



Plan de la présentation

- I. Le centre aquatique de Palaiseau**

- II. Etude de la charpente**
 - 1. Analyse fonctionnelle de la charpente**
 - 2. Solution proposée**
 - 3. Sollicitations**
 - 4. Charpente secondaire**
 - 5. Charpente primaire**
 - 6. Comparaison des solutions étudiées**

- III. Intentions pédagogiques**

- IV. Conclusion**

I. Le centre aquatique de Palaiseau

I Présentation du projet

- Un manque de bassins estimé à 2000 m² sur le plateau de Saclay.
 - Création de 770 m² de bassins.

- Quelques informations sur le projet :
 - Coût : 17 M€
 - MO : CAPS
 - ME : Jacques Rougerie Architecte
 - BET Structures : Roux et Associés

2

« La Vague » - Centre aquatique de Palaiseau

I. Le centre aquatique de Palaiseau

Projet d'urbanisme : Eco-quartier Camille Claudel.

Centre aquatique
« La Vague »



Chaufferie biomasse



Etablissements
d'enseignement



Théâtre



Gymnase



Sous-préfecture



3

« La Vague » - Centre aquatique de Palaiseau

I. Le centre aquatique de Palaiseau

I

Intérêt pédagogique de l'ouvrage

II

- Un potentiel pédagogique important et diversifié :

III

Techniques de construction	Equipements	Développement durable
Acier	Fond mobile (Bassin sportif)	Label HQE
Béton armé	Centrale de traitement d'air	Production d'ECS par énergie solaire
Mixte acier/béton		

IV

→ Un projet susceptible d'intéresser toute l'équipe pédagogique.

4

« La Vague » - Centre aquatique de Palaiseau

I. Le centre aquatique de Palaiseau

I

II

III

IV



5

« La Vague » - Centre aquatique de Palaiseau

II. Etude de la charpente

I

Objectif de l'étude

II

- Comparer la solution en construction métallique prévue par l'architecte à une solution alternative en bois.

III

IV

- Une étude en 3 temps :
 - Analyse fonctionnelle de la charpente.
 - Etude d'ingénierie des solutions.
 - Comparaison des solutions.

6

« La Vague » - Centre aquatique de Palaiseau

II. Etude de la charpente

I

1. Analyse fonctionnelle

II

- Pourquoi réaliser l'analyse fonctionnelle de la charpente ?

- Définir les fonctions que doit réaliser la charpente.

II.1

- Définir les niveaux d'exigence de ces fonctions.

III

- Ne pas prédéfinir de solution.

IV

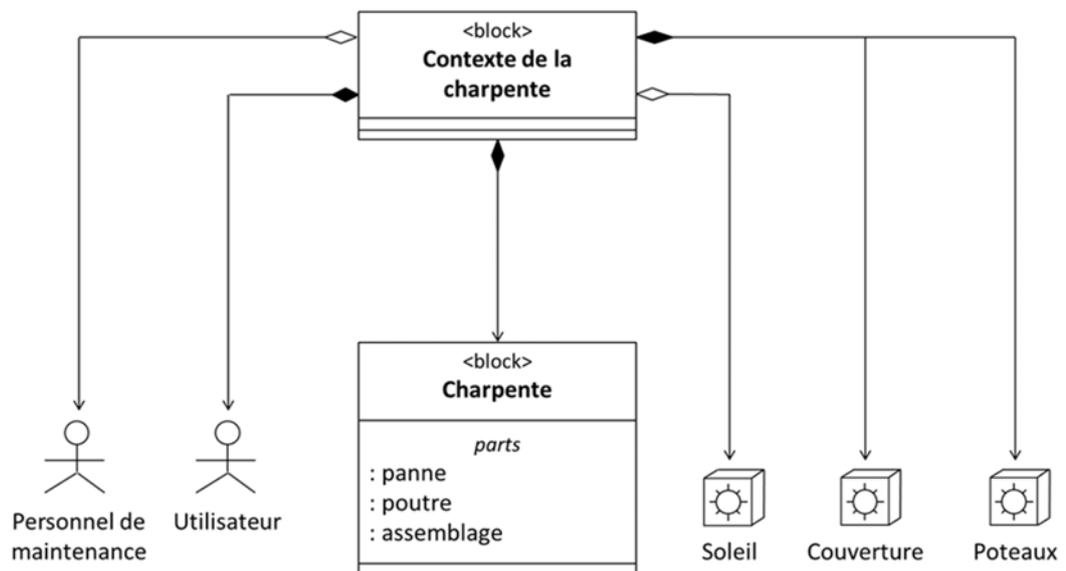
- Tracer les 3 diagrammes d'analyse fonctionnelle (SysML).

