

# Aslan™ 100 GFRP

## PROPRIETES

### PROPRIETES DES MATERIAUX

#### Propriétés des matériaux pour l'élaboration de projets de construction en béton armé.

Contrairement aux armatures en acier, les armatures en fibre de verre sont anisotropes et présentent la plus forte résistance dans l'axe longitudinal. Des facteurs tels que le volume et le type de fibre de verre, le volume et le type de résine, l'orientation de la fibre, le diamètre, le contrôle de qualité appliqué lors de la fabrication et les méthodes de fabrication jouent

un rôle dans la détermination des propriétés spécifiques du produit.

Les caractéristiques mécaniques des barres en fibre de verre, à l'instar de tous les matériaux structurels, dépendent en outre d'une série de facteurs tels que le régime de charge, la durée d'application de la charge, la température et l'humidité, qui ont tous une incidence sur l'utilisation du produit.

Les caractéristiques architectoniques des barres d'armature en fibre de verre **Aslan™ 100 GFRP** pour le béton armé sont décrites ci-après pour aider le concepteur du projet à mieux comprendre ce type d'armature et à en dériver les règles de bonne pratique concernant son emploi.

### CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

(Valable pour des barres de 16 mm diamètre)	ESSAI ASTM	VALEUR LIMITE MIN
Force caractéristique d'adhérence	Méthode Penn State	11,6 MPa
Résistance caractéristique à la traction	D3916/D638	655 MPa
Résistance caractéristique au cisaillement	D2344	2,8 MPa
Module d'élasticité en traction	D3916/D638	40800 MPa
Indice de dureté Barcol	D2583	60
Rigidité diélectrique	D149	360 volts/mil
Constante diélectrique	D150	5,4 Hz
Résistance à la percussion	D495	165 sec.
Teneur pondérale en verre	D2584	75%
Poids volumique	D792	1995 kg/m <sup>3</sup>
Capacité d'absorption d'eau	D570	0,05%
Coefficient de dilatation longitudinale	D696	6-10 x 10 <sup>-6</sup>
Coefficient de dilatation transversale	D696	21-23 x 10 <sup>-6</sup>

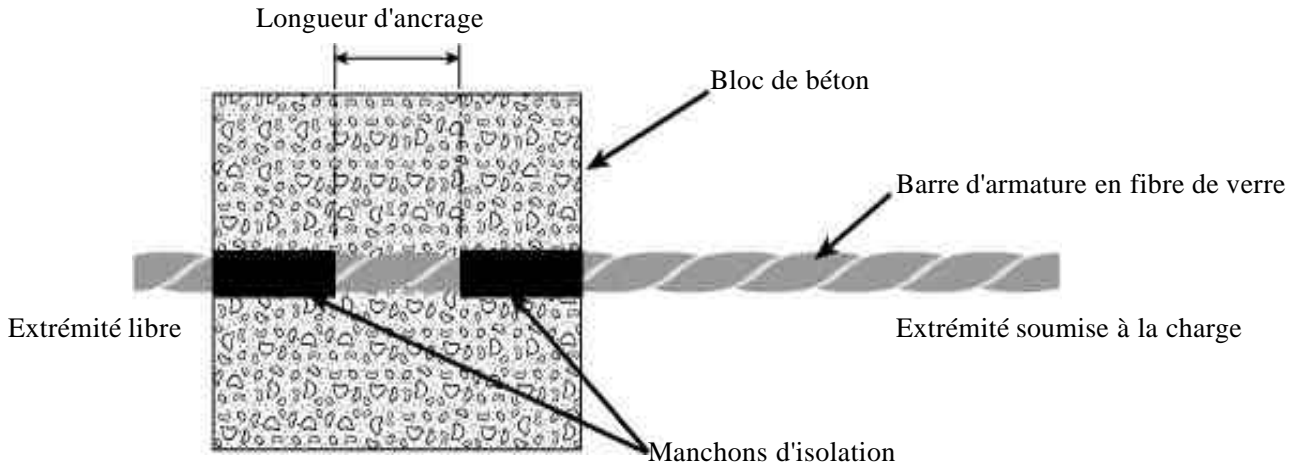
**La résistance à la traction varie en fonction du diamètre.** À mesure que cette valeur augmente, on observe un retard de cisaillement sur les plus grands diamètres (voir ci-après). La variation du module

d'élasticité des barres de diamètres différents est estimée et peut être considérée comme équivalente à 40,8 GPa pour tous les diamètres

