



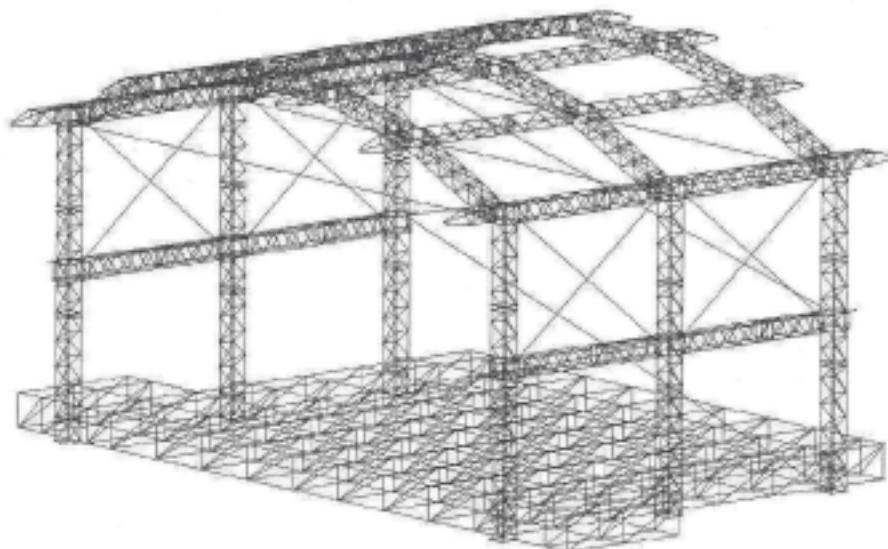
ABACA
Ingénierie des structures spéciales

Affaire 08.265

Scène ATG 18mx14m sur base « scène » ULMA
Bâches de couverture

- SIDE UP -

NOTE DE CALCULS
H/DC/J-01B



5 rue Marceau
34000 Montpellier
France
tel 04 67 58 93 03
fax 04 67 92 07 43
bet.abaca@
wanadoo.fr

S.A.R.L.
au capital de
7622.45 €
R.C. Montpellier
422 734 764 00026
APE 742C

indice	date	auteur	modification	vérifié	date
B	03/11/08	AD	Mise à jour Ø câbles et pré-tension, augmentation de la charge		
A	11/07/08	CR	Première diffusion		
C			Scène ATG 18x14m - Bâches de couverture SIDE UP		

I.	PRELIMINAIRE	4
I.1	OBJET	4
I.2	DOCUMENTS DE REFERENCE UTILISES	4
II.	DESCRIPTION DU SYSTEME	4
II.1	MATERIAUX	4
II.2	PONTS TREILLIS CARRE 500x500 ALUMINIUM	4
II.3	PONTS TREILLIS TRIANGULAIRE, COTE 500, ALUMINIUM	4
II.4	TOUR 500x500 ALUMINIUM HAUTEUR 12.00 m	4
II.5	CHARIOT 500x500 ACIER	5
II.6	SCENE ULMA	5
II.7	BACHE DE TOIT	5
II.8	BACHES LATERALES	5
II.9	BACHE DE FOND	5
III.	HYPOTHESES DE CHARGEMENT	5
III.1	CHARGE DE POIDS PROPRE	5
III.2	PRE-TENSION DES CABLES DE CONTREVENTEMENT	5
III.3	CHARGE D'EXPLOITATION	5
III.4	VITESSE DE VENT SELON CTS	6
III.5	COEFFICIENTS DE PRESSION SELON REGLEMENT NV65	6
III.6	COEFFICIENTS DE PRESSION SELON REGLEMENT NV65	6
III.7	TRAINEE UNITAIRE DE SON SOUS VENT DE FACE	6
III.8	TRAINEE UNITAIRE DE LIGHT SOUS VENT DE FACE	7
III.9	TRAINEE UNITAIRE DE SON SOUS VENT LATERAL	7
III.10	TRAINEE UNITAIRE DE LIGHT SOUS VENT LATERAL	7
III.11	TRAINEE SUR PONTS ET TOURS TREILLIS SOUS UN VENT DE FACE A 100 km/h	7
III.12	TRAINEE SUR TOUR TREILLIS SOUS UN VENT LATERAL A 100 km/h	7
III.13	TRAINEE SUR PONT TREILLIS CARRE SOUS UN VENT LATERAL A 100 km/h	7
III.14	TRAINEE SUR PONT TREILLIS TRIANGULAIRE SOUS UN VENT LATERAL A 100 km/h	8
III.14.1	Bâche de toit	8
III.14.2	Bâches latérales et de fond	8
IV.	DESCENTES DE CHARGE DES BACHES	9
IV.1	BACHE DE TOIT	9
IV.1.1	Principe	9
IV.1.2	Descente de charge de référence vent de face (80km/h, 48.5daN/m ²)	9
IV.1.3	Descente de charge de référence vent latéral (80km/h, 48.5daN/m ²)	9
IV.1.4	Descente de charge de référence vent latéral (100km/h, 75daN/m ²)	10
IV.2	DESCENTES DE CHARGE DES BACHES LATERALES	11
IV.3	DESCENTES DE CHARGE DE LA BACHE DE FOND, 50km/h COEFFICIENT 0.7	11
V.	ANALYSE DE L'OSSATURE DE LA SCENE	12
V.1	CHARGEMENTS RETENUS	12
V.2	COMBINAISONS REGLEMENTAIRES RETENUES	12
V.3	VERIFICATION COHERENCE DES CHARGEMENTS	14
V.4	DESCENTES DE CHARGE GLOBALES DE LA STRUCTURE	15
V.5	CONDITION DE LESTAGE	15
V.6	VERIFICATION GLOBALE DE LA STRUCTURE	15
V.7	VERIFICATION PONTS CARRÉS 500 ALUMINIUM (DROITS ET SURBAISSES)	15
V.7.1	Vérification membrures Ø50x5	15
V.7.2	Vérification entretoises Ø30x3	16
V.7.3	Vérification assemblage Ø25	16
V.8	VERIFICATION PONTS TRIANGULAIRES 500 ALUMINIUM	17
V.8.1	Vérification membrures Ø50x5	17
V.8.2	Vérification entretoises Ø30x3 (sauf poutre casquette)	17
V.8.3	Vérification assemblage Ø25	18
V.8.4	Vérification entretoises Ø30x3 poutre casquette	18
V.9	VERIFICATION TOUR CARREE 500 ALUMINIUM	19
V.9.1	Vérification membrures Ø60x5	19
V.9.2	Vérification entretoises Ø30x3	19
V.9.3	Vérification assemblage Ø25	20

V.10	CROIX DE ST ANDRE ET SOUS-TENSION	20
V.11	STRUCTURE DE SCENE BRIO ULMA.....	20
VI.	CONCLUSIONS	20
VII.	ANNEXES	21
VII.1	VERIFICATION DE L'ASSEMBLAGE Ø25	21
VII.2	DESCENTE DE CHARGES DE LA BACHE DE TOIT, 80KM/H VENT DE FACE	22
VII.3	DESCENTE DE CHARGES DE LA BACHE DE TOIT, 80KM/H VENT LATERAL COEF 0.95	22
VII.4	DESCENTE DE CHARGES DE LA BACHE DE TOIT, 80KM/H VENT LATERAL COEF 0.85.....	23
VII.5	DESCENTE DE CHARGES DE LA BACHE DE TOIT, 100KM/H VENT LATERAL COEF 0.65	23
VII.6	DESCENTE DE CHARGES DE LA BACHE DE TOIT, 100KM/H VENT LATERAL COEF 0.1	24
VII.7	DESCENTE DE CHARGES DE LA BACHE DE TOIT, 100KM/H VENT LATERAL COEF 0.4	24
VII.8	DESCENTE DE CHARGES DES BACHES LATERALES	25
VII.8.1	<i>Vent à 80km/h – Coef 0.7</i>	25
VII.8.2	<i>Vent à 50km/h – Coef 0.7</i>	25
VII.9	DESCENTE DE CHARGES DE LA BACHE DE FOND, 50KM/H, COEF 0.7	26
VII.10	CONDITIONS D'APPUI	26

I. Préliminaire

I.1 Objet

La présente note constitue le rapport d'étude de la scène ATG ayant 18x14m de plateau analysée sous différentes configurations avec bâches d'étanchéité. Une scène sur base échafaudage Ulma est mise en oeuvre ; elle sert par ailleurs d'encastrement aux pieds de tours. Une couverture en toile PVC est mise en place au-dessus de la structure de toiture ; 2 bâches latérales et une bâche de fond rendent la structure « waterproof » jusqu'à un vent de 50 km/h ; au-delà la bâche de fond est affalée, et les bâches latérales sont affalées au delà de 80km/h. On justifie de la bonne résistance de la structure, sous chargement d'exploitation (2x1000 daN de son + 3x1000 daN de light) et pour des vents variants de 50km/h à 100km/h suivant les différentes configurations adoptées. On vérifiera la résistance de la structure à deux fois la charge d'exploitation en plus de la sécurité imposée par AL76 (1.6) On vérifie :

- la bonne résistance des éléments constitutifs :
 - les tours treillis carrés 500mm aluminium
 - les ponts treillis carrés 500mm aluminium
 - les ponts treillis triangulaires 500mm aluminium
- les descentes de charges aux appuis.

