



EXPERTISE IPI

3^{ème} année 3A

Procédés innovants : Matériaux composites

S. Terekhina, L.Guillaumat

Les matériaux composites à matrice polymère renforcés par des fibres synthétiques (verre, carbone, aramide) sont utilisés depuis de nombreuses années pour de multiples applications, notamment par l'industrie des transports. Leurs très bonnes propriétés spécifiques (rigidité et résistance rapportées à la masse) favorisent en effet l'allègement des structures, une problématique majeure dans le paysage industriel actuel. Progressivement, les composites renforcés de fibres naturelles apparaissent comme une alternative intéressante pour réaliser des pièces industrielles notamment dans le domaine de l'automobile.

Cependant aujourd'hui, l'industrie automobile rencontre deux problèmes majeurs concernant les éco-composites : ***i) pouvoir obtenir des pièces finales où tout le processus se fait dans une seule phase (one shoot) et avec un temps de production réduit (quelques minutes par pièce) et ii) garder une meilleure durée de vie (la durabilité). Le recyclage ou la réparation est également un facteur important à prendre en compte.***

Répondre à ces problématiques est l'objectif de ce projet.

Cahier de charge :

- Légèreté
- Cadence : dizaine minutes/pièce
- En une seule opération
- Ecologique
- Complexité de la forme
- Durabilité (résistant dans le temps) : appliquée à l'impact
- Recyclable ou réparable

Application :

- Automobile

Partie 1 - Choix du renfort :

Q1 : Suivant le cahier de chargé imposé, choisissez le bon type de fibres et leur architecture adaptée.

a) Choix de fibres

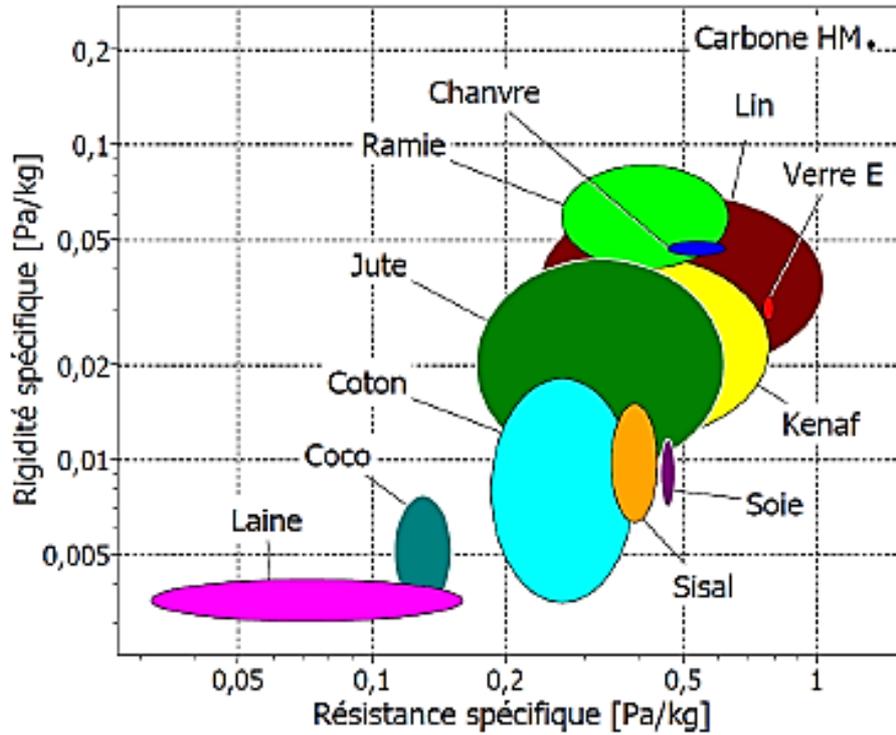


Fig.1 : Carte de sélection des fibres de renfort

Tableau 1 : Propriétés mécaniques des fibres végétales

	Lin	Chanvre	Jute	Ramie	Coco	Sisal	Coton
Densité (g/cm ³)	1,45	1,48	1,46	1,5	1,25	1,33	1,51
Résistance à la traction (MPa)	800-2200	550-900	400-800	550	220	600-700	400
Module d'élasticité :E (Gpa)	60-80	70	10-30	44	6	38	12
(E/densité) spécifique	26-46	47	7-21	29	5	29	8
Allongement à la rupture (%)	1,35-3,5	1,6	1,8	2	15-25	2-3	3-10
Absorption d'eau (%)	7	8	12	12-17	10	11	8-25
Production mondiale en 2002 en milliers de tonnes/an	750	78	3200	202	654	345	21200

b) Architecture

Afin de faciliter leur manipulation, on trouve également différentes architectures de tissage, permettant de disposer les renforts ayant souvent un élanement très élevé, selon des configurations bien spécifiques. Parmi ces architectures, dont certaines sont représentées sur la [figure 1](#) on peut citer :

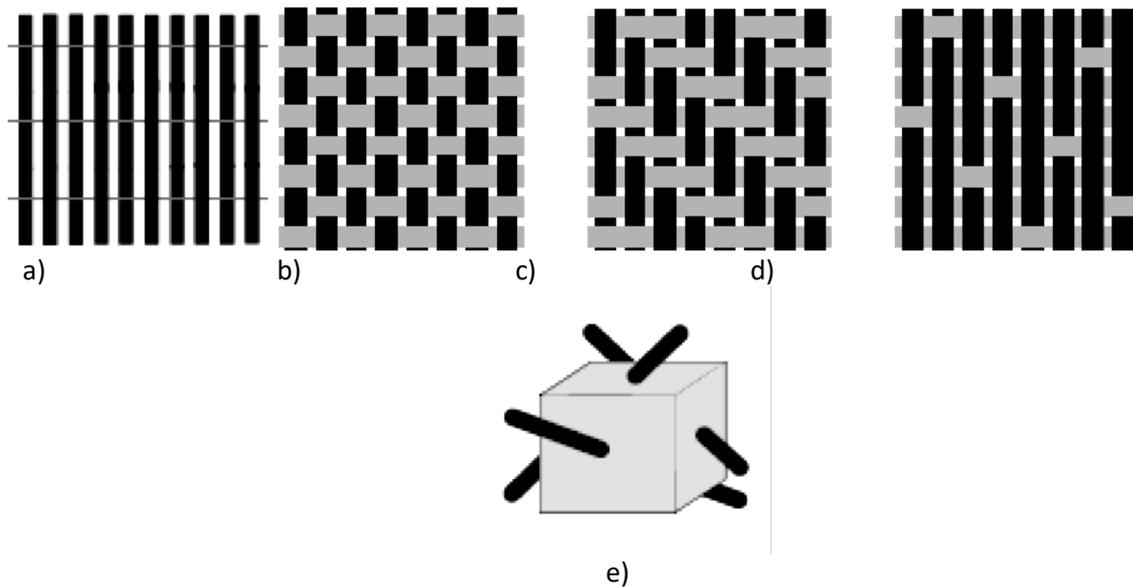


Fig. 2 : Exemple d'architectures de renfort : a) tissu quasi-unidirectionnel, b) tafta, c) sergé, d) satin, e) tissu 3d

