *le sens du renfort*.
- Ce pli est caractérisé par plusieurs coefficients mécaniques.



# Introduction

- On s'intéresse aux: module d'**Young longitudinal**, **transversal**, coefficient de **poisson** longitudinal/transverse et le **cisaillement** longitudinal/ transverse.
- On cherche aussi la contrainte max.
- Ainsi on peut modéliser un matériau hétérogène par un matériau homogène, mais anisotrope.



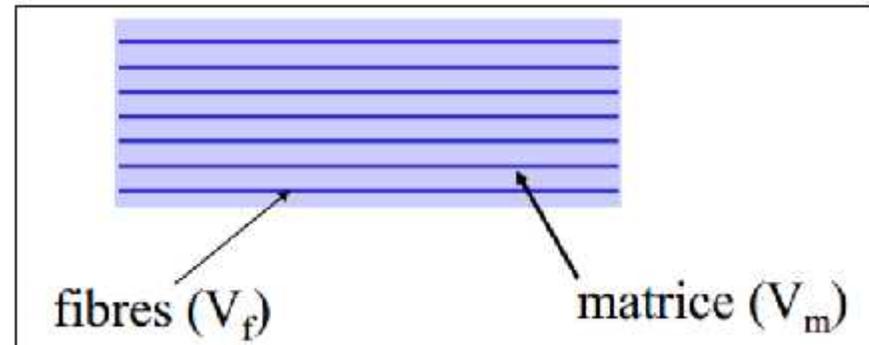
# Sommaire :

- Introduction
-  **Loi de mélange**
  - Aspect quantitatif
  - Coeff mécaniques
  - Autres modèles
  - Annexes

# Fraction volumique

REF DOC E P76

- On va utiliser **la loi de mélange** dans notre étude.
- Les propriétés mécaniques dépendent du **volume relatif** de chaque composant:



$$V_{\% \text{ fibre}} = V_{\text{ fibre }} / V_{\text{ total }}$$

$$V_{\% \text{ matrice}} = V_{\text{ matrice }} / V_{\text{ total }}$$

$$V_{\% \text{ matrice}} + V_{\% \text{ fibre}} = 1$$

On démontre facilement que:

$$p_{li} = \text{résine } V_{\% \text{ matrice}} + \text{ fibre } V_{\% \text{ fibre}}$$

# Fraction massique

- On peut aussi définir la fraction massique:

$$M_{\% \text{ fibre}} = M_{\text{ fibre }} / M_{\text{ totale }}$$

$$M_{\% \text{ matrice}} = M_{\text{ matrice }} / M_{\text{ totale }}$$

$$M_{\% \text{ matrice}} + M_{\% \text{ fibre}} = 1$$

On démontre facilement que:

$$\frac{1}{\text{pli}} = \frac{M_{\% \text{ matrice}}}{\text{matrice}} + \frac{M_{\% \text{ fibre}}}{\text{fibre}}$$

# Ordre de grandeur

- Un pli composé d'un fibre de de verre de de verre de 165gr/m<sup>2</sup> et de la résine (1 pour 1) aura:
  - Une masse volumique de 1642kg/m<sup>3</sup>,
  - Un V%<sub>fibre</sub> de 31.58%
  - Une épaisseur de 0.2mm

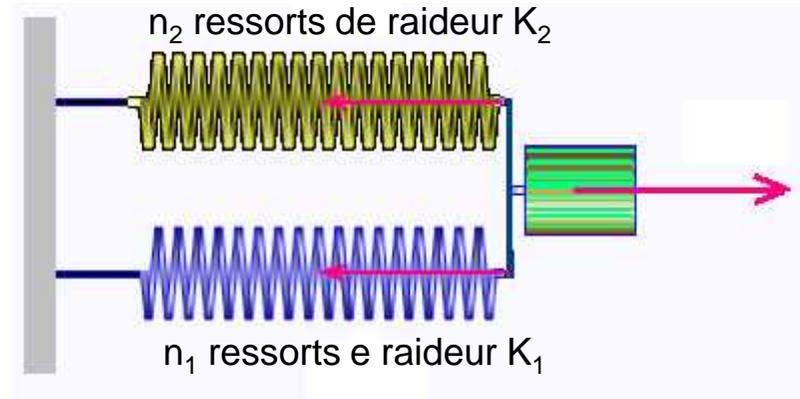
Avec le vide on arrive à 50 voir 80% de V%<sub>fibre</sub>.  
C'est une couche plus résistante mais plus fine.