N.B. : la vérification des chariots ne fait pas l'objet de la présente étude.

Au vu des dimensionnements, relativement aux sections des ponts eux-mêmes, leur résistance ne pose a priori pas de problème particulier.

I.2 Documents de référence utilisés

Les documents de référence sont :

-les règlements AL76, CM66, CTS (Chapiteaux, Tentes et Structure), NV65 modifié 84.

II. Description du système

II.1 Matériaux

Tube de construction : Aluminium 6060 à limite élastique à 190 MPa = 19 daN/mm²

Tube de construction : Acier E24 à limite élastique à 235 MPa = 23.5 daN/mm²

Assemblage par système chape/tenon d'axe Ø25 : Aluminium 6061 usiné à limite élastique à 220 MPa = 22 daN/mm² avec axe Ø25 qualité S235 => charge de traction max. reprise : 7770 daN

II.2 Ponts treillis carré 500x500 aluminium

Ponts de face, intermédiaire, et de lointain d'ouverture 18m constitués de 5 modules de 3m.

Ponts côté jardin et cour d'ouverture 14m constitués de modules de 2m et 3m.

Sections : Membrure supérieure Ø50x5

Membrures inférieures Ø50x5

Entretoise verticale Ø30x3

Fermeture Ø30x3

Assemblage des modules par système chape/tenon axe Ø25.

Appuis : encastrement (modélisation de l'assemblage sur le carré de levage acier)

II.3 Ponts treillis triangulaire, côté 500, aluminium

Ponts intermédiaires entre jardin et cour, d'ouverture 14m constitués de modules de 2m et 3m.

Sections : Membrure supérieure Ø50x5

Membrures inférieures Ø50x5

Entretoise verticale Ø30x3

Fermeture Ø30x3

Assemblage des modules par système chape/tenon axe Ø25.

Appuis : encastrement (modélisation de l'assemblage sur le carré de levage acier)

II.4 Tour 500x500 aluminium hauteur 12.00m

Hauteur 11.00m en maille de 0.72m

Sections : Membrures Ø60x5 Entretoises
Ø30x3 Fermeture Ø30x3

Assemblage des modules par système chape/tenon axe Ø25.

Appuis : articulations au sol (modélisation des pieds vérin)

II.5 Chariot 500x500 acier

Les chariots de 500mm de hauteur, situés en tête de tour, sont réalisés en tube acier 60x60x5mm. Ils assurent la reprise des efforts transmis par les ponts tout en assurant une manœuvre aisée.

Pour d'avantage de détails, nous invitons le lecteur à se reporter aux plans « constructeurs ».

II.6 Scène Ulma

La scène de construction standard est réalisée en tube d'échafaudage traditionnels Ø48.3x2.9mm avec un équipement de plancher complet ; modules de 2x2m de hauteur 1m.

Nota : Toutes les faces verticales de la scène sont triangulées ; voir documentation constructeur.

II.7 Bâche de toit

La couverture de la toiture est constituée de 5 bâches PES/PVC assujetties en périphérie par laçage sandows sur les membrures supérieures des ponts. Un assujettissement à mi-portée est réalisé sur le pont médian afin de réduire la corde de moitié.

II.8 Bâches latérales

Les toiles latérales sont constituées d'une bâche PES/PVC en plusieurs parties ré-assemblées par bande Velcro, interrompues à une hauteur de 3,6m au dessus de la scène. Elles sont assujetties en partie supérieure par laçage sandows sur une membrure inférieure des ponts de 500 ; et en partie inférieure par strappage aux angles sur les tours aluminium. Elles sont affalées au delà de 80m/h.

II.9 Bâche de fond

La toile de fond est constituée d'une bâche PES/PVC en plusieurs parties ré-assemblées par bande Velcro, sur toute la hauteur d'ouverture de scène. Elle est assujettie en partie supérieure par laçage sandows sur une membrure inférieure du pont de lointain 500 alu riggé par trois moteurs au pont carré 500 ; et en partie inférieure par strappage sur la scène.

Elle est affalée au delà de 50m/h.

III. Hypothèses de chargement

III.1 Charge de poids propre

En outre du poids propre des charpentes, on prend en compte le poids propre des planchers de scène ULMA à 21.5 daN/m² (26 kg par plancher de 2 x 0.6m). Le chargement est appliqué en charge uniformément répartie sur l'ensemble des traverses horizontales supérieures de la scène soit 17.7 daN/ml.

III.2 Pré-tension des câbles de contreventement

Il est introduit dans le modèle de calcul des raccourcissement aux câbles correspondant à leur mise en pré-tension.

Raccourcissement de 1cm pour les croix latérales.

Raccourcissement de 3cm pour la croix de fond de scène.

Raccourcissement de 3cm pour les câbles de sous-tension des arches.

III.3 Charge d'exploitation

LIGHTS : 3x1000 daN à répartir sur les ponts 500 aluminium de face, de lointain et intermédiaires, soit une charge de 55.6 daN/ml par pont. Cette charge est appliquée linéairement sur les membrures inférieures de chacun des ponts.

SON : 2x 1000 daN en tout soit 1000 daN par aile de son. Le chargement est placé ponctuellement à l'extrémité des ponts de jardin et de cour.

NOTA : Le chargement d'exploitation de 600 daN/m² de la scène n'est pas pris en compte car la scène BRIO est déjà justifiée sous cette charge par le constructeur. Par ailleurs, vis à vis de la stabilité de la scène, on se place dans un cas défavorable en ne le prenant pas en compte.

III.4 Vitesse de vent selon CTS

Le règlement CTS « Chapiteaux Tentes et Structures » précise :

- Neige CTS : 4cm d'épaisseur = 10 daN/m² - Sans Objet
- Vent CTS : 100 km/h = 47 daN/m²

Cette charge de vent est pondérée par les coefficients réglementaires du matériau constitutifs de l'ossature (ici AL76 pour se placer en sécurité) :

- 100 km/h = 47 x 1.6 = 75 daN/m²

2 autres valeurs de pression dynamiques sont envisagées selon les configurations avec bâches :

- 80 km/h = 30 daN/m²
- 50 km/h = 11.75 daN/m²

III.5 Coefficients de pression selon règlement NV65

On étudie 2 incidences de vent, impliquant une variabilité des coefficients de pression :

- vent face 100km/h
 - Son
 - Light
- vent latéral 100km/h
 - Son
 - Light

Ces configurations imposent des coefficients de pression différents sur les mêmes éléments de structure que nous présentons ci après en respectant les prescriptions du NV65 :

III.6 Coefficients de pression selon règlement NV65

On étudie 2 incidences de vent face et latéral pour 3 configurations de chargement :

- vent 100km/h
 - Configuration sans bâches :
 - Son
 - Light
 - Configuration bâches :
 - absence d'équipement
 - bâche de toiture
- vent 80km/h
 - Configuration sans bâches :
 - Son
 - Light
 - Configuration bâches :
 - absence d'équipement
 - bâche de toiture
 - bâches latérales
- vent 50km/h
 - équipements son + lumière
 - bâche de toiture
 - bâches latérales
 - bâche de fond

Ces configurations imposent des coefficients de pression différents sur les mêmes éléments de structure que nous présentons ci-après en respectant les prescriptions du NV65.