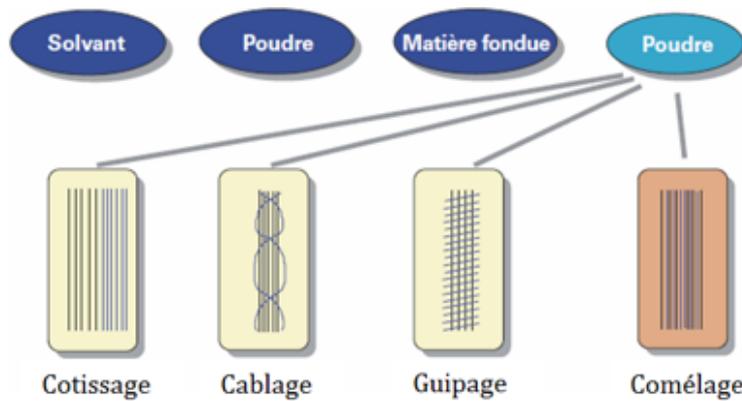


Fig.3 : Méthodes d'imprégnation des résines thermoplastique par « voie textile »

c) Taux de fibres



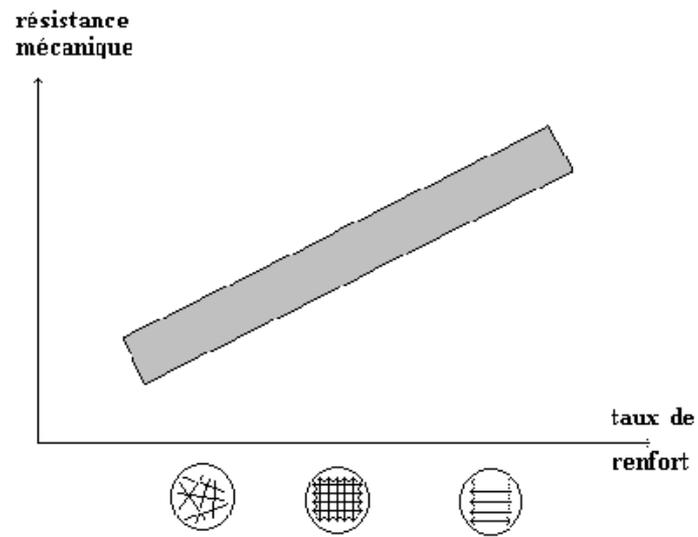
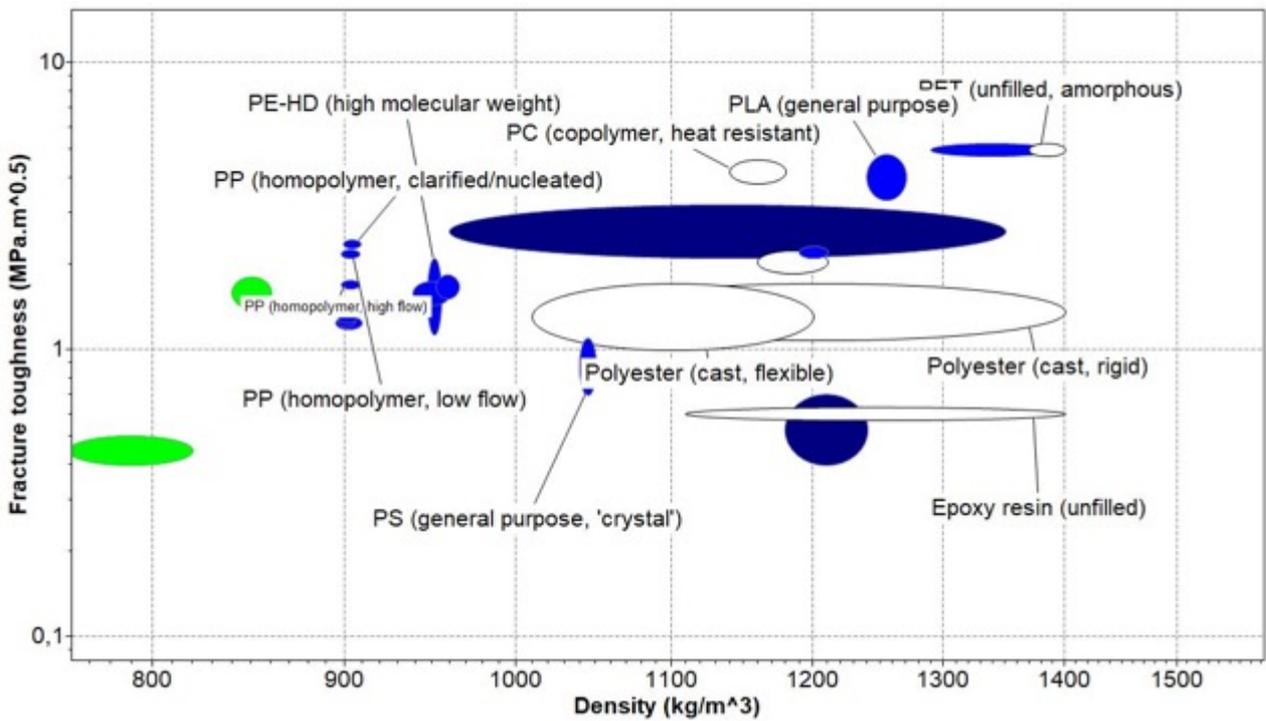
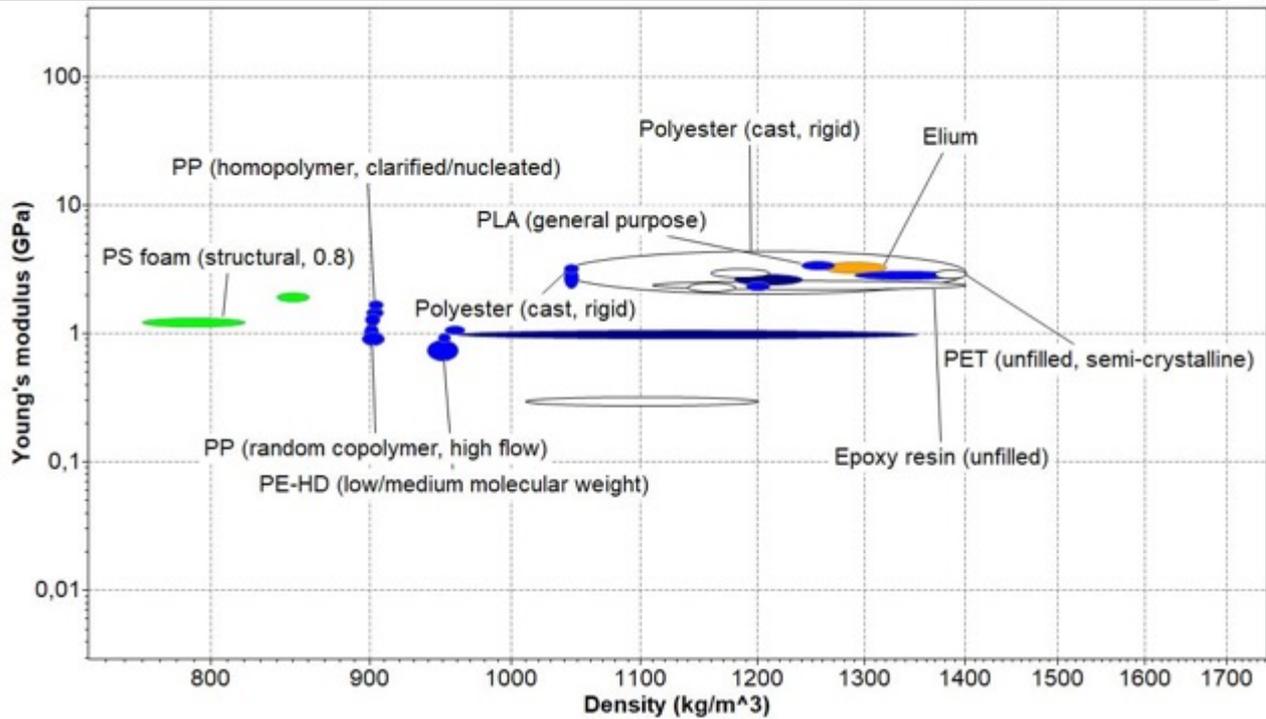


Fig. 4: Influence de la résistance mécanique en fonction du type de renfort

Partie 2 - Choix de la matrice

Q2 : Suivant le cahier de chargé imposé, choisissez la famille de la matrice adaptée.



b)

Fig. 5 : Carte de choix des matériaux : a) Module d'Young/masse volumique ; b) Ténacité/masse volumique

Tableau 2 : Propriétés physiques et mécaniques des résines thermoplastiques

Polymère	Tg (°C)	Tf (°C)	Densité ρ (g/cm³)	σ _r (Mpa)	E (Gpa)
PP	5	165	0,92	30	1,2
PLA	50-60	150	-	40-60	3-4
PE HD	-100	134	0,95	28	1,1
PVC	75-105	160-220	1,39	58	2,9
PS	90-100	-	1,05	55	3,2
PET	70	255-265	1,30	47	2,6
ABS	90-120	-	1,05	50	2,5
Elium(base acrylique)	109	-	1,29	44	3,3

Q3 : « Reverse engineering » : Une pratique courante consiste à approvisionner les produits concurrents et à les «décortiquer ». Analysez deux thermogrammes de DSC (données en Annexe), qu'est-ce que vous pouvez dire de leur structure ?