# Sommaire :

- Introduction
- Loi de mélange
-  **Aspect quantitatif**
- Coeff mécaniques
- Autres modèles
- Annexes

# Le modèle ressorts en parallèle

- Le pli soumis à une contrainte longitudinale est « équivalent » un système de ressorts en parallèle:



- Tous les ressorts ont le même allongement **X**. On parle d'**iso-déformation**.
- En écrivant que force totale est la somme de toutes les forces appliquées à chaque ressort, on peut écrire que:

$$F_{eq} = (n_1 K_1 + n_2 K_2) X$$

- La combinaison des ressorts en parallèle, est équivalente à un ressort de la raideur suivante:

$$K_{eq} = n_1 K_1 + n_2 K_2$$

# Le modèle ressorts en parallèle

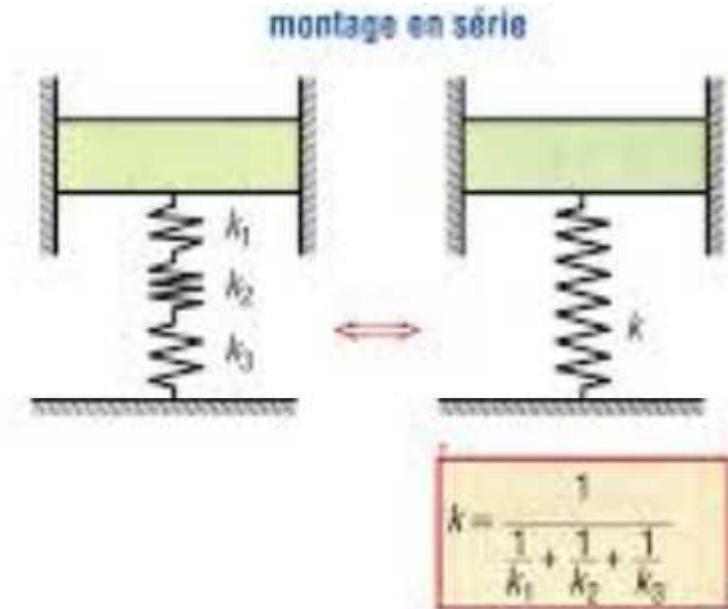
- C'est une combinaison linéaire assez intuitive: les ressorts les plus rigides ajoutent de la rigidité au système, proportionnellement à leur nombre.
- Pour le pli, combinaison de fils et de résine (matrice), on s'attend à un résultat équivalent, avec:

E eq à K  
et  
V% équivalent à n<sub>i</sub>

$$E_{\text{Long}} = E_{\text{matrice}} V_{\% \text{matrice}} + E_{\text{fibre}} V_{\% \text{fibre}}$$

# Le modèle ressorts en série

- Lorsqu'on a un montage en série des ressorts, la raideur équivalent se calcule de la façon suivante:
- La même force s'exerce sur chaque ressort (équilibre)
- On parle d'iso-contrainte.



$$\frac{1}{K_{eq}} = \frac{1}{K_1} n_1 + \frac{1}{K_2} n_2$$

- Un résultat à retenir lorsqu'on a un modèle à iso-contrainte.