7

« La Vague » - Centre aquatique de Palaiseau

II. Etude de la charpente

Diagramme de contexte

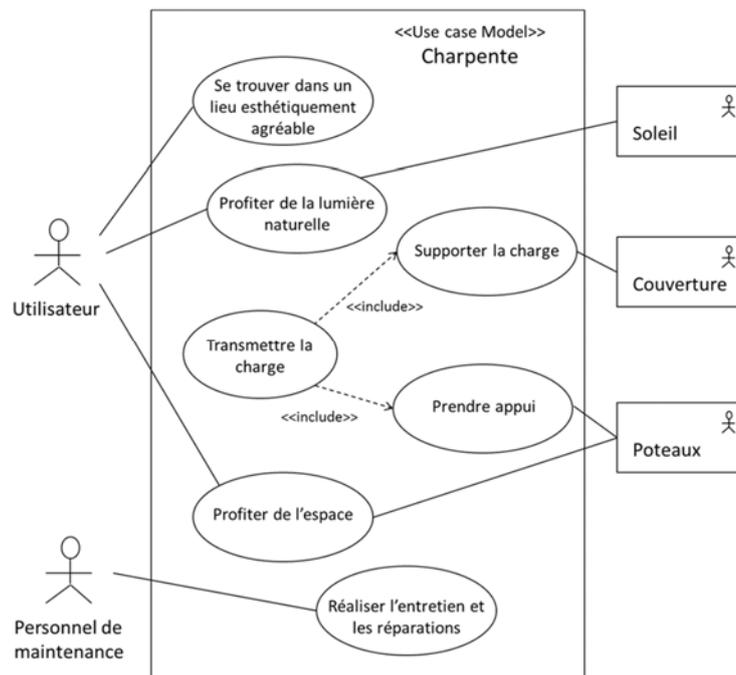


8

« La Vague » - Centre aquatique de Palaiseau

II. Etude de la charpente

Diagramme d'utilisateur

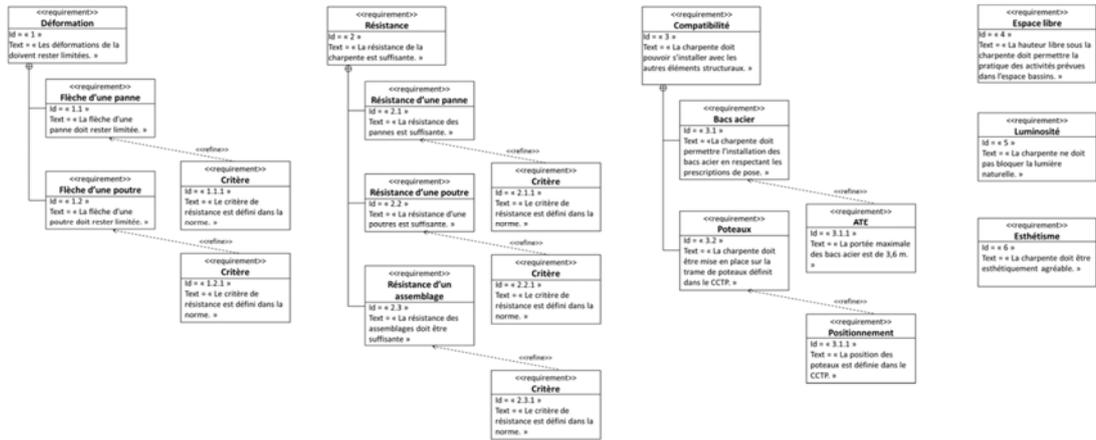


9

« La Vague » - Centre aquatique de Palaiseau

II. Etude de la charpente

Diagramme d'exigence



« La Vague » - Centre aquatique de Palaiseau

II. Etude de la charpente

Critères de comparaison

Exigence	Critère
Espace libre	Hauteur de la charpente
Luminosité	Luminosité naturelle
Esthétisme	Rendu visuel
Budget	Coût
Développement durable	Analyse de cycle de vie

- Proposer des solutions au plus proche de celle définie dans le CCTP.

→ Présenter cette solution.

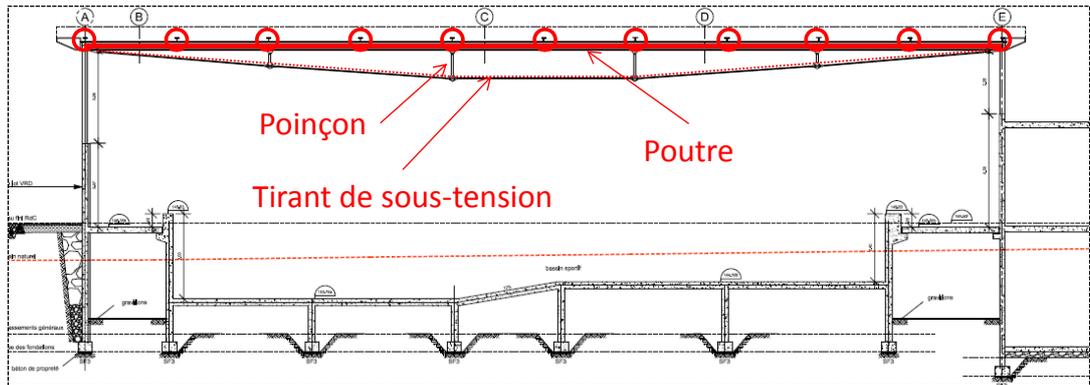
« La Vague » - Centre aquatique de Palaiseau

II. Etude de la charpente

2. Solution proposée

- Pannes sur poutre sous-tendue.

 Pannes (charpente secondaire) sur poutres (charpente primaire).