III.7 Traînée unitaire de son sous vent de face

On prend en compte une traînée des installations de son par vent de face :

Maître couple : $3 \times 1 = 3\text{m}^2$
Hypothèse de panneau éloigné du sol selon NV65 :
 $\lambda = 3$
 $\Rightarrow Ct = 1.53$
Trainée unitaire pondérée AL76 :
 $T = 1 \text{ daN/m}^2 \times 1.53 \times 3 \text{ m}^2 \times 1.6 = 7.4 \text{ daN}$

III.8 Trainée unitaire de light sous vent de face

On prend en compte une trainée des installations de light par vent de face :
Maître couple : $18 \times 1 = 18 \text{ m}^2$
 $\lambda = 1 / 18$
 $\Rightarrow Ct = 1.55$
Trainée unitaire pondérée AL76 :
 $T = 1 \text{ daN/m}^2 \times 1.55 \times 18 \text{ m}^2 \times 1.6 = 44.7 \text{ daN}$

III.9 Trainée unitaire de son sous vent latéral

On prend en compte une trainée des installations de son par vent de côté :
Maître couple : $3 \times 1 = 3\text{m}^2$
Hypothèse de panneau éloigné du sol selon NV65 :
 $\lambda = 3$
 $\Rightarrow Ct = 1.53$
Trainée unitaire pondérée AL76 :
 $T = 1 \text{ daN/m}^2 \times 1.53 \times 3 \text{ m}^2 \times 1.6 = 7.4 \text{ daN}$

III.10 Trainée unitaire de light sous vent latéral

On prend en compte une trainée des installations de light par vent de côté :
Maître couple : 1m^2
Hypothèse de panneau éloigné du sol selon NV65 :
 $\lambda = 1$
 $\Rightarrow Ct = 1.75$
Trainée unitaire pondérée AL76 :
 $T = 1 \text{ daN/m}^2 \times 1.75 \times 14 \text{ m}^2 \times 1.6 = 39.2 \text{ daN}$

III.11 Trainée sur ponts et tours treillis sous un vent de face à 100 km/h

Selon le règlement NV65, on adopte les coefficients suivants en utilisant les résultats des « Constructions ajourées ou en treillis » :

Treillis carré avec tube de section $\varnothing 50 \times 5$ et $\varnothing 30 \times 3$

$$Sp = 0.169$$

$$S = 0.5$$

$$\varphi = 0.34$$

$$Ct = 2.24 - 1.4 \varphi = 1.77$$

Décomposition sur une membrure pour 1ml à 100km/h de vent pondéré :

$$p = 1 / 4 \times 75 \times 1.77 \times 0.169 = 5.6 \text{ daN/m}$$

Chargement placé en charge répartie sur les 4 membrures soit 6daN/ml

$$\Rightarrow \text{Trainée globale} = (6 \times 4 \times 5.6 \times 9.5) + (3 \times 4 \times 5.6 \times 18.8) = 2540 \text{ daN pour 6 tours et 3 ponts}$$

III.12 Trainée sur tour treillis sous un vent latéral à 100km/h

Pont treillis 500 : Treillis carré avec tube de section $\varnothing 50 \times 5$ et $\varnothing 30 \times 3$

De la même façon, on détermine : $\varphi = 0.43$

$$Ct = 1.6$$

Décomposition sur une membrure pour 1ml à 100km/h de vent pondéré :

$$p = 1 / 4 \times 75 \times 1.6 \times 0.215 = 6.45 \text{ daN/m}$$

Chargement placé en charge répartie sur les 4 membrures soit 6.45daN/ml

$$\Rightarrow \text{Trainée globale} = 6 \times 4 \times 6.45 \times 9 = 1393 \text{ daN pour 6 tours}$$

III.13 Trainée sur pont treillis carré sous un vent latéral à 100 km/h

Pont treillis 500 : Treillis carré avec tube de section $\varnothing 50 \times 5$ et $\varnothing 30 \times 3$

De la même façon, on détermine : $Ct = 2.24 - 1.4 \varphi = 1.77$

Décomposition sur une membrure pour 1ml à 100km/h de vent pondéré :

$$p = 1 / 4 \times 75 \times 1.77 \times 0.169 = 5.6 \text{ daN/m}$$

Chargement placé en charge répartie sur les 4 membrures soit 6daN/ml

$$\Rightarrow \text{Traînée globale} = 4 \times 4 \times 5.6 \times 17 = 1523 \text{ daN pour 4 ponts}$$

III.14 Traînée sur pont treillis triangulaire sous un vent latéral à 100 km/h

Pont treillis 500 : Treillis triangulaire avec tube de section Ø50x5 et Ø30x3

De la même façon, on détermine : $\varphi = 0.53$

$$C_t = 1.6$$

Décomposition sur une membrure pour 1ml à 100km/h de vent pondéré :

$$p = 1 / 3 \times 75 \times 1.6 \times 0.27 = 10.8 \text{ daN/m}$$

Chargement placé en charge répartie sur les 3 membrures soit 10.8 daN/ml

$$\Rightarrow \text{Traînée globale} = 4 \times 3 \times 10.8 \times 13 = 1685 \text{ daN pour 4 ponts}$$

III.14.1 Bâche de toit

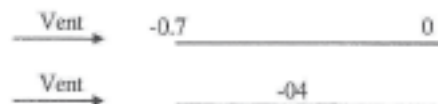
- Configuration 100 km/h

Pour le vent avant ou arrière « sens Face-Lointain », on considère les coefficients de pression pour toiture isolée avec incidence 0° soit :

Coef = ± 0.7 du bord d'attaque à 0 au bord de fuite.

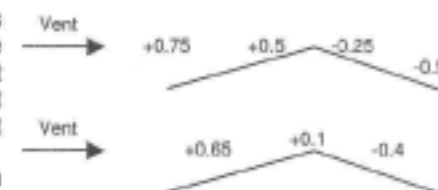
En se plaçant en cas défavorable, le coefficient est pris en soulèvement soit de -0.7 à 0 conformément au schéma ci contre.

Pour se placer en sécurité, on adopte un coefficient maximum uniforme sur toute la membrane de -0.4.



Pour le vent latéral « Cour-Jardin », on considère les coefficients de pression pour toiture isolée en forme de voûte avec incidence 14°. On a $\lambda=2$ et par conséquent le coefficient de soulèvement varie entre 0.75 et 0.5 sur le versant exposé et entre -0.25 et -0.5 sur le versant sous le vent, conformément au schéma ci-contre.

Pour se placer en sécurité, on adopte un coefficient maximum uniforme de +0.65 sur le versant exposé, de 0.1 sur la toile médiane plate, et de -0.4 sur le versant sous le vent.



- Configuration 50 km/h

Construction ouverte comportant une paroi ouverte et deux parois à perméabilité supérieure $\mu = 35\%$. La géométrie de la scène donne $\gamma_0=1$.

Pour le vent latéral, on est dans le cas d'une toiture en voûte. Le coefficient de soulèvement extérieur varie donc de -0.6 à -0.77 sur le versant au vent, et de -0.77 à -0.3 sur le versant sous le vent. Par ailleurs, le coefficient intérieur est de +0.3. Pour se placer en sécurité, on adopte un coefficient maximum de -0.95 sur la partie au vent (zone plate comprise) et de -0.85 sur la partie sous le vent.

Dans le cas du vent de face, on se retrouve dans la configuration 100km/h avec un coefficient extérieur variant de -0.7 à 0. Le coefficient intérieur est dans ce cas de +0.3.

Pour se placer en sécurité, on adopte un coefficient maximum uniforme sur toute la membrane de -0.7.

- Configuration 80km/h

On se trouve ici dans le cas d'une construction ouverte à deux parois ouvertes et éloignée du sol ($e=4m$). La géométrie de la scène donne $a=18m$, $b=14m$ et $h=10m$. D'où $\lambda_a=0.55$ et $\lambda_b=0.7$, soit $ab/h^2=0.72$ et donc $\gamma_0=1$. On se réfère donc aux coefficients donnés pour le cas de vent à 50km/h, à la différence près que la bâche de fond est affalée.

Pour se placer en sécurité, on prendra :

- vent latéral : un coefficient maximum de -0.95 sur la partie au vent (zone plate comprise) et de -0.85 sur la partie sous le vent
- vent de face : un coefficient maximum uniforme de -0.7 dans le cas de vent de face

III.14.2 Bâches latérales et de fond

- Configuration 80 km/h et 50 km/h

Ces bâches assurent à la structure une perméabilité supérieure à 35%

$$\Rightarrow \text{Coefficient de vent pour bâches} : 0.7$$

IV. Descentes de charge des bâches

IV.1 Bâche de toit

IV.1.1 Principe

Du fait de la non linéarité de la réponse des membranes, en toute rigueur, il conviendrait de calculer les descentes de charges pour chaque vitesse de vent.

Pour le vent de face, en guise de simplification, on étudie le comportement non linéaire de chaque partie de la bâche de toit à 80km/h de vent, sans coefficient de pression mais avec coefficient de sécurité AL76 de 1.6, pour en faire un cas de charge de référence ; les efforts sous 50km/h et 100km/h en sont alors déduits linéairement par un simple coefficient multiplicateur : 19/48.5 et 75/48.5. On applique ensuite le coefficient de pression ad hoc. Cette simplification est licite puisque l'erreur commise est favorable de 26% pour 50km/h et défavorable de 2%.