# Attention !!

- On peut être tenter de généraliser cet aspect qualitatif à la fameuse relation  $U=RI$  en considérant que  $R$  joue le rôle du  $K$  (raideur du ressort).
- **Attention, ceci est faux!**
- La résistance implique un processus dissipatif. C'est l'équivalent d'un frottement en mécanique!

# Attention !!

- La bonne analogie mécanique / électrique est de prendre la capacité C ( $Q=CU$ )

Mécanique

Electrique

Parallèle:  $K_{eq} = n_1 K_1 + n_2 K_2$

$$C_{eq} = n_1 C_1 + n_2 C_2$$

Série:  $\frac{1}{K_{eq}} = \frac{1}{K_1} n_1 + \frac{1}{K_2} n_2$

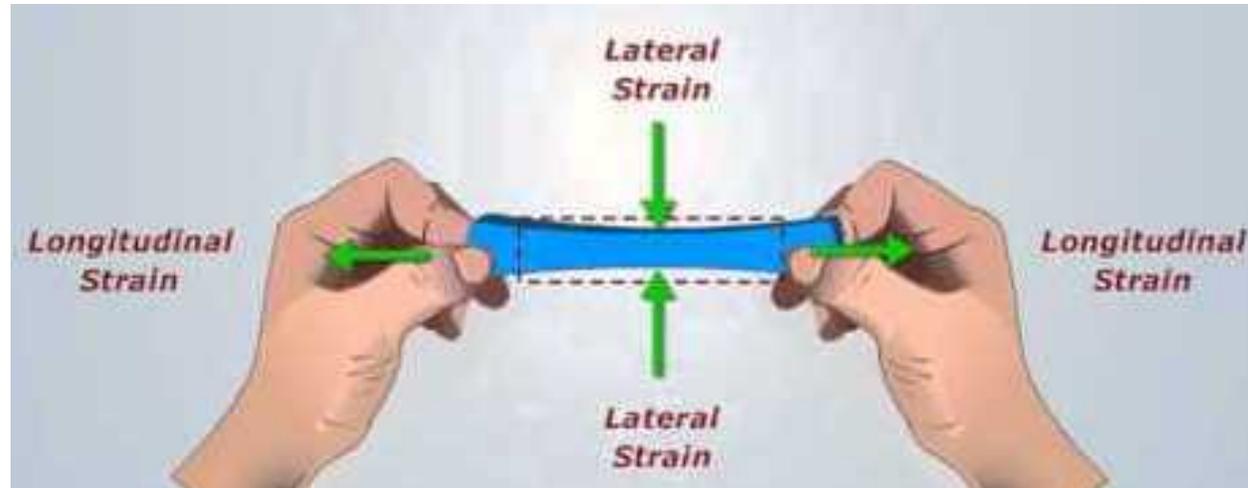
$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} n_1 + \frac{1}{C_2} n_2$$

En MMC, le E est équivalent du K!

# Sommaire :

- Introduction
- Loi de mélange
- Aspect quantitatif
-  **Coeff mécaniques**
- Annexes

# Rappel



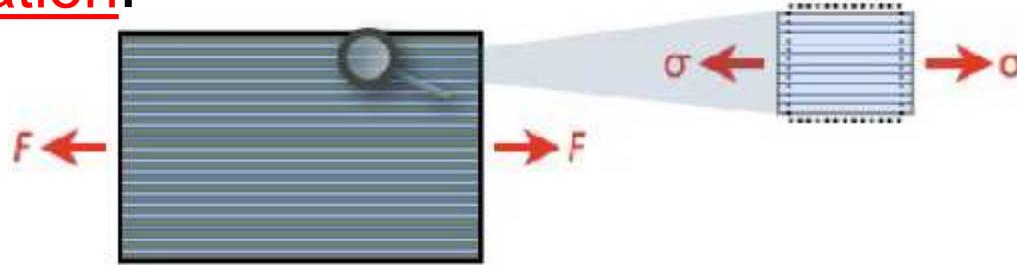
- Une contrainte longitudinale produit:
  - Un allongement longitudinale  $\epsilon_L$
  - Un rétrécissement transversale  $\epsilon_T$
  - Les deux variations sont liés par le coefficient de poisson «  
».