## FORCE D'ADHERENCE

La force d'adhérence des barres d'armature en fibre de verre est mesurée sur la base de l'essai d'arrachement d'une barre d'armature exécuté selon la méthode Penn State décrite ci-après.

Cette méthode garantit une reproductibilité aisée et donne une indication des prestations relatives. On coule un bloc en béton dans un coffrage pour enrober des barres d'armature de 1 mètre de long conformément aux indications de la figure ci-dessous:



Les manchons d'isolation sont des sections de tuyau en plastique souple enfilés sur la barre d'armature pour neutraliser l'adhérence entre la barre et le béton à cet endroit.

La longueur d'ancrage équivaut à 5 x le diamètre de la barre.

Le béton employé présente une résistance à la compression de 14 jours caractéristique de 45 MPa.

Les expériences antérieures ont montré que la force d'adhérence ne variait pas de manière significative avec la composition du béton, à condition de prendre un bloc d'une masse suffisante pour éviter tout risque de cassure.

Les charges sont mesurées au moyen de la cellule électronique du banc d'essai et le glissement de la barre hors du bloc de béton à l'aide de 6 capteurs de mouvement répartis également aux deux extrémités.

Les trois capteurs de mouvement disposés à l'extrémité libre donnent une indication directe d'un possible glissement.

Les mesures captées à l'extrémité soumise à la charge en revanche, doivent être corrigées d'un

certain facteur pour compenser l'élongation de la barre entre le point d'ancrage et les points de mesure.

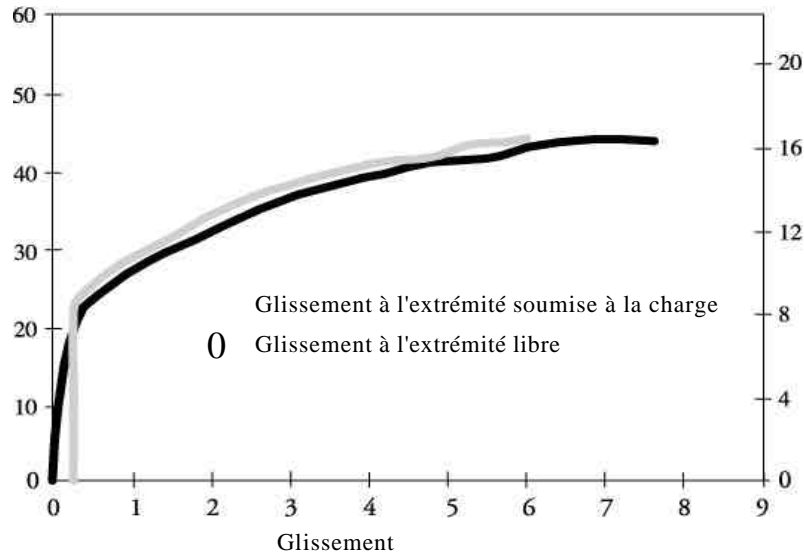
Lorsqu'une barre d'armature est enrobée dans du béton, son adhérence résulte de la résistance d'adhérence de la surface de contact et de la résistance de frottement de la surface de contact qui s'oppose aux glissements tandis que l'effet de cisaillement est dû à l'irrégularité de la surface de contact.

La force d'adhérence est en outre transmise aux fibres de verre par l'entremise de la matrice de résines. Une rupture d'adhérence ou un cisaillement de la matrice sont également possibles.