Pour le vent latéral, on applique la même méthode pour les vents 80km/h et 50km/h. La configuration à 100km/h en toiture isolée est calculée séparément.

IV.1.2 Descente de charge de référence vent de face (80km/h, 48.5daN/m²)

Nous adoptons la méthode itérative des bandes indépendantes au second ordre pour calculer des efforts transmis par ces toiles sur l'ossature (voir en annexes). Nous calculons les efforts de toile dans la petite dimension (3,5m) pour lesquelles les tensions sont majoritaires, sans tenir compte du coefficient de pression.

On donne les composantes verticales et horizontales de la tension pour les différents éléments de toiles :

- ⇒ Toile basse, inclinaison 24°
 - ⇒ Tension appliquée sur les ponts 500 carré en rive
Tension = 370 daN/ml
Composante horizontale = 295 daN/ml
Composante verticale = 224 daN/ml
 - ⇒ Tension appliquée sur les ponts 500 triangulaires bas
Composante horizontale = 364 daN/ml
Composante verticale = 69 daN/ml
- ⇒ Toile intermédiaire, inclinaison 12°
 - ⇒ Tension appliquée sur les ponts 500 triangulaires bas
Tension = 370daN/ml
Composante horizontale = 335 daN/ml
Composante verticale = 158 daN/ml
 - ⇒ Tension appliquée sur les ponts triangulaires hauts
Composante horizontale = 370 daN/ml
Composante verticale = -8 daN/ml
- ⇒ Toile haute, plate
 - ⇒ Tension appliquée sur les ponts 500 triangulaires hauts
Tension = 370 daN/ml
Composante horizontale = 360 daN/ml
Composante verticale = 85 daN/ml

Ces chargements sont placés en charge répartie sur les membrures supérieures.

La charge de composante verticale doit être appliquée sur toutes les membrures supérieures des ponts pour donner : $14 \times 2 \times (224 + 69 + 158 - 8 + 85) = 14784 \text{ daN}$

IV.1.3 Descente de charge de référence vent latéral (80km/h, 48.5daN/m²)

Nous adoptons la méthode itérative des bandes indépendantes au second ordre pour calculer des efforts transmis par ces toiles sur l'ossature (voir en annexes). Nous calculons les efforts de toile dans la petite dimension (3,5m) pour lesquelles les tensions sont majoritaires, en tenant compte des coefficients de pression -0.95 sur le versant au vent (partie plate comprise) et -0.85 sur le versant sous le vent.

On donne les composantes verticales et horizontales de la tension pour les différents éléments de toiles :

- ⇒ Toile basse, au vent, inclinaison 24°
 - ⇒ Tension appliquée sur les ponts 500 carré en rive

- Tension = 357 daN/ml
 - Composante horizontale = 285 daN/ml
 - Composante verticale = 215 daN/ml
- ⇒ Tension appliquée sur les ponts 500 triangulaires bas
 - Composante horizontale = 351 daN/ml
 - Composante verticale = 68 daN/ml
- ⇒ Toile intermédiaire, au vent, inclinaison 12°
 - ⇒ Tension appliquée sur les ponts 500 triangulaires bas
 - Tension = 357 daN/ml
 - Composante horizontale = 324 daN/ml
 - Composante verticale = 151 daN/ml
 - ⇒ Tension appliquée sur les ponts triangulaires hauts
 - Composante horizontale = 357 daN/ml
 - Composante verticale = -6 daN/ml
- ⇒ Toile haute, plate
 - ⇒ Tension appliquée sur les ponts 500 triangulaires hauts
 - Tension = 357 daN/ml
 - Composante horizontale = 348 daN/ml
 - Composante verticale = 81 daN/ml
- ⇒ Toile intermédiaire, sous le vent, inclinaison 12°
 - ⇒ Tension appliquée sur le pont 500 triangulaire bas
 - Tension = 331 daN/ml
 - Composante horizontale = 301 daN/ml
 - Composante verticale = 137 daN/ml
 - ⇒ Tension appliquée sur le pont 500 triangulaire haut
 - Composante horizontale = 331 daN/ml
 - Composante verticale = -3 daN/ml
- ⇒ Toile basse, sous le vent, inclinaison 24°
 - ⇒ Tension appliquée sur le pont 500 carré en rive
 - Tension = 331 daN/ml
 - Composante horizontale = 266 daN/ml
 - Composante verticale = 197 daN/ml
 - ⇒ Tension appliquée sur le ponts 500 triangulaire haut
 - Composante horizontale = 324 daN/ml
 - Composante verticale = 66 daN/ml

Ces chargements sont placés en charge répartie sur les membrures supérieures.

La charge de composante verticale doit être appliquée sur toutes les membrures supérieures des ponts pour donner : $14 \times (215 + 68 + 151 - 16 + 81 + 81 + 137 - 3 + 197 + 66) = 13678 \text{ daN}$

IV.1.4 Descente de charge de référence vent latéral (100km/h, 75daN/m²)

Nous adoptons la méthode itérative des bandes indépendantes au second ordre pour calculer des efforts transmis par ces toiles sur l'ossature (voir en annexes). Nous calculons les efforts de toile dans la petite dimension (3,5m) pour lesquelles les tensions sont majoritaires, en tenant compte des coefficients de pression +0.65 sur le versant au vent, +0.1 sur la partie plate et -0.4 sur le versant sous le vent.

On donne les composantes verticales et horizontales de la tension pour les différents éléments de toiles :

- ⇒ Toile basse, au vent, inclinaison 24°
 - ⇒ Tension appliquée sur les ponts 500 carré en rive
 - Tension = 372 daN/ml
 - Composante horizontale = 365 daN/ml
 - Composante verticale = 69 daN/ml
 - ⇒ Tension appliquée sur les ponts 500 triangulaires bas
 - Composante horizontale = 296 daN/ml
 - Composante verticale = -225 daN/ml
- ⇒ Toile intermédiaire, au vent, inclinaison 12°
 - ⇒ Tension appliquée sur les ponts 500 triangulaires bas
 - Tension = 372 daN/ml
 - Composante horizontale = 372 daN/ml
 - Composante verticale = 8 daN/ml
 - ⇒ Tension appliquée sur les ponts triangulaires hauts

- Composante horizontale = 336 daN/ml
Composante verticale = -159 daN/ml
- ⇒ Toile haute, plate
 - ⇒ Tension appliquée sur les ponts 500 triangulaires hauts
Tension = 106 daN/ml
Composante horizontale = 106 daN/ml
Composante verticale = -13 daN/ml
 - ⇒ Toile intermédiaire, sous le vent, inclinaison 12°
 - ⇒ Tension appliquée sur le pont 500 triangulaire bas
Tension = 268 daN/ml
Composante horizontale = 246 daN/ml
Composante verticale = 106 daN/ml
 - ⇒ Tension appliquée sur le pont 500 triangulaire haut
Composante horizontale = 268 daN/ml
Composante verticale = -3 daN/ml
 - ⇒ Toile basse, sous le vent, inclinaison 24°
 - ⇒ Tension appliquée sur le pont 500 carré en rive
Tension = 268 daN/ml
Composante horizontale = 219 daN/ml
Composante verticale = 155 daN/ml
 - ⇒ Tension appliquée sur les ponts 500 triangulaire haut
Composante horizontale = 262 daN/ml
Composante verticale = -59 daN/ml

Ces chargements sont placés en charge répartie sur les membrures supérieures.

La charge de composante verticale doit être appliquée sur toutes les membrures supérieures des ponts pour donner : $14 \times (69 - 225 + 8 - 159 - 13 - 13 + 106 - 3 + 155 - 59) = -1876 \text{ daN}$

IV.2 Descentes de charge des bâches latérales

Nous adoptons la méthode itérative des bandes indépendantes au second ordre pour calculer des efforts transmis par ces toiles sur l'ossature (voir en annexes). Nous calculons les efforts de toile dans la petite dimension (4m) pour lesquelles les tensions sont majoritaires, en tenant compte du coefficient de pression 0.7 et du coefficient de sécurité 1.6 :

- Vent à 80km/h
 - ⇒ Tension appliquée en charge répartie sur la partie haute les membrures des ponts 500
Tension = 297 daN/ml
Composante horizontale = 68 daN/ml
Composante verticale = 279 daN/ml
- Vent à 50km/h
 - ⇒ Tension appliquée en charge répartie sur les membrures des ponts 500
Tension = 153 daN/ml
Composante horizontale = 27 daN/ml
Composante verticale = 151 daN/ml

IV.3 Descentes de charge de la bâche de fond, 50km/h coefficient 0.7

Nous adoptons la méthode itérative des bandes indépendantes au second ordre pour calculer des efforts transmis par ces toiles sur l'ossature (voir en annexes). Nous calculons les efforts de toile dans la petite dimension (9m) pour lesquelles les tensions sont majoritaires, en tenant compte du coefficient de sécurité de 1.6.