$$\sigma_L = E \cdot \epsilon_L \quad \epsilon_T = -\nu \cdot \epsilon_L$$

# Contrainte longitudinale: 1-Module d'Young longitudinal

REF DOC E P76

- L'hypothèse de travail est de considérer que l'allongement des fibres et celui de la matrice sont identiques -> on parle d'iso-déformation.



- On peut démontrer facilement que le pli se comporte comme s'il a le module d'Young suivant:

$$= E_{\text{Long}} \epsilon_{\text{pli}} \text{ avec:}$$

$$E_{\text{Long}} = E_{\text{matrice}} V_{\% \text{matrice}} + E_{\text{fibre}} V_{\% \text{fibre}}$$

- **Commentaire** : On retrouve bien le raisonnement qualitatif.
- Certains écrivent  $E_x$  avec  $x$  la direction des fibres.

# Contrainte longitudinale: 2- Coefficient de Poisson

REF DOC E P78

- Dans le plan transverse, la déformation de chaque élément est liée à sa déformation longitudinale via le coefficient de Poisson.
- Via la composition du pli, on montre que le coefficient de Poisson « longitudinal » est une combinaison linéaire des coefficients de Poisson des constituants pondérée de leurs fractions volumiques respectifs.

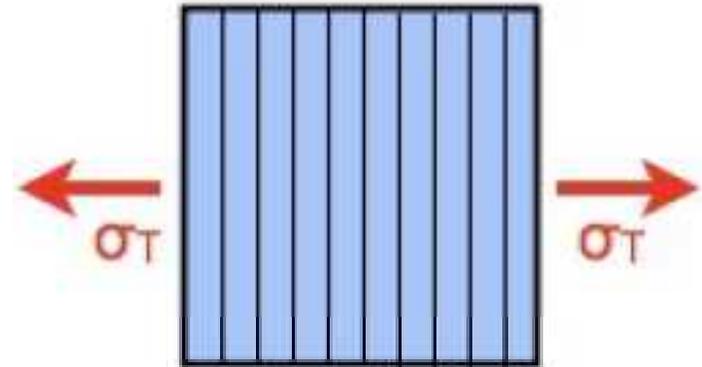
$$\text{Long} = \text{matrice } V\% \text{matrice} + \text{fibre } V\% \text{fibre}$$

## Commentaire:

- On retrouve un résultat similaire au module d'Young longitudinal.
- Certains note ce coefficient:  $\text{Long} = \text{LT} = \text{xy} = \text{xz}$ , avec x la direction des fibres et (y,z) les directions perpendiculaires.

# Contrainte longitudinale: 3-Module d'Young transversal

- Dans cette configuration, chaque portion de fibre / matrice est en équilibre -> on parle l'*iso-contrainte*.



- Le calcul détaillé dans le DOC D P68 démontre que le module d'Young transverse est de la forme suivante:

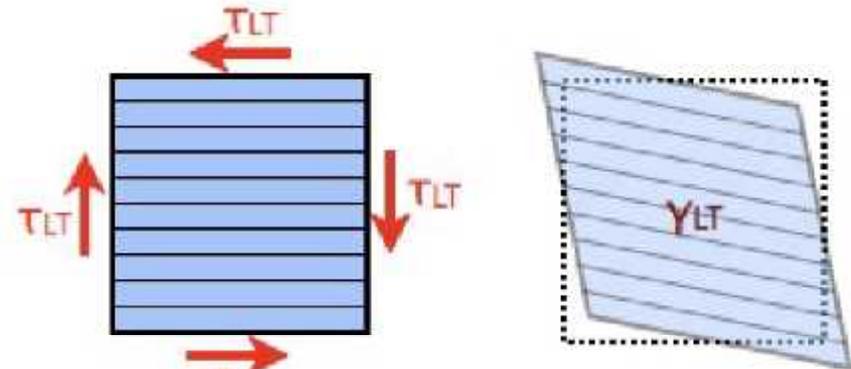
$$\frac{1}{E_T} = \frac{1}{E_{matrice}} V_{matrice} + \frac{1}{E_{T fibre}} V_{fibre}$$