La structure de surface unique des barres d'armature en fibre de verre se révèle très efficace pour transmettre les charges au béton.

Le frottement et l'emboîtement mécanique sont considérés comme les principaux facteurs de transmission des contraintes.

## COURBE CARACTERISTIQUE DE GLISSEMENT EN FONCTION DE LA CHARGE DU BETON A ARMATURE EN FIBRE DE VERRE



Les propriétés d'adhérence de barres d'armature en fibre de verre ont été analysées par plusieurs laboratoires selon différentes méthodes d'essai - essai de traction, essai de clivage, essai sur éprouvette en porte-à-faux – afin de mettre au jour une formule applicable pour déterminer la longueur d'ancrage.

Sur la base des résultats disponibles obtenus à l'issue de ces expériences, la longueur d'ancrage requise peut être calculée en appliquant la formule suivante:

$$l_d = \frac{f_{GFRPtk}}{38} \times \frac{A_{GFRP}}{\sqrt{f_{ck}}}$$

Où::

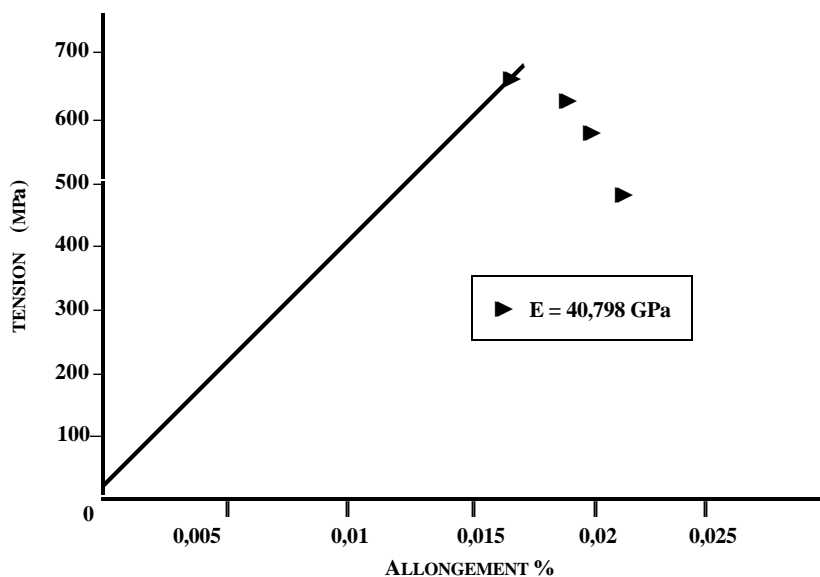
$A_{GFRP}$  = section de la barre (mm<sup>2</sup>)

$f_{GFRPtk}$  = résistance à la traction de la barre (MPa)

$f_{ck}$  = résistance du béton à la compression (MPa)

$l_d$  = longueur d'ancrage requise (mm)

## COURBE CARACTERISTIQUE DE RELATION ENTRE LA TENSION ET L'ALLONGEMENT D'UNE BARRE EN FIBRE DE VERRE (barre de 16 mm de diamètre dans l'exemple)



## RESISTANCE A LA TRACTION ET MODULE D'ELASTICITE EN TRACTION

Contrairement à leurs homologues en acier, les barres d'armature en fibre de verre acquièrent leur résistance maximale sans passer par une phase liquide. La relation entre la traction et l'élongation d'une barre type constituée de fibres (fibre de verre, de carbone ou aramide) peut être représentée par une courbe quasiment droite qui s'interrompt lorsque la contrainte maximale est atteinte (voir figure ci-dessus)

Une deuxième différence avec les barres en acier réside dans le fait que la résistance à la traction des barres en fibre de verre dépend du diamètre de la barre et du système d'ancrage utilisé pour les essais. En raison du retard de cisaillement (shear lag) les fibres situées le plus au centre de la barre ne sont pas soumises aux mêmes tensions que celles de la périphérie (Faza, 1991).