- ⇒ Tension appliquée en 3x2 charges ponctuelle sur les membrures inférieures du pont 500 de fond :
Charge ponctuelle aux appuis extérieurs :
Composante horizontale = $0.375 \times 60 \text{ daN/ml} \times 18 / 2 / 2 (\text{membrures}) = 101.25 \text{ daN}$
Composante verticale = $0.375 \times 257 \text{ daN/ml} \times 18 / 2 / 2 (\text{membrures}) = 433.7 \text{ daN}$
Charge ponctuelle au centre (répartie sur deux nœuds du treillis) :
Composante horizontale = $1.25 \times 63 \text{ daN/ml} \times 18 / 2 / 2 (\text{membrures}) = 337.5 \text{ daN}$
Composante verticale = $1.25 \times 297 \text{ daN/ml} \times 18 / 2 / 2 (\text{membrures}) = 1445.6 \text{ daN}$

- ⇒ Tension appliquée en charge répartie sur zone d'attache en partie basse sur scène
 - Tension = 264daN/ml
 - Composante horizontale = 60 daN/ml
 - Composante verticale = 257 daN/ml

V. Analyse de l'ossature de la scène

V.1 Chargements retenus

Les cas de charges sont les suivants :

- Cas # 1 : Poids propre ossature + charge CTBX de plancher
- Cas # 2 : Poids de light 1500 + 2x1000 daN
- Cas # 3 : Poids de son 2 x 1000 daN
- Cas # 4 : Traînée light face unitaire
- Cas # 5 : Traînée son face unitaire
- Cas # 6 : Traînée treillis face 100km/h
- Cas # 7 : Traînée light latérale unitaire
- Cas # 8 : Traînée son latérale unitaire
- Cas # 9 : Traînée treillis latéral 100km/h
- Cas # 10 : Toiture chargement de référence Vent de Face
- Cas # 11 : Toiture chargement 100km/h latéral
- Cas # 12 : Toiture chargement de référence 80km/h latéral
- Cas # 13 : Bâches latérales 80km/h Vent face
- Cas # 14 : Bâches latérales 80km/h Vent latéral
- Cas # 15 : Bâches latérales 50km/h Vent face
- Cas # 16 : Bâches latérales 50km/h Vent latéral
- Cas # 17 : Bâche fond 50km/h

V.2 Combinaisons réglementaires retenues

On retient les combinaisons de ces chargements :

- Cas # 20 : Vent face 100km/h avec matériel et toiture
PP + Poids light x 1.6+ Poids son x 1.6 + traînée light face x 47 + traînée son face x 47 + traînée treillis face 100km/h x 1 + Toiture vent face x 0.62
- Cas # 21 : Vent latéral 100 km/h avec matériel et toiture
PP x 1.5 + Poids light x 1.6+ Poids son x 1.6 + traînée light latéral x 47 + traînée son latéral x 47 + traînée treillis latéral 100km/h x 1 + Toiture vent latéral x 0.62
- Cas # 22 : Vent face 100km/h toiture seule
PP + traînée treillis face 100km/h x 1 + Toiture vent face x 0.62
- Cas # 23 : Vent latéral 100km/h toiture seule
PP + traînée treillis latéral 100km/h x 1 + Toiture vent 100km/h latéral
- Cas # 24 : Vent Face 100km/h matériel seul
PP + Poids light x 1.6+ Poids son x 1.6 + traînée light face x 47 + traînée son face x 47 + traînée treillis face 100km/h x 1
- Cas # 25 : Vent latéral 100km/h matériel seul
PP x 1.5 + Poids light x 1.6+ Poids son x 1.6 + traînée light latéral x 47 + traînée son latéral x 47 + traînée treillis latéral 100km/h x 1
- Cas # 30 : Vent Face 80km/h avec matériel
PP + Poids light x 1.6+ Poids son x 1.6 + traînée light face x 30.3 + traînée son face x 30.3 + traînée treillis face 100km/h x 0.65 + Bâches latérales 80km/h face + Toiture vent face x 0.7
- Cas # 31 : Vent Latéral 80km/h avec matériel
PP + Poids light x 1.6+ Poids son x 1.6 + traînée light latéral x 30.3 + traînée son latéral x 30.3 + traînée treillis latéral 100km/h x 0.65 + Bâches latérales 80km/h latéral + Toiture 80km/h latéral
- Cas # 32 : Vent Face 80km/h toiture seule
PP + traînée treillis face 100km/h x 0.65 + Bâches latérales 80km/h face + Toiture vent face x 0.7
- Cas # 33 : Vent Latéral 80km/h toiture seule
traînée treillis latéral 100km/h x 0.65 + Bâches latérales 80km/h latéral + Toiture 80km/h latéral

- Cas # 40 : Vent Face 50km/h tout équipé
 PP + Poids light x 1.6+ Poids son x 1.6 + traînée light face x 11.9 + traînée son face x 11.9 + traînée treillis face 100km/h x 0.25 + Bâches latérales 50km/h face + Bâche fond + Toiture vent face x 0.3
- Cas # 41 : Vent Latéral 50km/h tout équipé
 PP + Poids light x 1.6+ Poids son x 1.6 + traînée light latéral x 11.9 + traînée son latéral x 11.9 + traînée treillis latéral 100km/h x 0.27 + Bâches latérales 50km/h latéral + Bâche fond + Toiture 80km/h latéral x 0.39
- Cas # 224 : Vent Face 100km/h matériel x1.5 seul
 PP + Poids light x 3.2+ Poids son x 3.2 + traînée light face x 47 + traînée son face x 47 + traînée treillis face 100km/h x 1
- Cas # 225 : Vent latéral 100km/h matériel x 1.5 seul
 PP x 1.5 + Poids light x 3.2+ Poids son x 3.2 + traînée light latéral x 47 + traînée son latéral x 47 + traînée treillis latéral 100km/h x 1
- Cas # 230 : Vent Face 80km/h avec matériel x 1.5
 PP + Poids light x 3.2+ Poids son x 3.2 + traînée light face x 30.3 + traînée son face x 30.3 + traînée treillis face 100km/h x 0.65 + Bâches latérales 80km/h face + Toiture vent face x 0.7
- Cas # 231 : Vent Latéral 80km/h avec matériel
 PP + Poids light x 3.2 + Poids son x 3.2 + traînée light latéral x 30.3 + traînée son latéral x 30.3 + traînée treillis latéral 100km/h x 0.65 + Bâches latérales 80km/h latéral + Toiture 80km/h latéral
- Cas # 240 : Vent Face 50km/h tout équipé avec matériel x 1.5
 PP + Poids light x 3.2+ Poids son x 3.2 + traînée light face x 11.9 + traînée son face x 11.9 + traînée treillis face 100km/h x 0.25 + Bâches latérales 50km/h face + Bâche fond + Toiture vent face x 0.3
- Cas # 241 : Vent Latéral 50km/h tout équipé avec matériel x 1.5
 PP + Poids light x 3.2 + Poids son x 3.2 + traînée light latéral x 11.9 + traînée son latéral x 11.9 + traînée treillis latéral 100km/h x 0.27 + Bâches latérales 50km/h latéral + Bâche fond + Toiture 80km/h latéral x 0.39

Les deux premières combinaisons (en gris) donnent des contraintes dans la structure non amissibles. Elles ne sont donc pas pris en compte dans la suite de la note.

On pondère le poids propre d'un coefficient 1.5 défavorable dans les cas où l'action du vent est un effet global d'appui, conformément à l'AL76.

Tableaux des combinaisons :

Combinaison	Définition
20	Vent Face 100km/h avec matériel et toiture
21	Vent Latéral 100km/h avec matériel et toiture
22	Vent Face 100km/h toiture seule
23	Vent Latéral 100km/h Toiture seule
24	Vent Face 100km/h matériel seul
25	Vent Latéral 100km/h matériel seul
30	Vent Face 80km/h avec matériel
31	Vent Latéral 80km/h avec matériel
32	Vent Face 80km/h toiture seule
33	Vent Latéral 80km/h toiture seule
40	Vent Face 50km/h tout équipé
41	Vent Latéral 50km/h tout équipé
224	2-Vent Face 100km/h matériel seul x2
225	2-Vent Latéral 100km/h matériel seul x2
230	2-Vent Face 80km/h avec matériel x 2
231	2-Vent Latéral 80km/h avec matériel x 2
240	2-Vent Face 50km/h tout équipé x 2
241	2-Vent Latéral 50km/h tout équipé x 2

N.B : Le cas 1 est intégré à chaque cas de charge avec un coefficient 1 par défaut.