- **Commentaire** : certains écrivent  $E_T = E_y = E_z$  avec (y,z) les directions perpendiculaires aux fibres.

# 4-Cisaillement longitudinal / transverse

REF DOC F page 4 & DOG G page

- Le document F résume bien la situation. Nous avons des contraintes de cisaillement dans le plan (x,y).
- Du faite que la matériau est anisotrope dans le sens des fibre, on ne peut pas utiliser la formule classique qui relie le module d'Young et le coefficient de poisson au cisaillement.



- Le document G nous donne l'expression recherchée:

$$\frac{1}{G_{LT}} = \frac{1}{G_{matrice}} V\%matrice + \frac{1}{G_{Tfibre}} V\%fibre$$

## Commentaire:

- On retrouve un résultat similaire au module d'Young transversal.
- Certains note ce coefficient:  $G_{LT} = G_{xy} = G_{xz}$ , avec x la direction des fibres et (y,z) les directions perpendiculaires.

# 5-Contrainte max

REF DOC H

- On considère que c'est le renfort qui détermine la limite élastique de l'ensemble..
- La matrice est plus souple est donc elle peut mieux résister à un allongement important.
- La loi de mélange nous donne:

$$\max_{\text{pli}} = \max_{\text{fibre}} [V_{\% \text{ fibre}} + V_{\% \text{ matrice}} * E_{\text{matrice}} / E_{\text{fibre}}]$$

- Pour la démonstration, il suffit d'écrire:

$$\max_{\text{pli}} / E_L = \text{allongement max} = \max_{\text{fibre}} / E_{\text{fibre}}$$

- Compte tenu de la forte différence entre les module d'Young de la matrice et du renfort (rapport de 1/15) on en déduit:

$$\max_{\text{pli}} \sim \max_{\text{fibre}} V_{\% \text{ fibre}}$$

# Exemple

- On prend un fibre de verre  $E_l = 2.6 \text{Kg/m}^3$ ,  $82.5 \text{gr/m}^2$ ,  $E_l = 73 \text{GPa}$ ,  $E_t = 68 \text{GPa}$ ,  $\nu = 0.25$ ,  $G = 30 \text{GPa}$ ,  $\sigma_{\max} = 2500 \text{MPa}$ .
- On prend une résine polyesters:  $\rho = 1.2 \text{Kg/m}^3$ ,  $E = 4 \text{GPa}$ ,  $\nu = 0.4$ ,  $G = 1.4 \text{GPa}$ ,  $\sigma_{\max} = 80 \text{MPa}$
- On suppose qu'on va mettre 100gr de résine pour 100gr de fibre (**1 pour 1 en masse**).
- On en déduit:  $V_{\% \text{fibre}} = 31.58\%$  et  $V_{\% \text{matrice}} = 68.42\%$
- On en déduit:
  - $E_l = 25.79 \text{ GPa}$ ,  $E_t = 5.69 \text{ GPa}$  ->  $E_t/E_l = 22\%$
  - $\nu = 0.35$ ,  $G = 2 \text{ GPa}$
  - $\sigma_{\max} = 883 \text{ MPa}$

Comme son nom l'indique, le renfort « tire » les perfo longitudinales mécaniques de la matrice vers le haut ( $E_l$  et  $\sigma_{\max}$ )  
Les perfo transversales restent médiocres, ce qui est normal.