Q4 : Donnez-leur propriétés thermiques.

Q5 : Calculez le taux de cristallinité d'un polymère qui le possède. Sachant que $\Delta H_{f0} = 207$ J/g.

$$\chi_c = \frac{\Delta H_f}{\Delta H_f^0} * 100$$

I. Analyse des composites (Application)

Q6 : Supposant que le taux massique des fibres (X_m^f) est de **0,5**. Calculez la masse du composite tissé **lin/PP** et **lin/Elium** qu'il faut prévoir, en utilisant (N) **4 plis (8 en considérant UD)** pour avoir la surface (S) de **0,25 m²** et si la masse surfacique (ρ_s) du tissu sergé comêlé lin/PP est de **310 tex** et du tissu sergé de lin sec - **360 tex**.

$$X_m^f = \frac{NS\rho_s}{m_c}$$

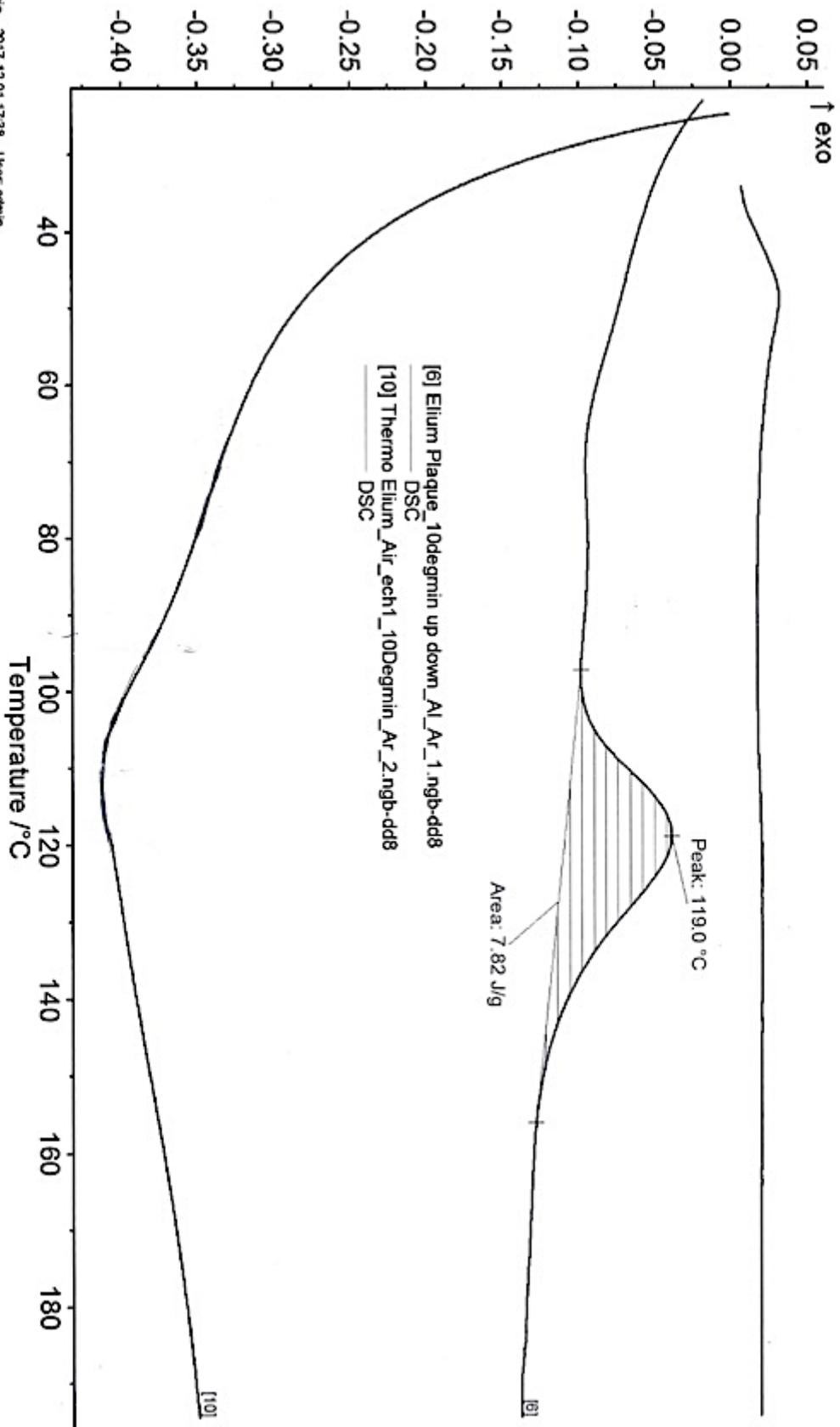
Q7 : Calculez le taux volumique de fibres, en utilisant la fiche technique du tissu comêlé donnée en Annexe et les Tableaux 1 et 2, ainsi que les données suivantes :

$$\frac{1}{V_f} = \frac{\rho_f}{\rho_m} \left(\frac{1}{X_m^f} - 1 \right) + 1$$

Q8 : Calculez le taux de porosité d'un composite lin/PP. La fraction massique de fibres est de **50 %**. La masse volumique du composite mesurée par double pesée est : **1,06 g/cm³**.

$$v_p = 1 - \rho_c \left(\frac{X_m^f}{\rho_f} + \frac{(1 - X_m^f)}{\rho_m} \right)$$

DSC /(mW/mg)



[6] Elium Plaque_10degmin up down_Al_Ar_1.ngb-dd8
DSC
[10] Thermo Elium_Air_ech1_10Degmin_Ar_2.ngb-dd8
DSC

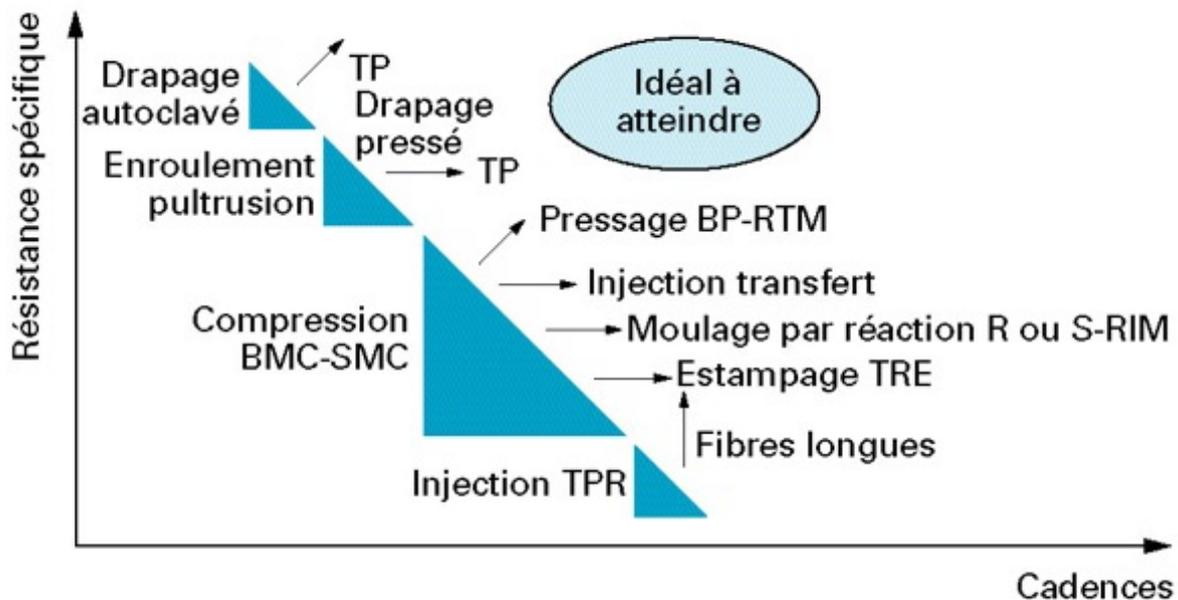
Instrument	File	Date	Identity	Sample	Mass...	Segm...	Range	Atmosphere	Co.
[1] DSC 404F1	Elium Plaque_10degmin up down_Al_Ar_1.ngb-dd8	2017-11-28	Elium Plaque	Elium	38.8	1-2/2	25°C/10.0(K/min)/300°C/2.0(K/min)/25°C/	-- / Ar / Ar	020
[0] DSC 404F1	Thermo Elium_Air_ech1_10Degmin_Ar_2.ngb-dd8	2017-05-10	Thermo Elium	Thermo Elium_Air	16	1/1	25°C/10.0(K/min)/230°C	Ar, 20.0ml/min / Ar, 20.0ml/min	020