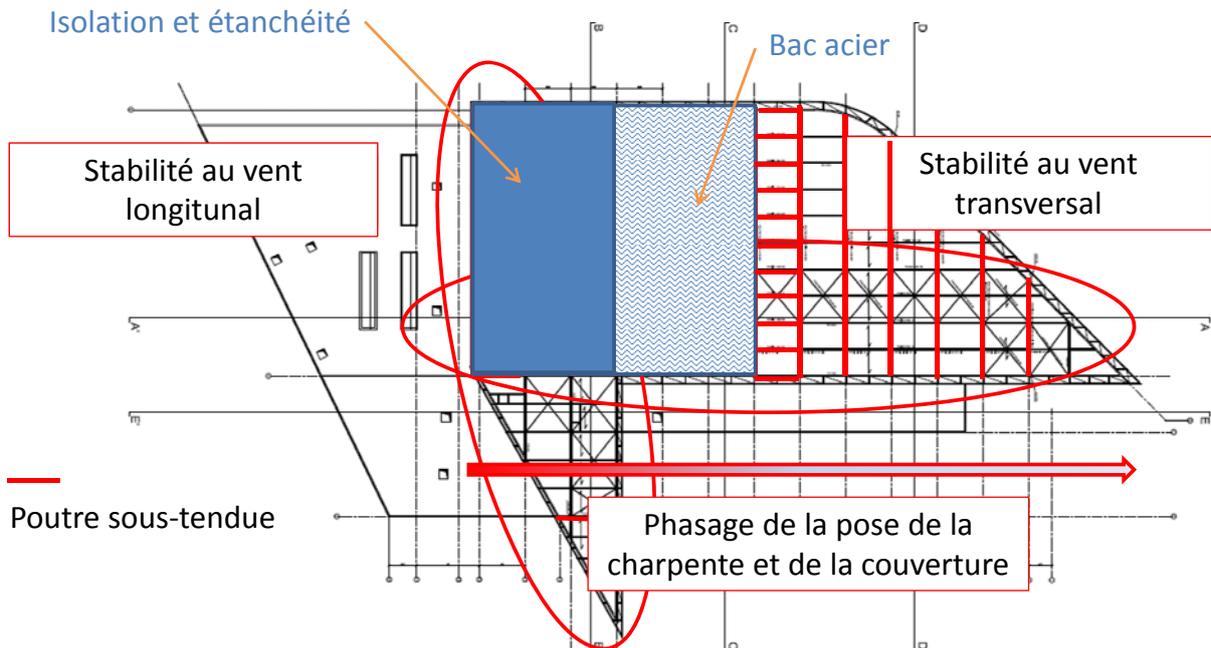


« La Vague » - Centre aquatique de Palaiseau

12

Etude de la charpente

Plan de la toiture.



13

« La Vague » - Centre aquatique de Palaiseau

II. Etude de la charpente

I

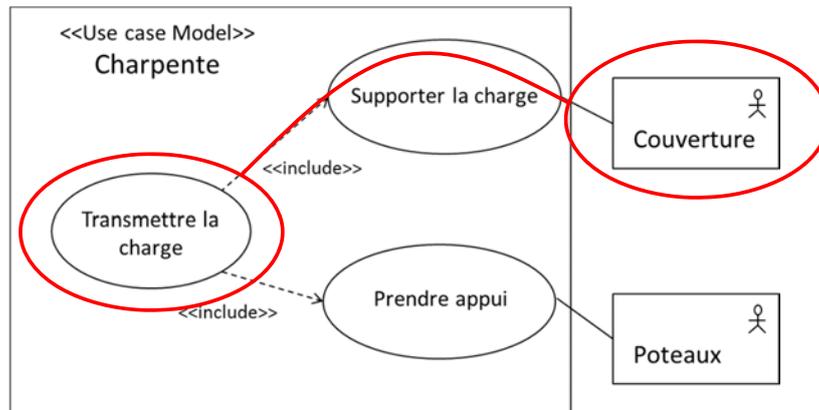
3. Sollicitations

II

II.3

III

IV



- Distinction de 3 phases de vie :
 - Utilisation normale.
 - Entretien
 - Exécution.

14

« La Vague » - Centre aquatique de Palaiseau

II. Etude de la charpente

I

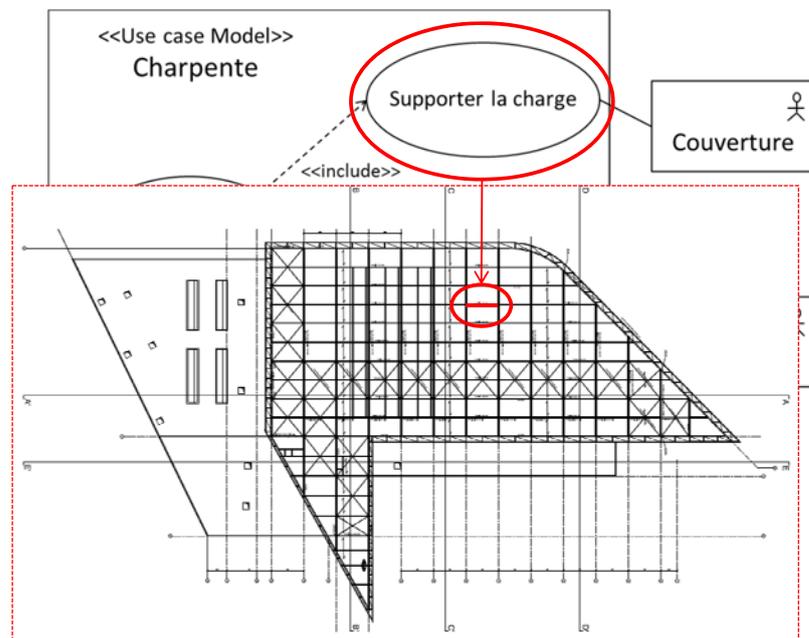
4. Charpente secondaire

II

II.4

III

IV



15

« La Vague » - Centre aquatique de Palaiseau

II. Etude de la charpente

I

Modélisation d'une panne

II

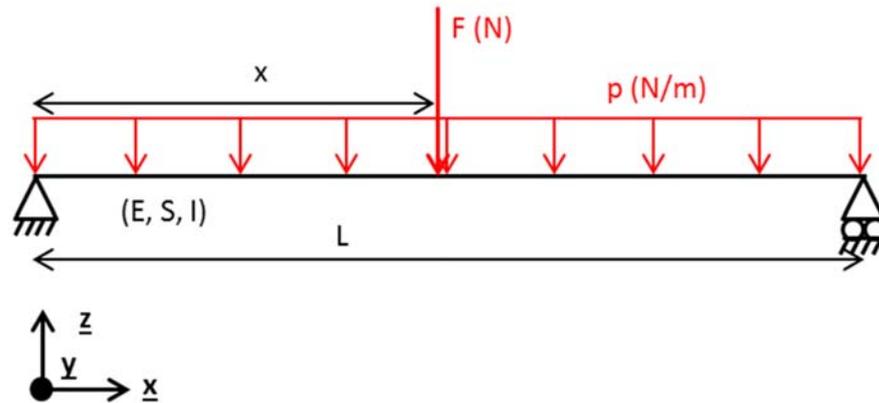
- Panne isostatique.