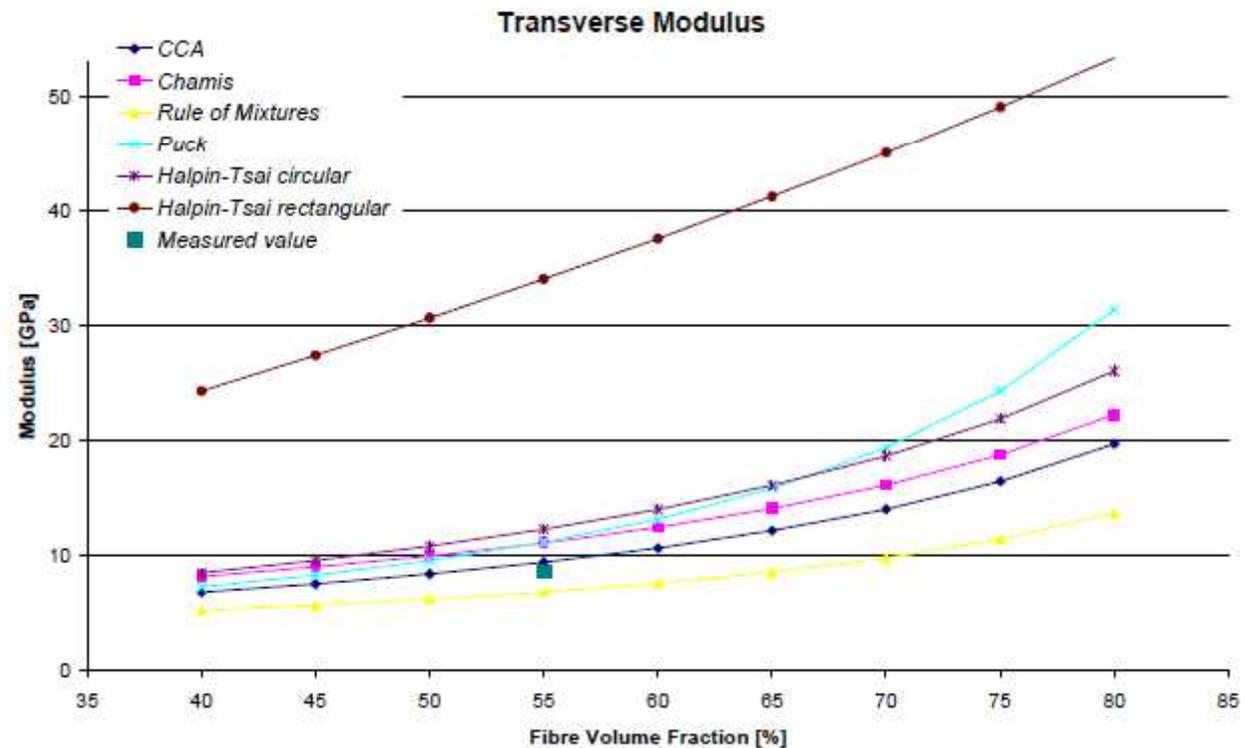
# Sommaire :

- Introduction
- Loi de mélange
- Aspect quantitatif
- Coeff mécaniques
-  **Autres modèles**
- Annexes