V.3 Vérification cohérence des chargements

Les cumuls de descentes de charges sont les suivantes :

Cas 1	PP+plancher			Cas 10	Toiture charge de référence vent de face		
	FX (daN)	FY (daN)	FZ (daN)		FX (daN)	FY (daN)	FZ (daN)
Somme totale	0	0	14575	Somme totale	0	443	-310
Cas 2	Light 3000daN			Cas 11	Toiture charge 100km/h latéral		
Somme totale	0	0	17594	Somme totale	0	-1918	16554
Cas 3	Son 2000daN			Cas 12	Toiture charge de référence 80km/h latéral		
Somme totale	0	0	16575	Somme totale	0	581	899
Cas 4	Trainée light face unitaire			Cas 13	Bâches lat. 80km/h Vent Face		
Somme totale	-45	0	14575	Somme totale	0	-102	13917
Cas 5	Trainée son face unitaire			Cas 14	Bâches lat. 80km/h Vent latéral		
Somme totale	-15	0	14575	Somme totale	0	-3207	13917
Cas 6	Trainée treillis face 100km/h			Cas 15	Bâches lat. 50km/h vent face		
Somme totale	-2800	0	14575	Somme totale	0	262	15910
Cas 7	Trainée light latérale unitaire			Cas 16	Bâches lat. 50km/h vent latéral		
Somme totale	0	-40	14575	Somme totale	0	-1210	14575
Cas 8	Trainée son latérale unitaire			Cas 17	Bâches fond 50km/h Vent face		
Somme totale	0	-15	14575	Somme totale	-2160	0	14575
Cas 9	Trainée treillis latérale 100km/h						
Somme totale	0	-4656	14575				

Cas # 1 : PP+plancher : 14575 daN

Cas # 2 : Light : $3 \times 1000 = 3000$ daN et $17594 - 14575 = 3039 \Rightarrow$ OK

Cas # 3 : Son : $1000 \times 2 = 2000$ daN et $16575 - 14575 = 2000 \Rightarrow$ OK

Cas # 4 : Trainée light face unitaire : sur x, 44.7 daN attendu et 45 daN affiché \Rightarrow OK

Cas # 5 : Trainée son face unitaire : sur x, $7,4 \times 2 = 14,8$ daN et 15 daN affiché \Rightarrow OK

Cas # 6 : Trainée treillis face : sur x, 2540 daN attendu et 2800 daN affiché \Rightarrow OK

Cas # 7 : Trainée light latérale unitaire : sur y, 39.2 daN attendu et 40daN affiché \Rightarrow OK

Cas # 8 : Trainée son latérale : sur y, $7,4 \times 2 = 14,8$ daN et 15 daN affiché \Rightarrow OK

Cas # 9 : Trainée treillis latéral : sur y, $1393 + 1523 + 1685 = 4601$ daN et 4656daN affiché \Rightarrow OK

Cas # 10 : Bâche de toit face : sur z, -14784 daN attendu et $-310 - 14575 = -14885$ daN \Rightarrow OK

Cas # 11 : Bâche de toit 100km/h latéral : sur z, 1876 daN attendu et $16554-14575 = 1979$ daN \Rightarrow OK

Cas # 12 : Bâche de toit 80km/h latéral : sur z, -13678 daN attendu et $14575 - 899 = 13676$ daN \Rightarrow OK

Cas # 13 : Bâches lat. 80km/h face : somme des réactions nulle \Rightarrow OK

Cas # 14 : Bâches lat. 80km/h latéral : sur y, $68 \times 11,5 \times 4 = 3128$ daN attendu et 3207 daN affiché \Rightarrow OK

Cas # 15 : Bâches lat. 50km/h face : somme des réactions nulle \Rightarrow OK

Cas # 16 : Bâches lat. 50km/h latéral : sur y, $27 \times 11,5 \times 4 = 1242$ attendu, 1210 affiché \Rightarrow OK

L'élément défavorable n°5303 dans le cas 21 est vérifié au flambement composé :

- effort de compression max : 6211 daN
- moment de flexion associé : 5.3 daN
- longueur de flambement : 0.72m
- ⇒ Sécurité 1.7

Vérification flexion composée	
Contrainte normale	8,79 daN/mm ²
Contrainte flexion	0,73 daN/mm ²
Coefficient k1	1,12
Coefficient kf	1,52
Contrainte réelle amplifiée	10,93 < del
Sécurité	1,74 > 1
Taux de travail	0,58 < 1

V.7.2 Vérification entretoises Ø30x3

L'analyse des efforts maximum dans les membrures des ponts donne :

Efforts max. entretoises Ø30x3mm, pont carré 500						
	FX [daN]	FY [daN]	FZ [daN]	MX [daNm]	MY [daNm]	MZ [daNm]
MAX	1204	-6	6	0	2	2
Barre	496	496	496	496	496	496
Noeud	373	374	374	374	373	373
Cas	240	240	240	240	240	240
MIN	1203	-6	6	0	-1	-1
Barre	496	496	496	496	496	496
Noeud	374	374	373	374	374	374
Cas	240	240	240	240	240	240

L'élément défavorable n°496 dans le cas 240 est vérifié au flambement composé :

- effort de compression max : 1204 daN
- moment de flexion associé : 2 daN
- longueur de flambement : 0.88m
- ⇒ Sécurité 1.43

Vérification flexion composée	
Contrainte normale	4,73 daN/mm ²
Contrainte flexion	1,28 daN/mm ²
Coefficient k1	1,70
Coefficient kf	4,11
Contrainte réelle amplifiée	13,31 < del
Sécurité	1,43 > 1
Taux de travail	0,70 < 1

V.7.3 Vérification assemblage Ø25

Effort max. repris par manchon d'assemblage : $T_{lim} = 9000$ daN (voir annexe)

Traction max. dans membrure : $T_{max} = 4500$ daN

⇒ Sécurité supérieure à 2 en plus des coefficients réglementaires.

V.8 Vérification ponts triangulaires 500 aluminium

V.8.1 Vérification membrures Ø50x5

L'analyse des efforts maximum dans les membrures des ponts donne :

Efforts max. membrures Ø50x5mm, pont triangle 500						
	FX [daN]	FY [daN]	FZ [daN]	MX [daNm]	MY [daNm]	MZ [daNm]
MAX	6003	50	66	1	16	23
Barre	140	140	140	140	140	140
Noeud	90	89	89	89	90	89
Cas	225	225	225	225	225	225
MIN	6003	46	64	1	-30	-10
Barre	140	140	140	140	140	140
Noeud	89	90	90	89	89	90
Cas	225	225	225	225	225	225

L'élément défavorable n°140 dans le cas 225 est vérifié au flambement composé :

- effort de compression max : 6003daN
- moment de flexion associé : 11daN
- longueur de flambement : 0.7m
- ⇒ Sécurité 1.67

Vérification flexion composée	
Contrainte normale	8,49 daN/mm ²
Contrainte flexion	1,38 daN/mm ²
Coefficient k1	1,10
Coefficient kf	1,45
Contrainte réelle amplifiée	11,37 < del
Sécurité	1,67 > 1
Taux de travail	0,60 < 1

V.8.2 Vérification entretoises Ø30x3 (sauf poutre casquette)

L'analyse des efforts maximum dans les diagonales des ponts donne :

Efforts max. entretoises Ø30x3mm, pont triangle 500						
	FX [daN]	FY [daN]	FZ [daN]	MX [daNm]	MY [daNm]	MZ [daNm]
MAX	784	7	-2	0	3	4
Barre	1458	1458	1458	1458	1458	1458
Noeud	1001	1001	1001	1001	1001	1001
Cas	21	21	21	21	21	21
MIN	783	7	-3	0	2	0
Barre	1458	1458	1458	1458	1458	1458
Noeud	995	1001	995	1001	995	995
Cas	21	21	21	21	21	21

L'élément défavorable n°1458 dans le cas 21 est vérifié au flambement composé :

- effort de compression max : 784 daN
- moment de flexion associé : 5 daN
- longueur de flambement : 0.86m
- ⇒ Sécurité 1.94

Vérification flexion composée	
Contrainte normale	3,08 daN/mm ²
Contrainte flexion	3,19 daN/mm ²
Coefficient k ₁	1,20
Coefficient k _f	1,90
Contrainte réelle amplifiée	9,78 < del
Sécurité	1,94 > 1
Taux de travail	0,51 < 1

V.8.3 Vérification assemblage Ø25

Effort max, repris par manchon d'assemblage : $T_{lim} = 9000$ daN (voir annexe)

Traction max, dans membrure : $T_{max} = 5010$ daN

Sécurité supérieure à 1.8 en plus des coefficients réglementaires.