Ce phénomène a pour conséquence de réduire la résistance et l'efficacité des barres de plus gros diamètre.

Il convient également de rappeler que des écarts importants ont été constatés lors des différents essais en raison des concentrations de tensions au niveau du système d'ancrage. Un système d'ancrage doit pouvoir permettre à la barre de développer toute sa résistance avant d'occasionner une cassure dans le gabarit de l'échantillon d'essai.

L'ACI (American Concrete Institute) est actuellement occupé à élaborer des méthodes d'essai standard permettant de mesurer la résistance à la traction et le module d'élasticité en traction des matériaux composites.

Les caractéristiques de tension des barres d'armature en fibre de verre sont regroupées dans le tableau ci-dessous.

Pour les calculs de projets, ces valeurs doivent être considérées comme des valeurs caractéristiques garanties pour les différents formats de barres d'armature en fibre de verre. Ces valeurs représentent la valeur moyenne diminuée de 3 fois l'écart type.

## CARACTERISTIQUES DE TENSION TYPES DES BARRES D'ARMATURE EN ACIER ET EN FIBRE DE VERRE

	Acier	Barres d'armature en fibre de verre Aslan™
Résistance à la traction Mpa	480 - 600 – 1030	520 - 830*
Résistance colonne de liquide Mpa	400 - 500 - 835 (BE400, 500, Dywidag)	N/A
Module d'élasticité en Gpa	200	40,8
Allongement maximale	10 %	2 %

*\*écarts résultant des différents diamètres des barres (clivage interlaminaire)*

## RESISTANCE DES ARMATURES EN FIBRE DE VERRE COUDEES

Les barres d'armatures en fibre de verre sont réalisées en résines thermodurcissables. Comme les résines sont déjà durcies à la fabrication, les barres ne peuvent plus être coudees sur le chantier par la suite. Les coudes et les étriers sont par conséquent fabriqués en usine. Ils occasionnent une diminution de la résistance à la traction de 60% par rapport à des barres droites. Les expériences effectuées montrent que la baisse de résistance dépend du diamètre de la barre et du degré de courbure du coude (JSCE Code 1997). La résistance de la partie courbe varie également en fonction de la technique

de cou dage utilisée, du type de résine et du type de fibre.

## POIDS VOLUMIQUE

Les barres d'armature en fibre de verre présentent un poids volumique d'environ 1,9 kg/dm<sup>3</sup>, et sont de ce fait près de quatre fois plus légères que des barres en acier d'un poids volumique de 7,9 kg/dm<sup>3</sup>.

## COEFFICIENT DE DILATATION THERMIQUE

Étant donné la nature anisotropique du produit, cette valeur n'est pas identique dans le sens longitudinal et le sens transversal:

Coefficient de dilatation longitudinale:  
 $6-10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

Coefficient de dilatation transversale:  
 $21-23 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

La corrosion de l'acier occasionne une dilatation transversale environ 100 x supérieure à celle d'une barre en fibre de verre.

## FLUAGE

Les fibres de verre font preuve d'une excellente résistance au fluage, contrairement à la plupart des résines. Cette situation implique que l'orientation et le volume des fibres auront une incidence décisive sur les caractéristiques de fluage des barres d'armature composites.

Les études montrent que pour une barre en fibre de verre de haute qualité, le différentiel de contrainte dû au fluage est estimé à 3% de l'élasticité initiale. (Iyer et Anigol 1991).

Dans des conditions ambiantes défavorables, les barres d'armature en fibre de verre soumises à une charge constante peuvent se rompre soudainement après une certaine période de temps. Tous les matériaux de construction, y compris le béton à armature métallique, lorsqu'ils sont soumis à une charge constante pendant une période prolongée peuvent soudainement céder, suite au phénomène dit de "rupture par fluage".

L'acier peut résister pendant une durée illimitée à des efforts équivalents à environ 75% de la contrainte limite et ce, sans affaiblissement de la résistance et sans rupture.