# Autres modèles

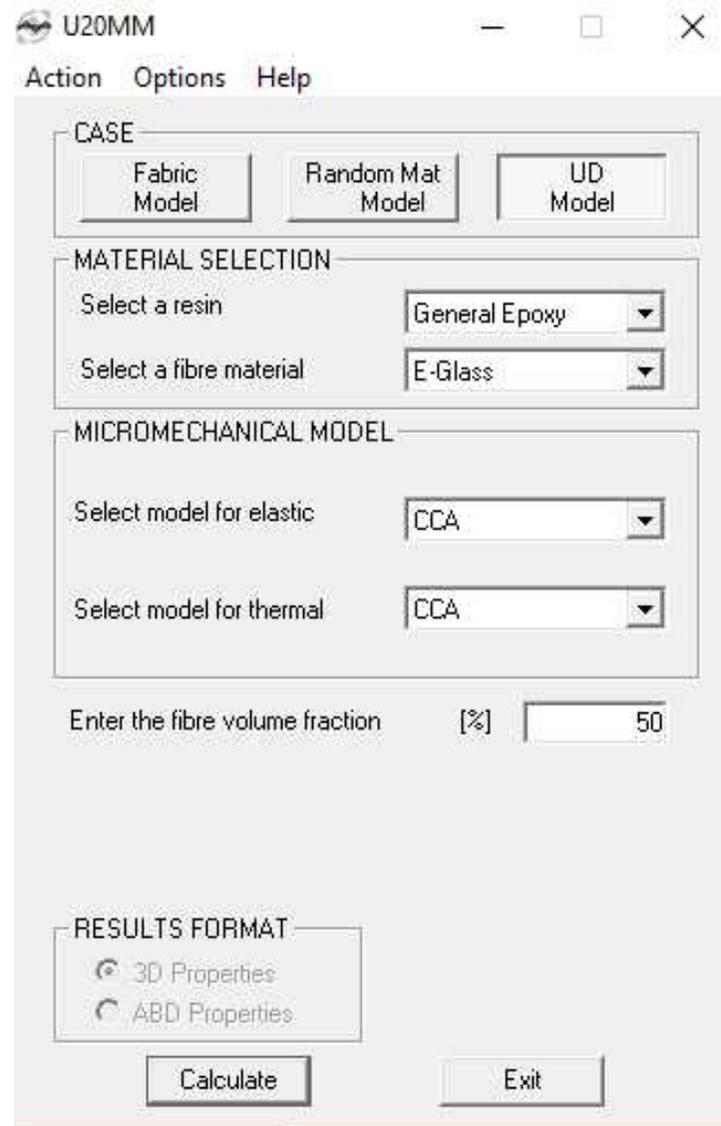
- Le document REF G, UD Micromechanics nous donne les différentes modélisations qui existe pour un pli UD.

- On a aussi une comparaison des différents modèles par rapport à des données expérimentales.



# Modèle CCA: Composite Cylinder Assemblage

- C'est le modèle CCA qui est le plus proche des données expérimentales.
- On peut utiliser le software U20MM pour faire le calcul.
- Le software accepte l'initialisation de matériaux par l'utilisateur.
- **Mais le soft ne donne pas la contrainte de rupture.**



# Comparaison

- Comme on peut le voir, le module d'Young longitudinal est bien estimé.
- Dommage qu'il manque la contrainte de rupture dans le software U20MM

## Coeff

Ex	25,79 Gpa
Ey=Ez	5,69 Gpa
G xy,xz	2,00 Gpa
Gyz	2,04 Gpa
Coeff poisson xy = xz	0,353
Coeff poisson yx = zx	0,078
Coeff poisson yz=zy	0,396
Rupture	883 Mpa

## MicroMechanical Model Results

Property	Unit	Value	Value
Ex	[GPa]	25.7902	25.8158
Ey = Ez	[GPa]	5.69171	8.08319
Gxy = Gxz	[GPa]	2.04304	2.57915
Gyz	[GPa]	2.04304	2.65017
$\nu_{xy} = \nu_{xz}$	[]	0.35263	0.347596
$\nu_{yx} = \nu_{zx}$	[]	0.0778229	0.108836
$\nu_{yz} = \nu_{zy}$	[]	0.392951	0.525035

# Sommaire :

- **Introduction**
- **Loi de mélange**
- **Aspect quantitatif**
- **Coeff mécaniques**
- **Autres modèles**

## **Annexes**

# Contrainte longitudinale: Module de poisson Trans/Long

- L'hypothèse d'un matériau homogène fait qu'une contrainte transversale produit la même déformation dans le sens

Déformation longitudinale suite à une contrainte transversale = Déformation transverse suite à une contrainte longitudinale

- D'après DOC F page 4, on a:

$$\epsilon_{TL} / E_T = \epsilon_{LT} / E_L$$

- Certains écrivent:  $\nu_{TL} = \nu_{yx} = \nu_{zx}$ , avec x la direction des fibres et (y,z) les directions perpendiculaires.