V.8.4 Vérification entretoises Ø30x3 poutre casquette

Il apparaît que les entretoises de la poutre casquette ne supportent pas plus 1.5 fois que la charge unitaire de son (1000 daN par cotés), elles seront donc vérifiées pour les combinaison de numérotation inférieure à 140. L'analyse des efforts maximum dans les diagonales de ces poutres donne :

Efforts max. entretoises Ø30x3mm, poutre casquette 500						
	FX [daN]	FY [daN]	FZ [daN]	MX [daNm]	MY [daNm]	MZ [daNm]
MAX	1927	0	0	0	-1	0
Barre	154	154	154	154	154	154
Noeud	98	97	97	97	97	98
Cas	25	25	25	25	25	25
MIN	1926	0	-1	0	-1	0
Barre	154	154	154	154	154	154
Noeud	97	97	98	97	98	97
Cas	25	25	25	25	25	25

L'élément défavorable n°154 dans le cas 125 est vérifié au flambement composé :

- effort de compression max : 2687 daN
- moment de flexion associé : 1 daN
- longueur de flambement : 0.68m
- ⇒ Sécurité 2.6
- ⇒

Vérification flexion composée	
Contrainte normale	7,57 daN/mm ²
Contrainte flexion	0,64 daN/mm ²
Coefficient k ₁	1,50
Coefficient k _f	3,62
Contrainte réelle amplifiée	14,37 < del
Sécurité	1,32 > 1
Taux de travail	0,76 < 1

V.9 Vérification tour carrée 500 aluminium

V.9.1 Vérification membrures Ø60x5

L'analyse des efforts maximum dans les membrures des tours donne :

Efforts max. membrures Ø60x5mm, tour carrée 500							
	FX [daN]	FY [daN]	FZ [daN]	MX [daNm]	MY [daNm]	MZ [daNm]	
MAX	8627	-154	312	6	-2	-4	
Barre	6471	6471	6471	6471	6471	6471	
Noeud	2675	2675	2675	2675	2606	2606	
Cas	21	21	21	21	21	21	
MIN	8627	-154	312	6	-37	-22	
Barre	6471	6471	6471	6471	6471	6471	
Noeud	2606	2675	2675	2675	2675	2675	
Cas	21	21	21	21	21	21	

L'élément défavorable n°6471 dans le cas 21 est vérifié au flambement composé :

- effort de compression max : 8627daN
- moment de flexion associé : 22daN
- longueur de flambement : 0.72m
- ⇒ Sécurité 1.18

Vérification flexion composée	
Contrainte normale	9,99 daN/mm ²
Contrainte flexion	3,92 daN/mm ²
Coefficient k1	1,08
Coefficient kf	1,35
Contrainte réelle amplifiée	16,09 < del
Sécurité	1,18 >
Taux de travail	0,85 < 1

V.9.2 Vérification entretoises Ø30x3

L'analyse des efforts maximum dans les entretoises des tours donne :

Efforts max. entretoises Ø30x3mm,tour							
	FX [daN]	FY [daN]	FZ [daN]	MX [daNm]	MY [daNm]	MZ [daNm]	
MAX	1976	-14	6	0	2	4	
Barre	6393	6393	6393	6393	6393	6393	
Noeud	2660	2660	2660	2660	2661	2661	
Cas	21	21	21	21	21	21	
MIN	1976	-14	6	0	-2	-4	
Barre	6393	6393	6393	6393	6393	6393	
Noeud	2661	2660	2661	2660	2660	2660	
Cas	21	21	21	21	21	21	

L'élément défavorable n°6393 dans le cas 21 est vérifié au flambement composé :

- effort de compression max : 1976daN
- moment de flexion associé : 2.4 daN
- longueur de flambement : 0.62m
- ⇒ Sécurité 1.31

Vérification flexion composée	
Contrainte normale	7,77 daN/mm ²
Contrainte flexion	1,53 daN/mm ²
Coefficient k1	1,35
Coefficient kf	2,57
Contrainte réelle amplifiée	14,45 < del
Sécurité	1,31 > 1
Taux de travail	0,76 < 1

V.9.3 Vérification assemblage Ø25

Effort max. repris par manchon d'assemblage : $T_{lim} = 9000$ daN (voir annexe)

Traction max. dans membrure : $T_{max} = 8025$ daN

⇒ sécurité supérieure à 1.12 en plus des coefficients réglementaires

V.10 Croix de St André et sous-tension

On dimensionne les câbles avec un coefficient 2 sur la charge de rupture

charge de rupture câble multi-torons Ø12 : 8600 daN

charge de rupture câble multi-torons Ø16 : 15300 daN

Des croix de St André sont prévues sur les deux cotés latéraux et sur le fond de la scène, pour stabiliser la structure et soulager les tours. Des câbles de sous tensions sont également prévu pour aider à la reprise de la poussée de la toiture en voute.

Un effort maximal de 3255 daN dans les câbles de croix de Saint-André en face arrière est relevé pour le cas de charge 21. Câble Ø12 OK

Un effort maximal de 2800 daN dans les câbles de croix de Saint-André en face arrière est relevé pour le cas de charge 225. Câble Ø12 OK

Un effort maximal de 4760 daN dans les câbles de croix de Saint-André en face arrière est relevé pour le cas de charge 225. Câble Ø16 OK

V.11 Structure de scène BRIO Ulma

La scène Ulma est une scène déjà justifiée par le fournisseur pour une charge de 600 daN/m². Par suite nous ne justifions pas la scène proprement dite sous les charges d'exploitation.

Par ailleurs, leur prise en compte est toujours favorable en ce qui concerne les efforts de soulèvement ; pour se placer en sécurité, elles ne sont pas prises en compte.

VI. Conclusions

La structure de couverture de scène correctement liaisonnée à la scène et avec pré-tension des câbles de contreventement et de sous-tension est dimensionnée pour supporter :

*2000 daN de charge répartie sur chaque arche et 1000 daN de charge ponctuelle sur les poutres casquette latérales(2000 daN si renforcement des diagonales de ces poutres casquette).

-sous un vent de 50 km/h avec bâches latérales, de fond de scène et de toiture

-sous un vent de 80 km/h avec bâches de toiture sans bâches latérales et de fond de scène

-sous un vent de 100 km/h sans bâches de toiture, bâches latérales et de fond de scène

*100 km/h de vent avec la toiture seule.

Le critère dimensionnant les contraintes dans la structure est principalement la pression due au vent.

Alain Dessard
Ingénieur EMA
Chargé d'études

VII. Annexes

VII.1 Vérification de l'assemblage Ø25

Données	
Effort axial F	9000 daN
Ø axe préconisé	25 mm
Ep gousset préconisé	21 mm
Pince longitudinale P préconisé	15 mm
Coef de pression diamétrale	2
Simple ou double cisaillement	2 1 ou 2
Qualité acier du gousset σ_g	22,00 daN/mm ²
Qualité acier axe σ_a	23,50 daN/mm ²

Vérifications	
Vérification Ø de l'axe	1,66 > 1 => OK
Vérification épaisseur gousset	2,57 > 1 => OK
Vérification pince longitudinale	1,00 > 1 => OK

VII.2 Descente de charges de la bâche de toit, 80km/h vent de face

Données "Matériau"	
Qualité de toile	F502
Pseudo-Module d'Elasticité	41 300 daN/ml
Rupture	280 daN/5cm
soit	5 600 daN/ml
Tension max. Admissible (1/5)	1 400 daN/ml

Données initiales	
Charge radiale	48,5 daN/m ²
Corde	3,500 m
Flèche	0,001 m
Rayon de courbure	1531,251 m
Angle	0,13 degrés
Longueur géométrique	3,500 m

Calcul	
Flèche sous charge	0,2033 m
Rayon de courbure sous charge	7,634 m
Angle sous charge	26,51 degrés
Longueur sous charge	3,531 m
Tension sous charge	370 daN/ml
Allongement sous charge	0,031 m
Erreur sur longueur	0,0 mm

Résultats	Nb itérations	
Tension	12	370 daN/ml
Sécurité		3,78 en plus du coefficient 5
Décomposition sur la corde		360 daN/ml
Décomposition normal à la corde		85 daN/ml
Déplacement max sous charge		202 mm

VII.3 Descente de charges de la bâche de toit, 80km/h vent latéral coef 0.95

Données "Matériau"	
Qualité de toile	F502
Pseudo-Module d'Elasticité	41 300 daN/ml
Rupture	280 daN/5cm
soit	5 600 daN/ml
Tension max. Admissible (1/5)	1 400 daN/ml