II.4

- $\begin{cases} L = 5,5 \text{ m} \\ e = 3,15 \text{ m} \end{cases}$

III

IV



16

« La Vague » - Centre aquatique de Palaiseau

II. Etude de la charpente

I

Proposition de pannes acier

II

- Profil :
 - HEA 140
- Matériau :
 - Acier S355

II.4

III

Proposition de pannes bois

IV

- Profil :
 - Rectangulaire 100x280
- Matériau :
 - Bois lamellé-collé GL28h

17

« La Vague » - Centre aquatique de Palaiseau

II. Etude de la charpente

Vérifications des pannes BLC 100x280

- Vérifications ELU
 - Flexion.

$$\sigma_{m,y,d} < f_{m,y,d} \text{ avec } \begin{cases} \sigma_{m,y,d} = \frac{M_{Ed}}{W_y} \\ f_{m,y,d} = k_h \cdot k_{mod} \cdot \frac{f_{m,g,k}}{\gamma_M} \end{cases}$$

Classe de durée de chargement	k,mod	f,m,y,d (MPa)	M,Ed (kN.m)	σ,m,y,d (MPa)	Critère vérifié
Permanent	0,6	14,50	8,63	6,60	Oui
Moyen terme	0,8	19,34	20,36	15,58	Oui
Court terme	0,9	21,76	18,63	14,26	Oui
Instantané	1,1	26,59	21,53	16,47	Oui

18

« La Vague » - Centre aquatique de Palaiseau

II. Etude de la charpente

Vérifications des pannes BLC 100x280

- Vérifications ELU
 - Cisaillement.

$$\tau_d < f_{v,d} \text{ avec } \begin{cases} \tau_d = k_f \cdot \frac{V_{Ed}}{A} \\ f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,g,k}}{\gamma_M} \end{cases}$$

Classe de durée de chargement	k,mod	f,v,d (MPa)	V,Ed (kN)	τ,d (MPa)	Critère vérifié
Permanent	0,6	1,54	6,27	0,34	Oui
Moyen terme	0,8	2,05	14,81	0,79	Oui
Court terme	0,9	2,30	13,55	0,73	Oui
Instantané	1,1	2,82	15,65	0,84	Oui

19

« La Vague » - Centre aquatique de Palaiseau

II. Etude de la charpente

I

Vérifications des pannes BLC 100x280

II

- Vérifications ELS

II.4

Flèche	Limite	Critère
$w_{fin} = 26,04 \text{ mm}$	$U_{fin} = \frac{L}{125} = 44 \text{ mm}$	$w_{fin} < U_{fin}$
$w_{net,fin} = 26,04 \text{ mm}$	$U_{net,fin} = \frac{L}{200} = 27,5 \text{ mm}$	$w_{net,fin} < U_{net,fin}$
$w_{inst(Q)} = 10,32 \text{ mm}$	$U_{inst(Q)} = \frac{L}{300} = 18,33 \text{ mm}$	$w_{inst(Q)} < U_{inst(Q)}$

III

IV

→ Les critères de flèche ELS sont vérifiés.

- Le profil 100x280, en BLC GL28h, convient pour la réalisation des pannes.

20

« La Vague » - Centre aquatique de Palaiseau

II. Etude de la charpente

I

Proposition de pannes acier → OK

II

- Profil :
 - HEA 140
- Matériau :
 - Acier S355

II.4

III

Proposition de pannes bois → OK

IV

- Profil :
 - Rectangulaire 100x280
- Matériau :
 - Bois lamellé-collé GL28h

21

« La Vague » - Centre aquatique de Palaiseau

II. Etude de la charpente

I

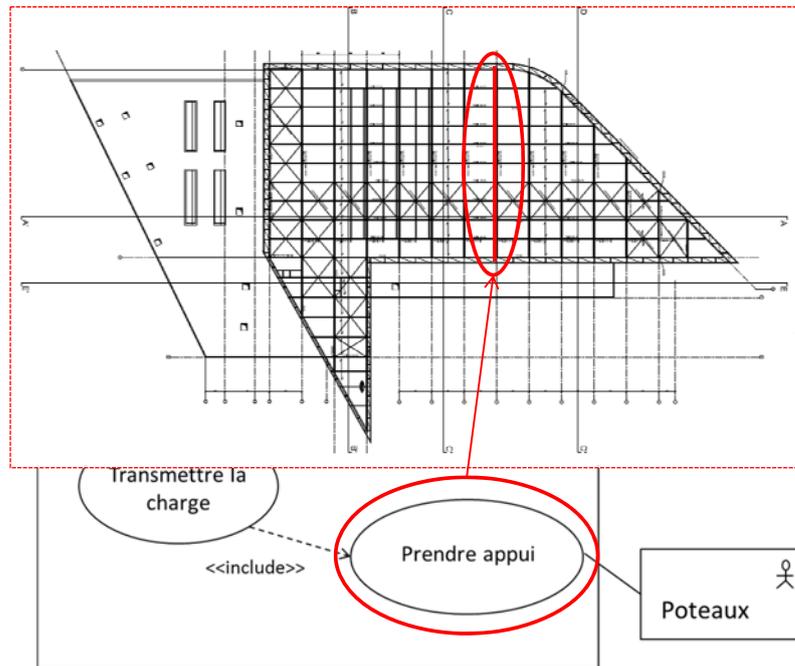
5. Charpente primaire

II

II.5

III

IV



22

« La Vague » - Centre aquatique de Palaiseau

II. Etude de la charpente

I

Modélisation d'une poutre

II

II.5

III

IV

- Création du modèle depuis les informations du CCTP.
- Système de sous-tension [Macalloy](#).