# Cisaillement transverse

- On parle ici d'un cisaillement dans le plan (y,z).
- Les documents disponibles à ce jour ne parle pas de ce module.
- Voici alors un raisonnement qualitatif et quantitatif:
- Ce plan peut être considéré « isotrope ».
- On applique la formule classique du coefficient de cisaillement:

## Qualitativement

- Le plan (y,z) peut être considéré « isotrope ».
- On applique la formule classique du coefficient de cisaillement:

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$

## Quantitativement

$$G_{yz} = E_y / 2 * (1 + \nu_{yz})$$

Sachant que:

$$\begin{aligned} G_{yz} &= G_{zy} \\ E_y &= E_z \\ \nu_{yz} &= \nu_{zy} \end{aligned}$$

# Estimation de $\nu_{yz}$

- On s'inspirant du document E on peut démontrer qu'on peut approcher le coefficient de poisson transverse par:

$$\nu_{yz} = (V_{\%matrice} * \nu_m / E_{matrice} + V_{\%fibre} * \nu_f / E_{T,fibre}) * E_{T,pli}$$

# Références

- **DOC A:** CALCUL DES PROPRIÉTÉS ÉLASTIQUES DES TISSUS UTILISÉS DANS LES MATÉRIAUX COMPOSITES, F. DAL MASO et J. MÉZIERE, REVUE DE L'INSTITUT FRANÇAIS DU PÉTROLE VOL. 53, N° 6, NOVEMBRE-DÉCEMBRE 1998, Institut français du pétrole1
- **DOC B:** Thèse Essais de Caractérisation des Structures Tissées , Samia DRIDI 28/06/2010, L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon,
- **DOC C:** GLOSSAIRE DES MATERIAUX COMPOSITES, Actualisation décembre 2004, CENTRE D'ANIMATION REGIONAL EN MATERIAUX AVANCES
- **DOC D:** HandBookOfComposite, [https://books.google.tn/books?id=ct\\_vBwAAQBAJ&pg=PA144&lpg=PA144&dq=yarn+ecd450+1/2&source=bl&ots=nK3M0hEgKa&sig=kXm1DnA3cH2juFvZNhi2vMYHQxw&hl=fr&sa=X&ved=0ahUKEwjMtKCO6YjXAhXpA8AKHT-fD5MQ6AEIRTAI#v=onepage&q=yarn%20ecd450%201%2F2&f=false](https://books.google.tn/books?id=ct_vBwAAQBAJ&pg=PA144&lpg=PA144&dq=yarn+ecd450+1/2&source=bl&ots=nK3M0hEgKa&sig=kXm1DnA3cH2juFvZNhi2vMYHQxw&hl=fr&sa=X&ved=0ahUKEwjMtKCO6YjXAhXpA8AKHT-fD5MQ6AEIRTAI#v=onepage&q=yarn%20ecd450%201%2F2&f=false)
- **DOC E:** <https://fr.scribd.com/document/360465288/Chapitre-4-Characterisation-Des-Materiaux-Composites>
- **DOC F :**Modélisation du comportement des composites :l'elasticité anisotrope, Edité le 04/05/2011, Federica DAGHIA – Lionel GENDRE
- **DOC G:** UD Mictomecghnanics, university of twente, Department of Mechanical Engineering, Composites Group.
  
- **Software U20MM:** <https://www.utwente.nl/en/et/ms3/research-chairs/pt/research/research-themes/tools/#u20mm>