Données initiales	
Charge radiale	46 daN/m ²
Corde	3,500 m
Flèche	0,001 m
Rayon de courbure	1531,251 m
Angle	0,13 degrés
Longueur géométrique	3,500 m

Calcul	
Flèche sous charge	0,1997 m
Rayon de courbure sous charge	7,768 m
Angle sous charge	26,04 degrés
Longueur sous charge	3,530 m
Tension sous charge	357 daN/ml
Allongement sous charge	0,030 m
Erreur sur longueur	0,0 mm

Résultats	Nb itérations	
Tension	12	357 daN/ml
Sécurité		3,92 en plus du coefficient 5
Décomposition sur la corde		348 daN/ml
Décomposition normal à la corde		81 daN/ml
Déplacement max sous charge		199 mm

VII.4 Descente de charges de la bâche de toit, 80km/h vent latéral coef 0.85

Données "Matériau"	
Qualité de toile	F502
Pseudo-Module d'Elasticité	41 300 daN/m
Rupture	280 daN/5cm
soit	5 600 daN/m
Tension max. Admissible (1/5)	1 400 daN/m

Données initiales	
Charge radiale	41 daN/m ²
Corde	3,500 m
Flèche	0,001 m
Rayon de courbure	1531,251 m
Angle	0,13 degrés
Longueur géométrique	3,500 m

Calcul	
Flèche sous charge	0,1921 m
Rayon de courbure sous charge	8,067 m
Angle sous charge	25,06 degrés
Longueur sous charge	3,528 m
Tension sous charge	331 daN/m
Allongement sous charge	0,028 m
Erreur sur longueur	0,0 mm

Résultats	Nb itérations	17
Tension		331 daN/m
Sécurité		4,23 en plus du coefficient 5
Décomposition sur la corde		323 daN/m
Décomposition normal à la corde		72 daN/m
Déplacement max sous charge		191 mm

VII.5 Descente de charges de la bâche de toit, 100km/h vent latéral coef 0.65

Données "Matériau"	
Qualité de toile	F502
Pseudo-Module d'Elasticité	41 300 daN/m
Rupture	280 daN/5cm
soit	5 600 daN/m
Tension max. Admissible (1/5)	1 400 daN/m

Données initiales	
Charge radiale	48,75 daN/m ²
Corde	3,500 m
Flèche	0,001 m
Rayon de courbure	1531,251 m
Angle	0,13 degrés
Longueur géométrique	3,500 m

Calcul	
Flèche sous charge	0,2036 m
Rayon de courbure sous charge	7,623 m
Angle sous charge	26,54 degrés
Longueur sous charge	3,531 m
Tension sous charge	372 daN/m
Allongement sous charge	0,031 m
Erreur sur longueur	0,0 mm

Résultats	Nb itérations	12
Tension		372 daN/m
Sécurité		3,77 en plus du coefficient 5
Décomposition sur la corde		362 daN/m
Décomposition normal à la corde		85 daN/m
Déplacement max sous charge		203 mm

VII.6 Descente de charges de la bâche de toit, 100km/h vent latéral coef 0.1

Données "Matériau"	
Qualité de toile	F502
Pseudo-Module d'Elasticité	41 300 daN/ml
Rupture	280 daN/5cm
soit	5 600 daN/ml
Tension max. Admissible (1/5)	1 400 daN/ml

Données initiales	
Charge radiale	7,5 daN/m ²
Corde	3,500 m
Flèche	0,001 m
Rayon de courbure	1531,251 m
Angle	0,13 degrés
Longueur géométrique	3,500 m

Calcul	
Flèche sous charge	0,1087 m
Rayon de courbure sous charge	14,141 m
Angle sous charge	14,22 degrés
Longueur sous charge	3,509 m
Tension sous charge	106 daN/ml
Allongement sous charge	0,009 m
Erreur sur longueur	0,0 mm

Résultats	Nb itérations	16
Tension		106 daN/ml
Sécurité		13,20 en plus du coefficient 5
Décomposition sur la corde		106 daN/ml
Décomposition normal à la corde		13 daN/ml
Déplacement max sous charge		108 mm

VII.7 Descente de charges de la bâche de toit, 100km/h vent latéral coef 0.4

Données "Matériau"	
Qualité de toile	F502
Pseudo-Module d'Elasticité	41 300 daN/ml
Rupture	280 daN/5cm
soit	5 600 daN/ml
Tension max. Admissible (1/5)	1 400 daN/ml

Données initiales	
Charge radiale	30 daN/m ²
Corde	3,500 m
Flèche	0,001 m
Rayon de courbure	1531,251 m
Angle	0,13 degrés
Longueur géométrique	3,500 m

Calcul	
Flèche sous charge	0,173 m
Rayon de courbure sous charge	8,938 m
Angle sous charge	22,58 degrés
Longueur sous charge	3,523 m
Tension sous charge	268 daN/ml
Allongement sous charge	0,023 m
Erreur sur longueur	0,0 mm

Résultats	Nb itérations	15
Tension		268 daN/ml
Sécurité		5,22 en plus du coefficient 5
Décomposition sur la corde		263 daN/ml
Décomposition normal à la corde		53 daN/ml
Déplacement max sous charge		172 mm

VII.8 Descente de charges des bâches latérales

VII.8.1 Vent à 80km/h – Coef 0.7

Données "Matériau"	
Qualité de toile	F502
Pseudo-Module d'Elasticité	30 000 daN/mi
Rupture	280 daN/5cm
soit	5 600 daN/mi
Tension max. Admissible (1/5)	1 400 daN/mi

Données initiales	
Charge radiale	34 daN/m ²
Corde	4,000 m
Flèche	0,001 m
Rayon de courbure	2000,001 m
Angle	0,11 degrés
Longueur géométrique	4,000 m

Calcul	
Flèche sous charge	0,2401 m
Rayon de courbure sous charge	6,450 m
Angle sous charge	27,38 degrés
Longueur sous charge	4,038 m
Tension sous charge	287 daN/mi
Allongement sous charge	0,038 m
Erreur sur longueur	0,0 mm

Résultats	Nb itérations	18
Tension		287 daN/mi
Sécurité		4,87 en plus du coefficient 5
Décomposition sur la corde		279 daN/mi
Décomposition normal à la corde		68 daN/mi
Déplacement max sous charge		239 mm

VII.8.2 Vent à 50km/h – Coef 0.7

Données "Matériau"	
Qualité de toile	F502
Pseudo-Module d'Elasticité	30 000 daN/mi
Rupture	280 daN/5cm
soit	5 600 daN/mi
Tension max. Admissible (1/5)	1 400 daN/mi

Données initiales	
Charge radiale	13,3 daN/m ²
Corde	4,000 m
Flèche	0,001 m
Rayon de courbure	2000,001 m
Angle	0,11 degrés
Longueur géométrique	4,000 m

Calcul	
Flèche sous charge	0,1752 m
Rayon de courbure sous charge	11,503 m
Angle sous charge	20,03 degrés
Longueur sous charge	4,020 m
Tension sous charge	153 daN/mi
Allongement sous charge	0,020 m
Erreur sur longueur	0,0 mm

Résultats	Nb itérations	16
Tension		153 daN/mi
Sécurité		9,15 en plus du coefficient 5
Décomposition sur la corde		151 daN/mi
Décomposition normal à la corde		27 daN/mi
Déplacement max sous charge		174 mm

VII.9 Descente de charges de la bâche de fond, 50km/h, coef 0.7

Données "Matériau"	
Qualité de toile	F502
Pseudo-Module d'Elasticité	30 000 daN/ml
Rupture	280 daN/5cm
soit	5 600 daN/ml
Tension max. Admissible (1/5)	1 400 daN/ml

Données initiales	
Charge radiale	13,3 daN/m ²
Corde	9,000 m
Flèche	0,001 m
Rayon de courbure	10125,001 m
Angle	0,05 degrés
Longueur géométrique	9,000 m

Calcul	
Flèche sous charge	0,5175 m
Rayon de courbure sous charge	19,824 m
Angle sous charge	25,24 degrés
Longueur sous charge	9,079 m
Tension sous charge	264 daN/ml
Allongement sous charge	0,079 m
Erreur sur longueur	0,0 mm

Résultats	Nb itérations	19
Tension		264 daN/ml
Sécurité		5,31 en plus du coefficient 5
Décomposition sur la corde		257 daN/ml
Décomposition normal à la corde		60 daN/ml
Déplacement max sous charge		517 mm

VII.10 Conditions d'appuis