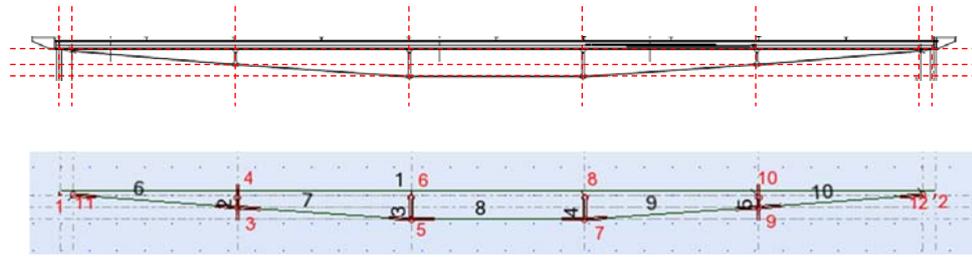
→ Utilisation d'un modèle Robot.

23

« La Vague » - Centre aquatique de Palaiseau

II. Etude de la charpente

Modélisation Robot



Élément	Barre	Type de barre	Excentrement (*)	Relâchement (*)
Poutre	1	Poutre maintenue	Semelle inférieure	O. : bloquée E. : bloquée
Poinçon	2 à 5	Barre	O. : aucun E. : -100 mm (axe de la barre)	O. : articulée E. : articulée
Tirant	6 à 10	Barre en traction	O. : aucun E. : aucun	O. : articulée E. : articulée

24

« La Vague » - Centre aquatique de Palaiseau

II. Etude de la charpente

Modélisation Robot

- Appuis :
 - Nœud 1 : Rotule.
 - Nœud 2 : Appui simple.
- Chargement :
 - Chargements descendant de la couverture uniformes.

Cas	Type de charge	Liste			
1:Poids propre	poids propre	1A10	Structure enti	-Z	Coef=1,000
2:Pannes (acier)	charge uniforme	1	PX=0,0	PZ=-0,43	global
3:Couverture (complète)	charge uniforme	1	PX=0,0	PZ=-2,75	global
4:Couverture (partielle)	charge uniforme	1	PX=0,0	PZ=-0,55	global
5:Charge de construction	charge uniforme	1	PX=0,0	PZ=-2,75	global
6:Neige	charge uniforme	1	PX=0,0	PZ=-3,08	global
7:Vent (bât. clos - dép. int.)	charge uniforme	1	PX=0,0	PZ=-0,55	global
8:Vent (bât clos - surp. int.)	charge uniforme	1	PX=0,0	PZ=1,05	global
9:Vent (bât ouvert - dép. int)	charge uniforme	1	PX=0,0	PZ=-1,49	global
10:Vent (bât ouvert - surp. int.)	charge uniforme	1	PX=0,0	PZ=1,82	global
11:Précontrainte des tirants	dilatation	6A10	DL=-0,0005	relatives	MEMO :

25

« La Vague » - Centre aquatique de Palaiseau

II. Etude de la charpente

I

Proposition de poutre acier

II

- Profil :
 - HEB 320
- Matériau :
 - Acier S355

II.5

III

Proposition de poutre bois

IV

- Profil :
 - Rectangulaire 340x480
- Matériau :
 - Bois lamellé-collé GL28h

26

« La Vague » - Centre aquatique de Palaiseau

II. Etude de la charpente

I

Proposition de poutre bois → OK

II

- Profil :
 - Rectangulaire 340x480
- Matériau :
 - Bois lamellé-collé GL28h

II.5

III

Pièce	Profil	Matériau	Lay	Laz	Ratio	Cas
11 Poutre bois_1	OK BLC 340x480	GL28h (EC5)	227.259	320.837	0.981	26 ELU - Exécution

IV

Pièce	Profil	Matériau	Lay	Laz	Ratio	Cas
Famille : 2 Poinçons						
3 Barre_3	OK CIRF 101.6x3	S 355 M	22.078	22.078	0.239	27 ELU - Exécution
Famille : 3 Tirants						
10 Barre_10	OK M64	Macalloy 460	394.426	394.426	0.947	27 ELU - Exécution

Pièce	Profil	Matériau	Ratio(uy)	Cas (uy)	Ratio(uz)	Cas (uz)
11 Poutre bois_1	OK BLC 340x480	GL28h (EC5)	0.000	1(1+0.8)*1 + 1(1+0.	0.927	1(1+0.8)*1 + 1(1+0.

27

« La Vague » - Centre aquatique de Palaiseau

II. Etude de la charpente

6. Comparaison des solutions étudiées

- Bilan des sections choisies.

Panne acier HEA 140	Poutre acier HEB 320	Panne bois 100x280	Poutre bois 340x480
136 kg	4000 kg	63 kg	2108 kg



II. Etude de la charpente

Tableau de comparaison.

Exigence	Espace libre	Esthétisme	Economie	Développement durable
Critère	Hauteur de {panne ; poutre}	Rendu visuel	Coût	Analyse de cycle de vie
Solution acier :				
Acier S355 Panne : HEA 140 Poutre : HEB 320	h = 1323 mm	Galvanisation	X	X
Solution bois :				
BLC GL28h Panne : 100x280 Poutre : 340x480	h = 1630 mm	Surfaces bois Mixité bois-acier Problème de durabilité	<u>Diminution :</u> Moyen de levage Terrassement <u>Augmentation :</u> Prix de vente Entretien	<u>Diminution :</u> Bilan carbone Terrassement <u>Augmentation:</u> Entretien Fin de vie

III. Intentions pédagogiques

I

Approche fonctionnelle et structurelle d'une charpente

II

- **Module :**
 - (STI2D) Conception d'un ouvrage - Solutions technologiques

III

- **Compétences visées chez l'élève :**

- Connaître le lexique relatif aux charpentes.
- Mener une démarche de choix de solution technique pour un élément poutre.

IV

- "Quelles solutions existent ils pour réaliser une poutre d'une portée de plus de 30 m ? Parmi ces solutions, laquelle choisir ?"