Created with NETZSCH Proteus software

Main 2017-12-01 17:38 User: admin

Partie 3 - Choix du procédé

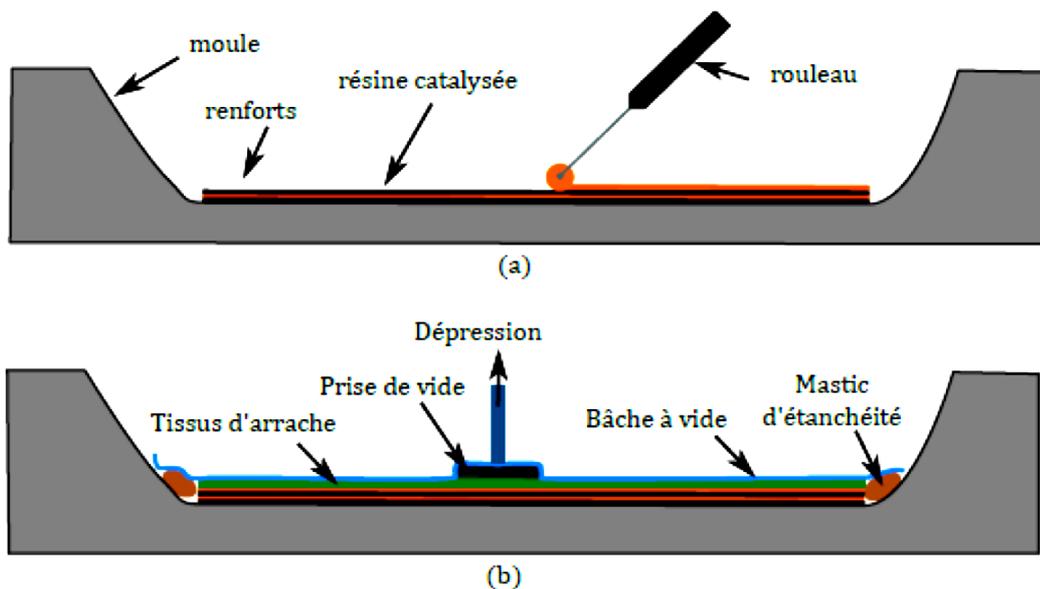
Q1 : En fonction du cahier de charge et différente information donnée choisissez deux procédés adaptés à la cadence d'automobile. Justifiez votre réponse.



BP-RTM : basse pression-resin transfert molding
 R-RIM : reinforced-reaction injection molding
 S-RIM : structural-reaction injection molding

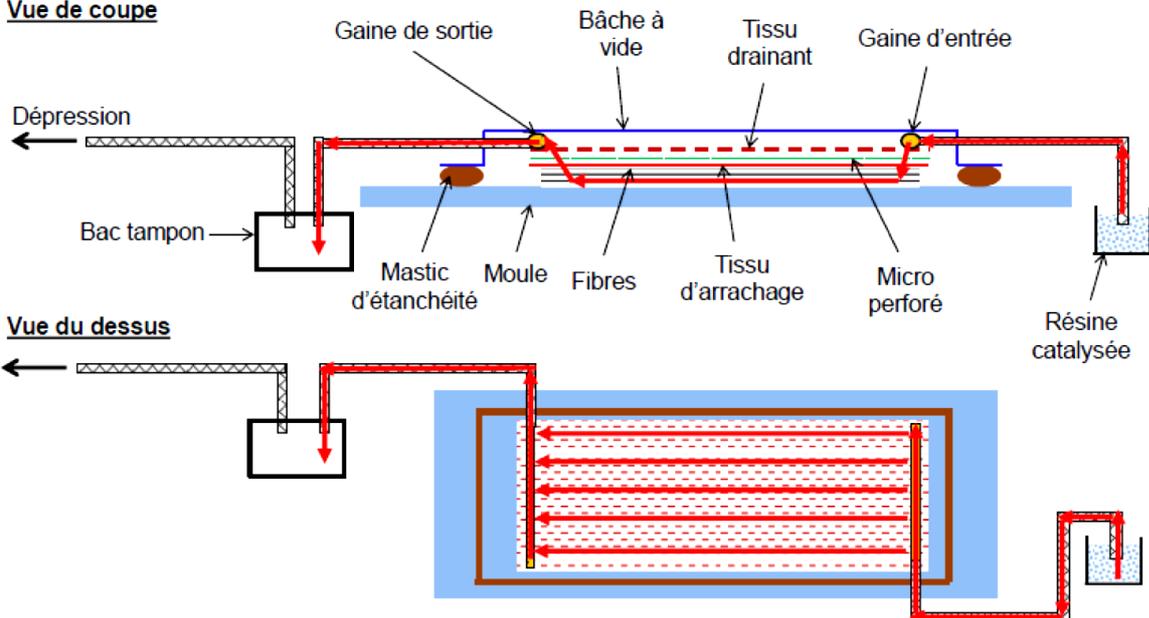
Mise en œuvre par voie humide :

- Le moulage au contact

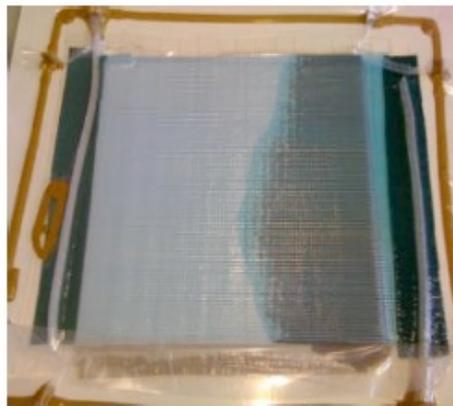
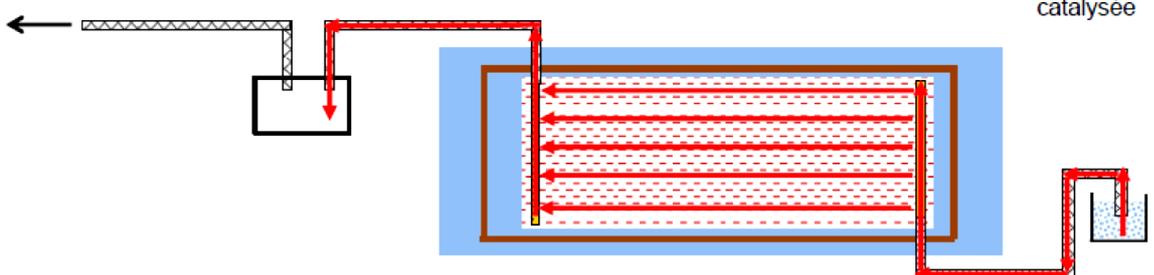


- L'infusion (Liquid Resin Infusion)