Les essais de fluage effectués sur les matériaux composites des barres d'armature en fibre de verre de différents diamètres par Bundelmann & Rostasy en Allemagne en 1993 ont montré qu'aucune rupture par fluage de l'armature en fibre de verre ne risquait de se produire si les contraintes prolongées ne dépassaient pas 60% des efforts à court terme. Cette caractéristique explique également pourquoi l'usage de barres d'armature en fibre de verre n'est pas recommandé pour les applications de béton armé précontraint.

D'autres facteurs ambiants tels que l'humidité peuvent avoir une incidence sur la rupture par fluage.

Les directives de calcul ACI 440 préconisent de ce fait une contrainte admissible ne dépassant pas 20% de la valeur limite minimale de résistance à la traction.

## RESISTANCE A LA FATIGUE

Les matériaux composites manifestent une bonne résistance à la fatigue si l'on s'en réfère aux essais effectués par l'industrie aéronautique. Des expériences complémentaires ont été effectuées récemment sur des barres d'armature de béton en fibre de verre. Les armatures en fibre de verre soumises à des cycles de fatigue accélérée n'ont révélé aucun signe d'affaiblissement de leur résistance.

## CARACTERISTIQUES FYSIQUES

Diamètre de la barre (Dénomination EU)	Diamètre de la barre GPR (mm)	Diamètre nominale (mm)	Section (mm <sup>2</sup> )	Résistance à la traction (MPa)	Module d'élasticité (GPa)
#2	6	6,35	31,67	830	40,8
#3	9	9,53	71,26	760	40,8
#4	12	12,70	126,68	690	40,8
#5	16	15,88	197,93	655	40,8
#6	19	19,05	285,02	620	40,8
#7	22	22,23	387,95	585	40,8
#8	25	25,40	506,71	550	40,8
#9	28	28,58	641,30	520	40,8
#10	32	31,75	791,73	480	40,8

## SECTION DE LA BARRE

Le procédé de fabrication des barres d'armature en fibre de verre fait que la section des barres n'est pas toujours rigoureusement constante. Ces variations n'ont pas d'incidence sur les caractéristiques de résistance dans la mesure où la quantité de fibres mises en œuvre reste la même. Seule la masse de résine assurant la cohésion et la protection des fibres peut varier. La section transversale des barres

se calcule en immergeant une barre dans l'eau et en mesurant le volume d'eau déplacé.

## DIAMETRE NOMINAL

Le diamètre nominal représente le diamètre moyen de la barre en supposant que la barre en question soit ronde.

## COUDES DISPONIBLES

Dénomination EU	Diamètre de la barre arrondi (mm)	Diamètre minimum du coude (cm)
#2	6	7,50
#3	9	11
#4	12	11
#5	16	11,50
#6	19	11,50
#7	22	15,00
#8	25	15,00
#9	28	15,00
#10	32	15,00

## LONGEVITE

L'un des principaux avantages des barres d'armature en fibre de verre par rapport aux fers à béton traditionnels réside dans leur longévité. Les données expérimentales disponibles concernant cet aspect sont bien entendu limitées eu égard à l'origine récente de l'emploi de la fibre de verre dans le béton armé (1995).

Des expériences de vieillissement accéléré d'armatures en fibre de verre conduites à l'université Penn State de l'état de Iowa (EU) et à l'Université de Sherbrooke, au Québec (Canada) ont montré qu'après une durée simulée de 50 ans, les armatures en fibre de verre avaient perdu 16% de leur résistance à la traction et seulement 4% de leur module d'élasticité.

Les essais ont consisté à exposer l'armature à une solution saturée d'hydroxyde de calcium  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  d'un pH de 13 à une température de 80°C pendant une période de 28 jours.

## ESSAIS ET AGREMENTS

Disponibles sur demande.

## EXEMPLE DE CALCUL

Demandez notre exemple de calcul.