30

« La Vague » - Centre aquatique de Palaiseau

III. Intentions pédagogiques

I

Approche fonctionnelle et structurelle d'une charpente

II

- "Quelles solutions existent ils pour réaliser une poutre d'une portée de plus de 30 m ? Parmi ces solutions, laquelle choisir ?"

III

- **Centre aquatique de Palaiseau**
Solution technique retenue : Poutre sous-tendue

- **Production attendue :**

Année : 2013

Matériau : Acier

Portée : 31,5 m

Hauteur : $\approx 1,3$ m à mi-travée

Coût : 17 M€

- Laquelle avons-nous choisie et pourquoi ?

- Comment notre solution technique travaille-t-elle en flexion ?



31

« La Vague » - Centre aquatique de Palaiseau

III. Intentions pédagogiques

I

Maîtrise d'un outil de communication interdisciplinaire

II

- **Module :**

- (STI2D) La démarche de projet - Projet architectural
- (DUT) M1202 : Expression et communication (semestre 1).
- En association avec l'enseignement de l'anglais.

III

- **Compétences visées chez l'élève :**

- Réaliser l'analyse fonctionnelle d'un élément structural et d'un ouvrage.
- Réaliser un diagramme d'analyse fonctionnelle en langage SysML.
- Enrichir son vocabulaire technique en anglais.
- Affirmer sa confiance au cours d'un exercice oral.

IV

- **Production attendue :**

- les diagrammes d'utilisateur et d'exigences d'une partie de l'ouvrage et d'un élément de structure.

32

« La Vague » - Centre aquatique de Palaiseau

III. Intentions pédagogiques

I

Modélisation d'un système mécanique

II

- **Module :**

- (STI2D) Outils et méthodes d'analyse de description de systèmes - Approche comportementale - Comportement mécanique des systèmes. (classe de 1ère, tronc commun).

III

- **Compétences visées chez l'élève :**

- Définir et justifier un modèle de liaison, un modèle de chargement.
- Réaliser un schéma du modèle choisi.
- Evaluer la précision d'un modèle théorique.

IV

33

« La Vague » - Centre aquatique de Palaiseau

III. Intentions pédagogiques

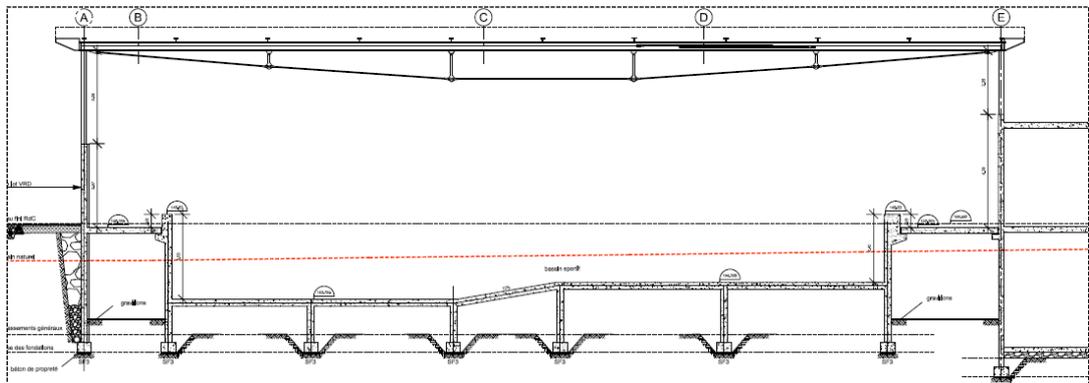
I

Modélisation d'un système mécanique

II

III

IV



- **Production attendue :**
 - Schémas cinématiques d'un portique et d'un ensemble poteau-poutre.
 - Appuis, chargement et justification des choix.

34

« La Vague » - Centre aquatique de Palaiseau

III. Intentions pédagogiques

I

Dimensionnement en flexion simple

II

III

IV

- **Module :**
 - (DUT) M2303 : Construction métallique (semestre 2).
 - (DUT) M3303 : Construction bois (semestre 3).
- **Compétences visées chez l'élève :**
 - Dimensionner une section sous sollicitation de flexion.
 - Rédiger une note de calcul.

35

« La Vague » - Centre aquatique de Palaiseau

III. Intentions pédagogiques

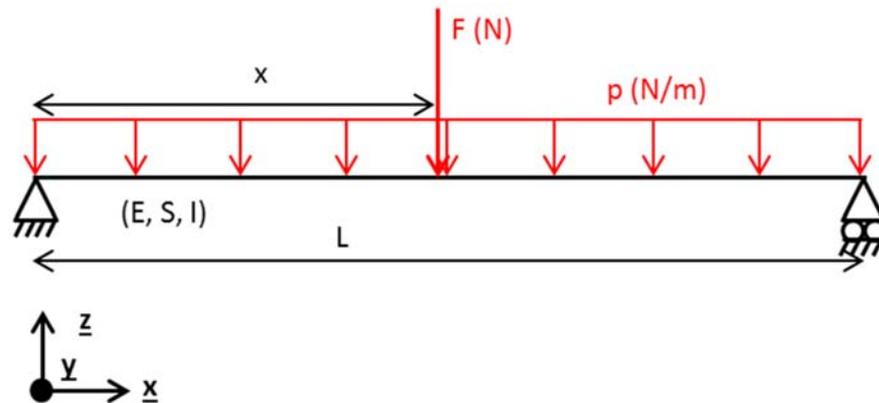
I

Dimensionnement en flexion simple

II

III

IV



- **Production attendue :**
 - La note de calcul rédigée.