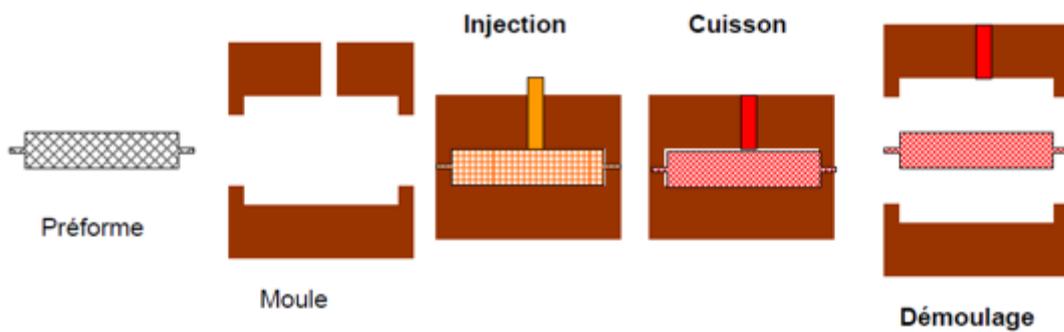
Vue de coupe

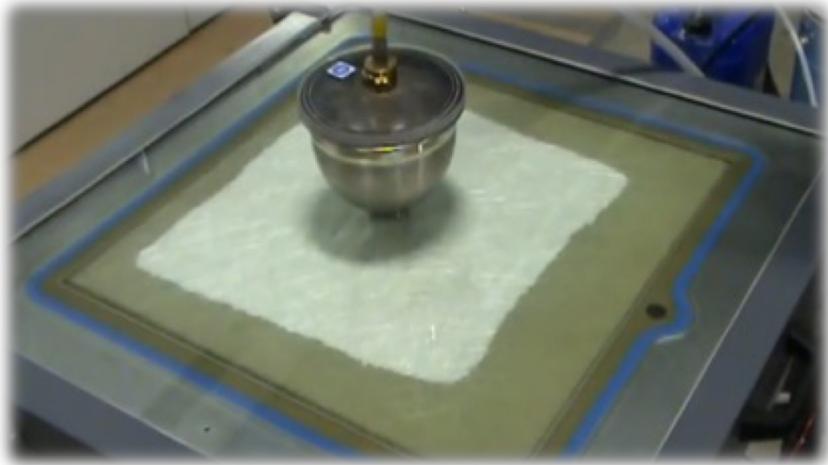
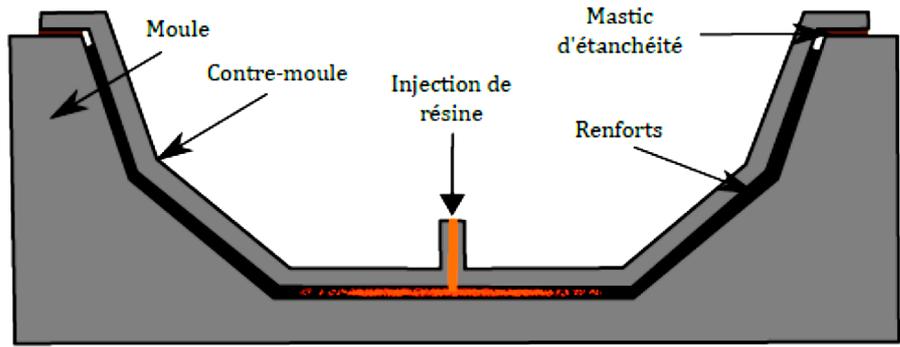


Vue du dessus

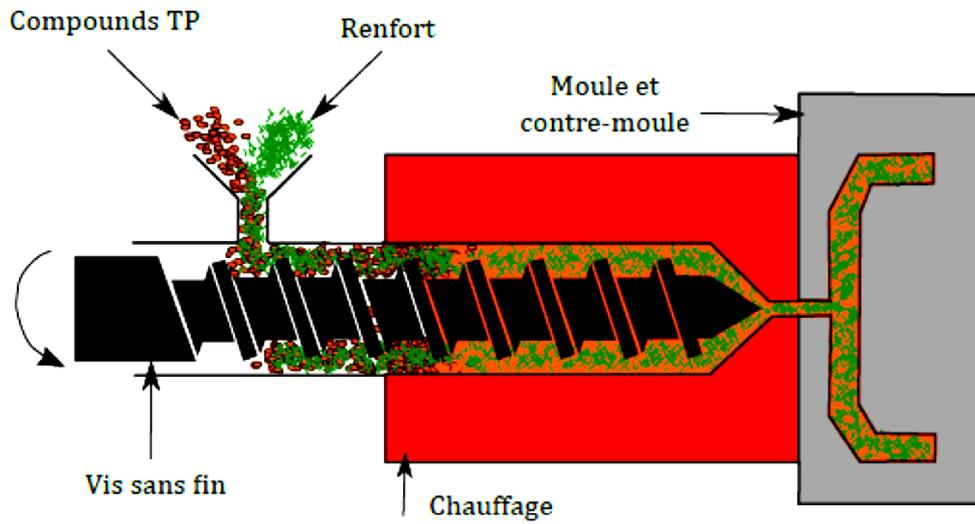


- RTM (Resin Transfert Molding) ou RTM Light



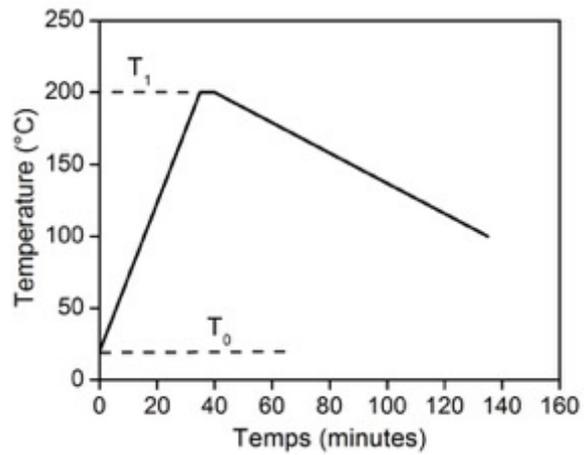


- *Injection*



Mise en œuvre par voie sèche :

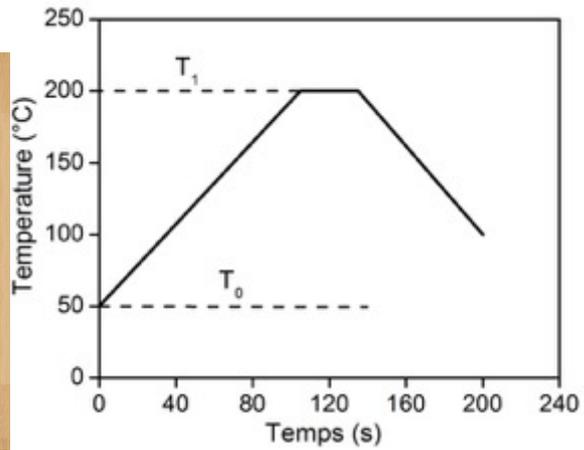
- *Thermocompression*



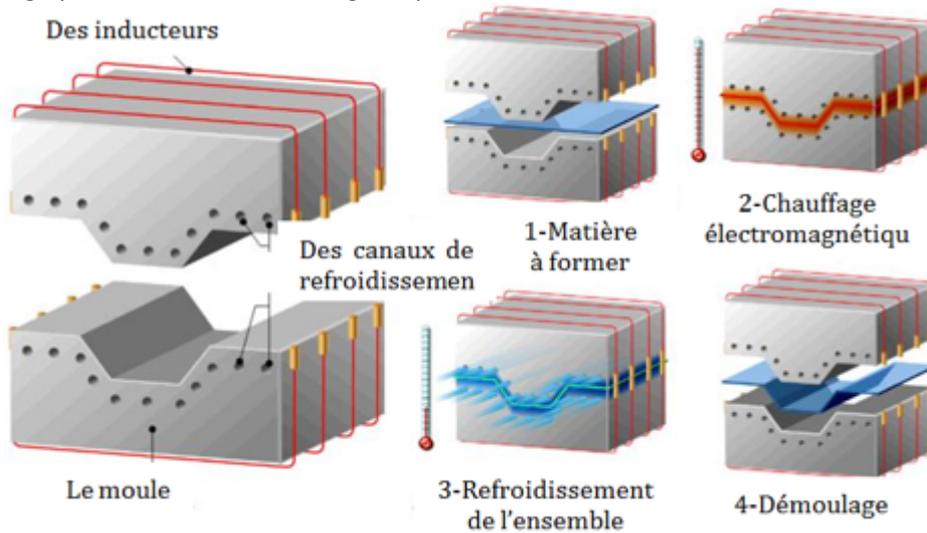
- *Thermocompression à air chaud :*

L'idée est de mettre en forme des pièces en composites à base d'un tissu comélé en une seule phase en utilisant l'air chaud et froid respectivement pour le chauffage et le refroidissement de l'ensemble moule-contre moule et matériau.