36

« La Vague » - Centre aquatique de Palaiseau

III. Intentions pédagogiques

I

Modélisation et dimensionnement d'un élément de structure

II

III

IV

- **Module :**
 - (DUT) M4103c : Modélisation des structures (semestre 4, module complémentaire)
- **Compétences visées chez l'élève :**
 - Utiliser un logiciel de structure.
 - Définir un modèle mécanique à partir d'un projet.
 - Vérifier une solution technique.
 - Rédiger une note de calcul.
- **Production attendue :**
 - Les notes de calcul rédigées.
 - Soutenance de leur travail.

37

« La Vague » - Centre aquatique de Palaiseau

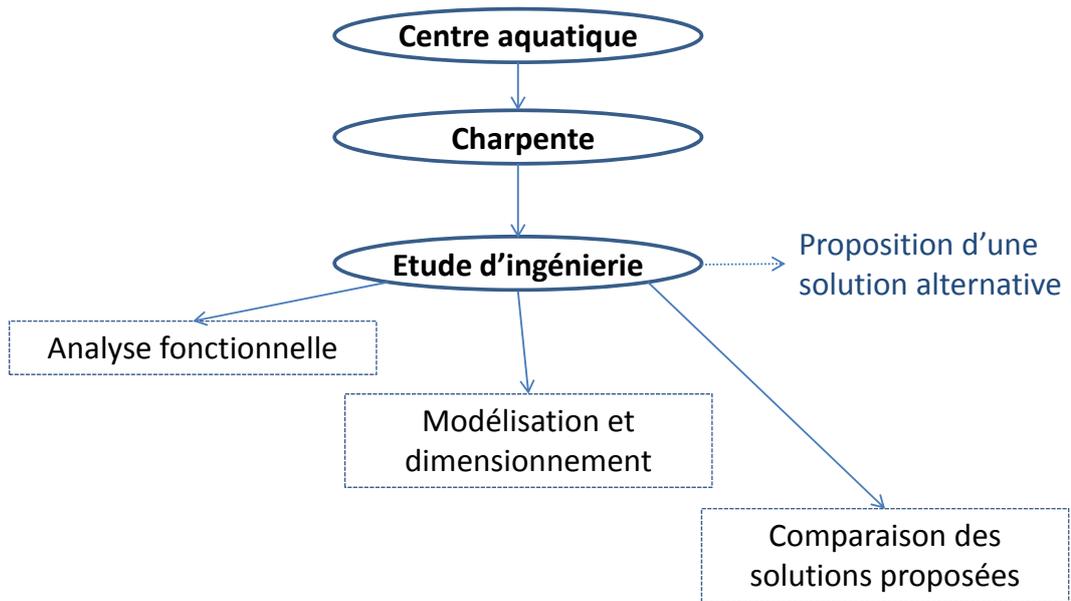
IV. Conclusion

I

II

III

IV



→ **Etude valorisée en exploitation pédagogique.**

38

« La Vague » - Centre aquatique de Palaiseau

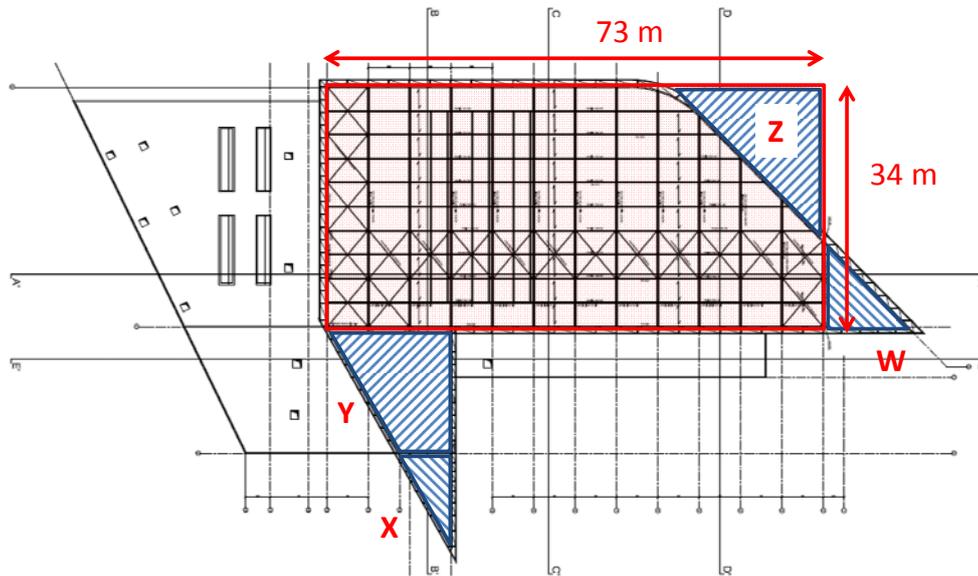
Fin



« La Vague » - Centre aquatique de Palaiseau

Annexe – Actions du vent

Toiture simplifiée



[Retour](#)

40

« La Vague » - Centre aquatique de Palaiseau

Annexe – Panne HEA 140

Vérifications des pannes HEA 140

- Vérifications ELU

Sollicitation	Résistance de section	Stabilité	Taux d'utilisation
$M_{Ed}^+ = 22,20 \text{ kN.m}$	$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}$ $= 61,59 \text{ kN.m}$	$M_{b,Rd}$ $= \chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}}$ $= 32,99 \text{ kN.m}$	$\frac{M_{Ed}^+}{M_{b,Rd}} = 0,6729 < 1$
$M_{Ed}^- = -3,77 \text{ kN.m}$	$M_{c,Rd}$ $= 61,59 \text{ kN.m}$	$M_{b,Rd}$ $= 32,99 \text{ kN.m}$	$\frac{M_{Ed}^-}{M_{b,Rd}} = 0,1143 < 1$
$V_{Ed} = 16,15 \text{ kN}$	$V_{pl,Rd} = A_{vz} \cdot \frac{f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$ $= 207,42 \text{ kN}$	x	$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = 0,0778 < 1$

→ Les critères de résistance et de stabilité ELU sont vérifiées.

41

« La Vague » - Centre aquatique de Palaiseau

Annexe – Panne HEA 140

Vérifications des pannes HEA 140

- **Vérifications ELS**

Flèche	Limite	Critère
$w_{max} = 20,97 \text{ mm}$	$U_{max} = \frac{L}{200} = 27,5 \text{ mm}$	$w_{max} < U_{max}$
$w_3 = 10,96 \text{ mm}$	$U_3 = \frac{L}{250} = 22 \text{ mm}$	$w_3 < U_3$

→ Les critères de flèche ELS sont vérifiés.

- Le profil HEA 140, en acier S355, convient pour la réalisation des pannes.

[Retour](#)

42

« La Vague » - Centre aquatique de Palaiseau

Annexe – Système de sous-tension

Système de sous-tension

- Tirant :
 - Acier carboné [Macalloy 460](#).
 - Sections :

Section	M48	M56	M64	M76
Diamètre nominal (mm)	45	52	60	72

- Poinçon :
 - Acier S55.
 - Sections CIRF 101,6x3 à 6,3.

[Retour](#)

43

« La Vague » - Centre aquatique de Palaiseau

Annexe – Macalloy 460

Acier carboné Macalloy 460.

Acier		Béton	Aluminium	Bois	Autres
Nom :	Macalloy 460	Description : Acier Carboné Macalloy 460			
Elasticité		Résistance			
module d'Young E :	205000,00 (MPa)	Caractéristique	460,00 (MPa)		
coefficient de Poisson ν :	0,3	réduction pour le cisaillement :	1,54		
module de cisaillement G :	78800,00 (MPa)	limite en traction :	610,00 (MPa)		
Densité :	77,01 (kN/m ³)	<input checked="" type="checkbox"/> Traitement thermique			
Expansion thermique :	0,000011 (1/°C)				
Coefficient d'amortissement :	0,04				

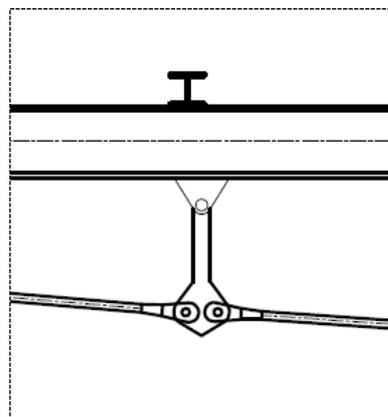
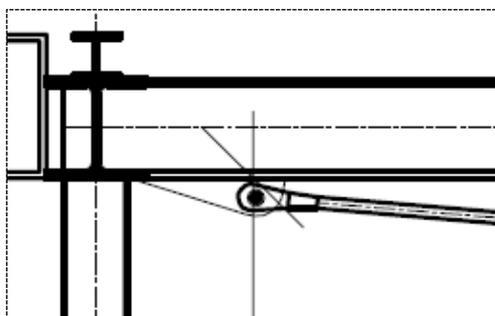
[Retour](#)

44

« La Vague » - Centre aquatique de Palaiseau

Annexe – Conditions aux limites

Conditions aux limites du système de sous-tension.



- Assemblage par dispositif chape-oreille.

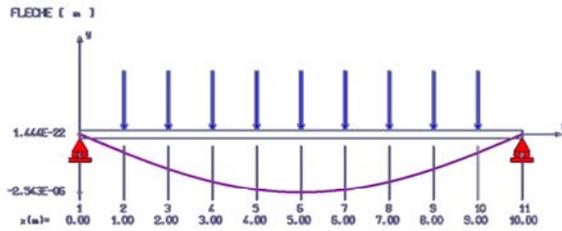
[Retour](#)

45

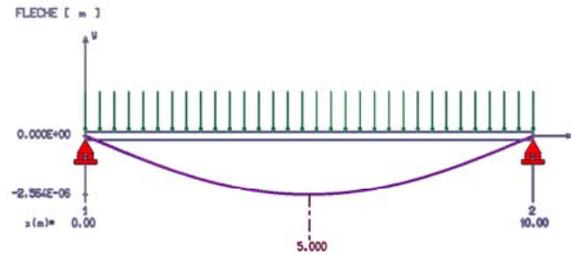
« La Vague » - Centre aquatique de Palaiseau

Annexe - Descente des charges de la couverture

Calcul rdm6.



Chargements ponctuels de 1 kN.
 $f_{max} = -2,564 \cdot 10^{-3} mm$



Chargement uniforme de 1 kN.m⁻¹.
 $f_{max} = -2,543 \cdot 10^{-3} mm$

$$p_{/poutre} = \frac{F_{panne/poutre}}{e_{panne}} = w_{/couverture} \cdot L_{panne}$$

[Retour](#)

46

« La Vague » - Centre aquatique de Palaiseau

Annexe – Poutre HEB 320

Proposition de poutre acier → OK

- Profil :
 - HEB 320
- Matériau :
 - Acier S355

Pièce	Profil	Matériau	Lay	Laz	Ratio	Cas
Familie : 1 Poutre						
1 Poutre_1	OK HEB 320	S 355 M	227.826	416.136	0.512	27 ELU - Exécution
Familie : 2 Poinçons						
4 Barre_4	OK CIRF 101.6x3	S 355 M	22.078	22.078	0.278	27 ELU - Exécution
Familie : 3 Tirants						
10 Barre_10	OK M76	Macalloy 460	328.688	328.688	0.998	27 ELU - Exécution

Pièce	Profil	Matériau	Ratio(uy)	Cas (uy)	Ratio(uz)	Cas (uz)
Familie : 1 Poutre						
1 Poutre_1	OK HEB 320	S 355 M	0.000	31 ELS - Quasi-per	0.994	32 ELS - Rare - Nei

[Retour](#)

47

« La Vague » - Centre aquatique de Palaiseau