- Le moulage par induction électromagnétique



I. Application

Le problème de l'infusion est un problème d'une cavité remplie d'un milieu poreux. Un domaine bidimensionnel est représenté sur la Figure 1. Nous notons H l'épaisseur de la pièce et L sa longueur. Nous supposons que la résine Elium pénètre dans le moule rempli par les tissus sergés équilibrés (2×2) à base de lin $[0/90]_4$ initialement à la température ambiante avec une vitesse moyenne u_0 . Pendant le remplissage, nous supposons qu'il n'y a que deux zones distinctes: la zone saturée en résine et la zone non saturée qui ne contient que des fibres (infusion sous vide).

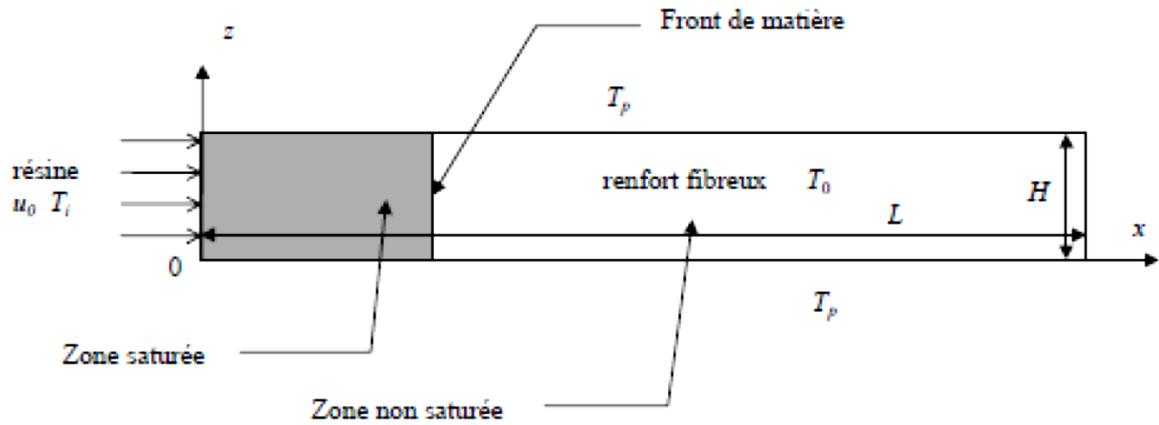


Figure 1 : Schéma du problème de l'injection

Q2 : Calculez une vitesse moyenne de remplissage u_0 si la résine a parcouru la distance de 50 mm en 5 min.

Q3 : En utilisant la loi de Darcy, calculez le coefficient de perméabilité K_x .

$$K_x = (\mu_r * L * u_0) / \nabla P_i$$

Données :

$L = 0,5 \text{ m}$

Paramètres d'infusion :

$T_{i0} = T_0 = 15^\circ\text{C}$

$\nabla P_i = 0,8 \text{ bars}$

Paramètres matériaux :

$\mu_r = 0,1 \text{ Pa.s}$

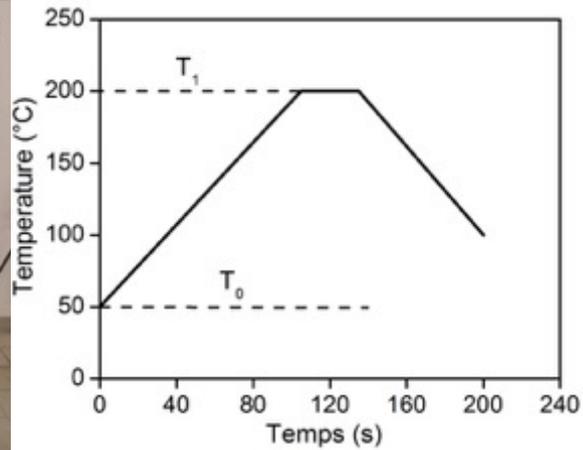
Partie 4 - Etude de la réparation et de la recyclabilité

Q1 : En utilisant les articles dans votre disposition, proposez de différentes solutions de réparation des composites à matrice thermoplastiques.

Vous pouvez trouver l'information sur le recyclage de la résine Elium :

<https://www.youtube.com/watch?v=wYbBiYr1yQs>

- **Thermocompression à air chaud :**



FICHE TECHNIQUE / PRODUCT DATA

n° lot : T1401249198

DEFINITION / DESCRIPTION

Type de fils Type of yarns	Chaîne / Warp Trame / Weft	Rubans 300 tex / 300 tex rovings Rubans 300 tex / 300 tex rovings
Fibre	Chaîne / Warp Trame / Weft	50% lin - 50% PP / 50% flax fibres - 50% PP 50% lin - 50% PP / 50% flax fibres - 50% PP
Armure Weave style		Sergé 2/2 - 2/2 Twill weave
Largeur standard Standard width		1000 mm

CARACTERISTIQUES / CHARACTERISTICS

Propriété / Properties	Unité / Unit	Valeurs / Typical values		Norme / Standard Method
Masse nominale (tissu sec) Nominal weight (dry fabric)	g/m ²	310 ± 4%		UNI 5114
Epaisseur Thickness	µm	300 ± 15% ⁽¹⁾		UNI EN ISO 5084
Contexture nominale Nominal construction	fil/cm threads/cm	Chaîne / Warp 4.02	Trame / Weft 6.33	UNI EN 1049-2
Répartition en masse Weight distribution	%	Chaîne / Warp 39	Trame / Weft 61	-

⁽¹⁾ Epaisseur théorique de 1 pli polymérisé avec un taux volumique de fibre de 50% sous 2 bars de pression

⁽¹⁾ Theoretical thickness of a cured ply with 50% fibre volume content under a pressure of 2 bars

IMPORTANT

Les renseignements contenus dans la présente fiche produit sont fondés sur nos connaissances actuelles et sur les résultats d'essais effectués avec un constant souci d'objectivité. Ils doivent être adaptés à chaque cas particulier. Les performances du produit après utilisation étant liées aux conditions particulières de mise en oeuvre, elles ne sauraient engager notre responsabilité.
All information is believed to be accurate but is given without acceptance of liability. Users should make their own assessment of the suitability of any product for the purpose required. All sales are made subject to our standard terms of sales which include limitations on liability and other important terms.

LINCORE® *Linex Inside*

GRUPE DEPESTELE

Rouge de Valmartin - 76690 LE BOCASSE

Tél. : + 33 (0)2 35 32 51 17 - Fax : + 33 (0)2 35 32 49 28

E-mail : dduriaz@depestele.com - Site internet : www.groupepepestele.com

ELIUM® 150

Technical Datasheet

LIQUID THERMOPLASTIC RESIN FOR GLASS-REINFORCED COMPOSITE

The **ELIUM 150** is a low viscosity liquid, thermoplastic resin.

Through the use of the same low pressure processes and equipments used today to produce thermoset composite parts, these formulations lead to the production of thermoplastic composites reinforced by continuous glass, carbon or natural fibers. The resulting thermoplastic composite parts show mechanical properties similar to those of parts made of epoxy resins while presenting the major advantages of being post-thermoformable and recyclable and of offering new possibilities for composite/composite or composite/metal assemblies.

APPLICATIONS AND USE	<p>ELIUM® 150 resin can be used to fabricate aesthetic or structural composites reinforced by glass, carbon, or other continuous fibers. This resin can be used for RTM (resin transfer molding), VARI (Vacuum assisted resin infusion) and other closed mold processes.</p>																																															
TYPICAL LIQUID RESIN PROPERTIES	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Property⁽¹⁾ at 25°C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Viscosity Brookfield LVF #2, 60 rpm</td> <td></td> <td>100 mPa.s</td> </tr> </tbody> </table> <p>(1) properties are typical values based on material tested in our laboratories. Typical values should not be construed as a guaranteed analysis of any specific lot or as specification items</p>			Property ⁽¹⁾ at 25°C			Viscosity Brookfield LVF #2, 60 rpm		100 mPa.s																																							
Property ⁽¹⁾ at 25°C																																																
Viscosity Brookfield LVF #2, 60 rpm		100 mPa.s																																														
TYPICAL CURING CHARACTERISTICS	<p>The ELIUM® resins are 2K based formulations that undergo radical polymerization to produce thermoplastic composite matrices. The polymerization is initiated by Peroxide compounds (Luperox®). Typical open time and peak time with 3% Luperox A40FP-E29 are:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Reactivity (200 grams)</th> <th>Infusion time</th> <th>Injection time</th> <th>Peak time</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15°C</td> <td>30 min.</td> <td>35 min.</td> <td>50 min.</td> </tr> <tr> <td>20°C</td> <td>25 min.</td> <td>30 min.</td> <td>40 min.</td> </tr> <tr> <td>25°C</td> <td>20 min.</td> <td>25 min.</td> <td>33 min.</td> </tr> </tbody> </table>			Reactivity (200 grams)	Infusion time	Injection time	Peak time	15°C	30 min.	35 min.	50 min.	20°C	25 min.	30 min.	40 min.	25°C	20 min.	25 min.	33 min.																													
Reactivity (200 grams)	Infusion time	Injection time	Peak time																																													
15°C	30 min.	35 min.	50 min.																																													
20°C	25 min.	30 min.	40 min.																																													
25°C	20 min.	25 min.	33 min.																																													
TYPICAL MECHANICAL PROPERTIES	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Properties of a 4 mm unfilled resin casting</th> <th>Value</th> <th>ISO method</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Rockwell Hardness (M)</td> <td>100</td> <td>2039</td> </tr> <tr> <td>Shore D Hardness</td> <td>85-90</td> <td>868</td> </tr> <tr> <td>Tensile Strength</td> <td>76 MPa</td> <td>527</td> </tr> <tr> <td>Tensile Modulus</td> <td>3300 MPa</td> <td>527</td> </tr> <tr> <td>Tensile Deformation</td> <td>6 %</td> <td>527</td> </tr> <tr> <td>Flexural Strength</td> <td>130 MPa</td> <td>178</td> </tr> <tr> <td>Flexural Modulus</td> <td>3250 MPa</td> <td>178</td> </tr> <tr> <td>Compression Strength</td> <td>130 MPa</td> <td>684</td> </tr> <tr> <td>Specific Gravity</td> <td>1,19</td> <td>1183</td> </tr> <tr> <td>Heat Deflection Temperature</td> <td>109 °C</td> <td>75/A</td> </tr> <tr> <td>Maximum Continuous Temperature Service</td> <td>85 °C</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Water Uptake (8 days)</td> <td>0.5%</td> <td>62</td> </tr> <tr> <td>Coefficient of Linear Expansion</td> <td>0.065 mm/m/°C</td> <td>2155-1</td> </tr> <tr> <td>Fracture Toughness Stress Intensity, K_{1c}</td> <td>1,2 MPa.m^{0,5}</td> <td>13586</td> </tr> </tbody> </table>			Properties of a 4 mm unfilled resin casting	Value	ISO method	Rockwell Hardness (M)	100	2039	Shore D Hardness	85-90	868	Tensile Strength	76 MPa	527	Tensile Modulus	3300 MPa	527	Tensile Deformation	6 %	527	Flexural Strength	130 MPa	178	Flexural Modulus	3250 MPa	178	Compression Strength	130 MPa	684	Specific Gravity	1,19	1183	Heat Deflection Temperature	109 °C	75/A	Maximum Continuous Temperature Service	85 °C	-	Water Uptake (8 days)	0.5%	62	Coefficient of Linear Expansion	0.065 mm/m/°C	2155-1	Fracture Toughness Stress Intensity, K _{1c}	1,2 MPa.m ^{0,5}	13586
Properties of a 4 mm unfilled resin casting	Value	ISO method																																														
Rockwell Hardness (M)	100	2039																																														
Shore D Hardness	85-90	868																																														
Tensile Strength	76 MPa	527																																														
Tensile Modulus	3300 MPa	527																																														
Tensile Deformation	6 %	527																																														
Flexural Strength	130 MPa	178																																														
Flexural Modulus	3250 MPa	178																																														
Compression Strength	130 MPa	684																																														
Specific Gravity	1,19	1183																																														
Heat Deflection Temperature	109 °C	75/A																																														
Maximum Continuous Temperature Service	85 °C	-																																														
Water Uptake (8 days)	0.5%	62																																														
Coefficient of Linear Expansion	0.065 mm/m/°C	2155-1																																														
Fracture Toughness Stress Intensity, K _{1c}	1,2 MPa.m ^{0,5}	13586																																														

ELIUM® 150

TYPICAL MECHANICAL PROPERTIES (Continued)	Properties of a composite aesthetic part⁽²⁾		
	Flexural Strength	270 MPa	14125
	Flexural Modulus	9600 MPa	14125
	In-plane Shear Modulus	2500 MPa	14129
	Properties of a composite structural part⁽³⁾		
	Tensile Strength	557 MPa	527
	Tensile Modulus	27 GPa	527
	Flexural Strength	700 MPa	14125
	Flexural Modulus	27 GPa	14125
	Compressive Strength	347 MPa	14126
	Compressive Modulus	28 GPa	14126
	In-plane Shear Modulus	5600 MPa	14129
	Charpy Impact Strength (un-notched)	206 kJ/m ²	179/20
	Properties of a UD composite part⁽⁴⁾		
	Tensile Strength 0°	1005 MPa	527
Tensile Modulus 0°	47 GPa	527	
Tensile Strength 90°	53 MPa	527	
Tensile Modulus 90°	12 GPa	527	
Flexural Strength	1230 MPa	14125	
Flexural Modulus	45 GPa	14125	
Compression Strength	900 MPa	14126	
Lap shear Strength	22 MPa	4587	
Interlaminar Fracture Toughness Energy, G _{IC}	1370 J/m ²	15024	
	(2) Molded by RTM with Rovcore™ 450/85/450(16) from Chomarat, fiber volume content: 11%		
	(3) Molded by RTM with a plain weave fabric from Chomarat, fiber volume content: 53%		
	(4) Molded by infusion, with UD from Chomarat, fiber volume content: 58%		
ADHESIVE ASSEMBLY	Fiber-reinforced composites made with ELIUM® resins can be assembled with adhesives. The SAF® 30 adhesive, from AEC Polymers, is recommended for structural bonding. A cohesive rupture is obtained with tensile lap shear strength at 17.5 MPa, according to the EN-1465. This adhesive is also recommended to bond metals, with lap-shear strength ranging from 18 to 21 MPa (aluminum 1050A, 6060 and 6061, stainless steel, steel).		
CERTIFICATES and APPROVALS	The manufacturing, quality control and distribution of products, by Altuglas International, comply with one or more of the following programs or standard: Responsible care, ISO9001, ISO14001, ISO/TS16949, OSHAS18001.		
STANDARD PACKAGES	These resins are supplied in non-returnable drums with net weight of 200 kg.		
STORAGE	We advise you to read carefully the current Safety Data Sheet.		

The statements, technical information and recommendations contained herein are believed to be accurate as of the date hereof. Since the conditions and methods of use of the product and of the information referred to herein are beyond our control, ARKEMA expressly disclaims any and all liability as to any results obtained or arising from any use of the product or reliance on such information; NO WARRANTY OF FITNESS FOR ANY PARTICULAR PURPOSE, WARRANTY OF MERCHANTABILITY OR ANY OTHER WARRANTY, EXPRESS OR IMPLIED, IS MADE CONCERNING THE GOODS DESCRIBED OR THE INFORMATION PROVIDED HEREIN. The information provided herein relates only to the specific product designated and may not be applicable when such product is used in combination with other materials or in any process. The user should thoroughly test any application before commercialization. Nothing contained herein constitutes a license to practice under any patent and it should not be construed as an inducement to infringe any patent and the user is advised to take appropriate steps to be sure that any proposed use of the product will not result in patent infringement.

See MSDS for Health & Safety Considerations
Date: March 2014

Arkema
89 boulevard National
F-92257 La Garenne-Colombes Cedex - France
Tel.: +33 (0)1 78 66 23 00
Fax: +33 (0)1 78 66 23 97
elium-composites.com

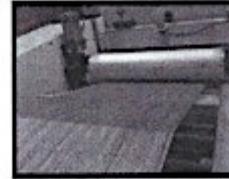
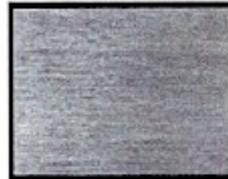
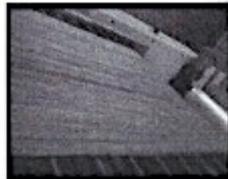
ARKEMA
INNOVATIVE CHEMISTRY



TECHNICAL DATA SHEET - FLAXTAPE™

Products:

FlaxTape™ is the brand used for our patented tapes of unidirectional flax fibers.
 FlaxTape™ is ready to be used for all conventional processes (infusion, RTM, film stacking, prepreg...)



Pictures of FlaxTape™ production

Name	Description	Weight	Width
FLAXTAPE™ 50	Tapes of unidirectional flax fibers	50gr of flax/m ²	40 cm
FLAXTAPE™ 70		70gr of flax/m ²	40 cm
FLAXTAPE™ 110		110gr of flax/m ²	40 cm
FLAXTAPE™ 200		200gr of flax/m ²	40 cm

Main markets:

Main markets:		Advantages
Sport and leisure	rackets, bicycle frames, skis, boards, ...	Dampening properties
Transportation	Already used in aeronautic, automotive, boat manufacturing, railway.	Weight reduction, Mechanical & Acoustic properties, Bio-based material

Mechanical properties:

Composite made with 12 layers of "FlaxTape™ 110" and an epoxy resin processed by RTM:

RATE OF FIBRES	By Volume	50%
TRACTION (ISO 527)	Modulus	35 GPa
	Tensile strength	365 MPa
	Failure Strain	1,35 %
FLEXION (ISO 14 125)	Modulus	31 GPa
	Max Strength	294 MPa
	Failure Strain	2,6 %
THEORIC DENSITY		1.31gr/cm ³

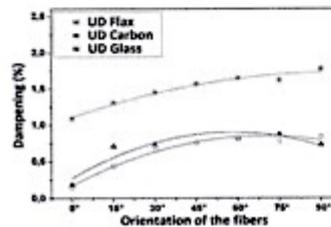
Composite made with 12 layers of "FlaxTape™ 110" and 20 PP films by film stacking and compression moulding:

RATE OF FIBRES	By Volume	43%
TRACTION (ISO 527)	Modulus	33 GPa
	Tensile strength	275 MPa
	Failure Strain	1,22%
FLEXION (ISO 14 125)	Modulus	23 GPa
	Max Strength	210 MPa
	Failure Strain	2,1 %
THEORIC DENSITY		1.13gr/cm ³

Dampening properties:

Low frequency dampening (flexion/mode 2):

Product	Dampening ratio
UD Flax	1.47%
UD Carbon	0.18%
UD Glass	0.15%





THERMAL APPLICATIONS NOTE

Polymer Heats of Fusion

Roger L. Blaine

TA Instruments, 109 Lukens Drive, New Castle DE 19720, USA

The heat of fusion of 100 % crystalline polymer is required to obtain percent crystallinity by differential scanning calorimetry (1). Polymer reference materials with 100 % crystallinity are rarely available for comparison purposes. Fortunately, the heats of fusion values for 100 % crystalline polymers may be determined by indirect methods such as extrapolation using the Flory equation (2). Wunderlich and co-workers (3) have created tables of best estimate values for the heats of fusion for a wide variety of linear polymers with values reported in joules per mole of repeat unit. To be useful for thermal analysis purposes, these enthalpy values need to be normalized to mass. Table 1 includes the mass normalized enthalpy of fusion values commonly used in DSC determinations.

REFERENCES

1. TA123, "Determination of Polymer Crystallinity by DSC", TA Instruments, New Castle, DE.
2. TA276, "Determination of Polymer Crystal Molecular Weight Distribution by DSC", TA Instruments, New Castle, DE.
3. B. Wunderlich, *Thermal Analysis*, Academic Press, 1990, pp. 417-431.
4. D1600, "Abbreviated Terms Relating to Plastics", American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.

KEYWORDS

differential scanning calorimetry, melting, thermoplastic polymers

Table 1 – Polymer Heats of Fusion

Acronym (4)	Name	Enthalpy (kJ/mol) (3)	Repeat Unit	Molecular Weight (g/mol)	Enthalpy (J/g)
PE	Polyethylene	4.11	-CH ₂ -	14.03	293
PP	Polypropylene	8.70	-CH ₂ CH(CH ₃)-	42.08	207
PB	Polybutene-1	7.00	-CH ₂ CH(C ₂ H ₅)	56.1	125
POM	Polymethyleneoxide	9.79	-CH ₂ O-	30.03	326
PEOX	Polyethyleneoxide	8.66	-CH ₂ CH ₂ O-	44.05	197
PA6	Polycaprolactam	26.0	-NH(CH ₂) ₅ CO-	113.2	230
PA11	Polyundecanolactam	44.7	-NH(CH ₂) ₁₀ CO-	183.3	244
PA12	Polylauryllactam	48.4	-NH(CH ₂) ₁₁ CO-	197.3	245
PA66	Poly(hexamethylene adipamide)	57.8	-NH(CH ₂) ₆ NHCO(CH ₂) ₄ CO-	256.3	226
PA69	Poly(hexamethylene nonanediamide)	69	-NH(CH ₂) ₆ NHCO(CH ₂) ₃ CO-	268.4	257
PA610	Poly(hexamethylene sebacamide)	71.7	-NH(CH ₂) ₆ NHCO(CH ₂) ₂ CO-	282.4	254
PA612	Poly(hexamethylene dodecanediamide)	80.1	-NH(CH ₂) ₆ NHCO(CH ₂) ₀ CO-	310.5	258
PVOH	Polyvinyl alcohol	7.11	-CH ₂ CH(OH)-	44.05	161
PET	Polyethylene terephthalate	26.9	-O(CH ₂) ₂ O ₂ CC ₆ H ₄ CO-	192.2	140
PBT	Polybutylene terephthalate	32.0	-O(CH ₂) ₄ O ₂ CC ₆ H ₄ CO-	220.2	145
PVF	Polyvinyl fluoride	7.54	-CH ₂ CH(F)-	46.04	164
PVDF	Polyvinylidene fluoride	6.70	-CH ₂ CF ₂ -	64.03	105
	Polytrifluoroethylene	5.44	-CH(F)CF ₂ -	82.0	66.3
PTFE	Polytetrafluoroethylene	4.10	-CF ₂ -	50.0	82.0
PVC	Polyvinyl chloride	11.0	-CH ₂ CH(Cl)-	62.50	176
PCTFE	Polychlorotrifluoroethylene	5.02	-CF ₂ CF(Cl)-	116.5	43.1
PEEK	Polyetheretherketone	37.4	-C ₆ H ₄ COOC ₆ H ₄ OC ₆ H ₄ O-	288.3	130