

## **ARCHITECTURE ET CONSTRUCTION**

### **Études thermique de l'espace vie du bateau et de la structure du portique arrière**



- **Présentation de l'étude** ..... page 24
- **Questionnement, partie A à partie D** ..... pages 25 à 29
- **Documents techniques spécifiques DTS1 à DTS3**..... pages 30 à 32
- **Documents réponses** ..... page 33

## Mise en situation

Après deux années de navigation et d'optimisation, Energy Observer s'apprête à accomplir une navigation historique, la plus longue depuis son départ de Saint-Malo en 2017. Il va devenir le premier navire au monde à rejoindre le cercle polaire arctique uniquement propulsé par des énergies renouvelables et de l'hydrogène : 2 400 milles à parcourir entre Saint-Pétersbourg et Longyearbyen au Spitzberg en longeant la côte ouest de la Norvège.

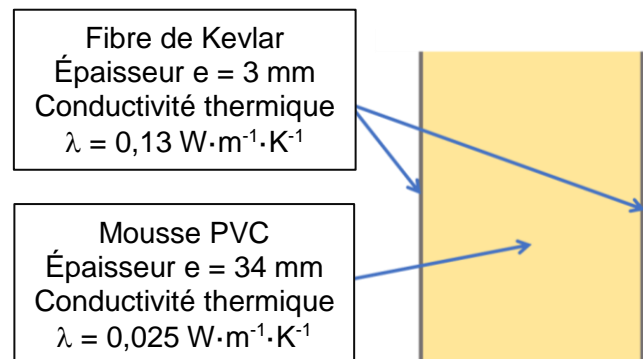
## Travail demandé

Ce travail se décompose en deux études :

- 1<sup>ère</sup> étude consacrée au confort thermique dans la base vie.
- 2<sup>ème</sup> étude consacrée à la structure du portique qui supporte les panneaux photovoltaïques.

Dans un premier temps nous allons étudier les performances énergétiques de l'espace de vie du bateau, la « Nacelle ». Pour cela, il faut déterminer les besoins en chauffage pour maintenir une température convenable à l'intérieur du bateau.

Pour la construction navale, les parois sont faites en composite à structure sandwich. Ce matériau est adapté pour sa légèreté et sa rigidité. Il est composé d'une âme en mousse PVC prise entre deux plaques de kevlar.



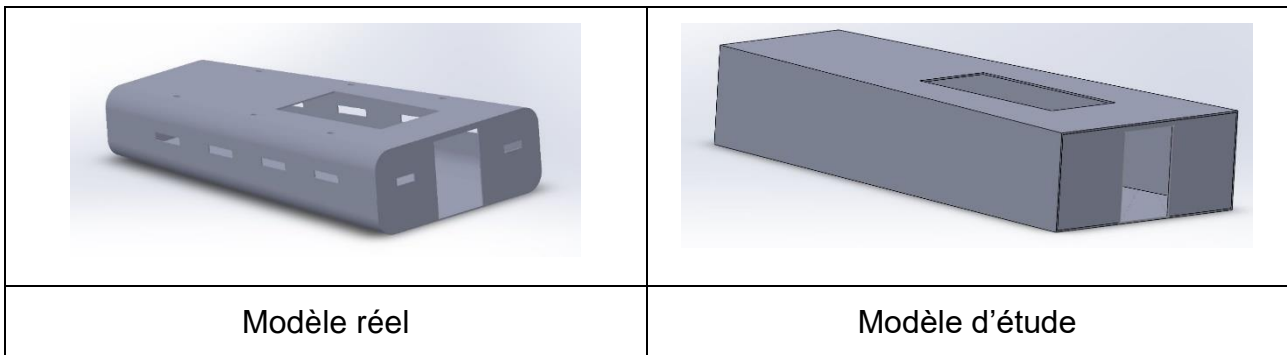
Les parois vitrées sont en plexiglass d'une **épaisseur de 7mm** et la conductivité thermique ( $\lambda$ ) est de  **$0,19 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$** .

**Partie A : comment vérifier la résistance thermique de matériaux ?**

- Question A.1 | **Indiquer**, à partir de la mise en situation, la distance que devra parcourir Energy - Observer pour relier Longyearbyen depuis Saint-Pétersbourg ?
- Question A.2 | **Calculer**, grâce aux documents **DT S1** et **DT S2**, la résistance thermique  $R_{\text{paroi}}$  et le coefficient de transmission thermique  $U$  de chaque matériau en complétant le document **DR S1**.  
**DT S1, DT S2** | **En déduire** la résistance thermique  $R_{\text{paroi}}$  et le coefficient de transmission thermique  $U$  de chaque paroi (opaque et vitrée).  
**DR S1**

**Partie B : comment garantir un bon confort thermique durant une traversée ?**

Modèle numérique de la « nacelle »



Pour faciliter l'étude thermique, nous allons simplifier la forme de la « Nacelle » selon le modèle d'étude représenté ci-dessus.

Descriptif des parois vitrées de la « nacelle »

Parois	Type	Nombre	Dimensions (m)
Verticale	Porte Vitrée	1	2,00 x 1,50
Horizontale	Toit vitrée	1	4,00 x 2,00

- Question B.1 | **Calculer** la surface totale des parois ( $S_p$ ) en contact avec l'air extérieur.  
**DT S2** | **Calculer** la surface totale des parois vitrées ( $S_v$ ) et en **déduire** la surface des parois opaques ( $S_o$ ), à partir du document **DT S2**.

Pour la suite de l'étude nous utiliserons les valeurs de surface et les coefficients de transmission thermique ( $U$ ) données dans le tableau **DR S2**. On considèrera que durant la navigation vers le cercle polaire, le bateau devra affronter une température minimale ( $T_{ext}$ ) de  $-5^{\circ}\text{C}$  et une température de consigne ( $T_{int}$ ) de  $19^{\circ}\text{C}$ .

Question B.2 | **Calculer** la puissance de déperditions des parois ( $P_{dp}$ ), en complétant le document **DR S2**, à partir du document **DT S1**.  
**DT S1** | **Déduire**, du tableau précédent, la part des déperditions dues aux parois vitrées par rapport aux déperditions totales. **Commenter** ce résultat.  
**DR S2**

On sait qu'une puissance de chauffage de  $2000\text{W}$  sera fournie en récupérant la chaleur des appareils du navire (pile à combustible, électrolyseur, convertisseur).

Question B.3 | **Calculer** si un chauffage additionnel est nécessaire pour maintenir la température intérieure à  $19^{\circ}\text{C}$ .  
**Indiquer** la puissance à fournir par le chauffage.

Question B.4 | **Conclure** quant au bon déroulement de la traversée suite à cette étude?

**Partie C : quel est l'intérêt de choisir une structure tubulaire pour la structure porteuse ?**

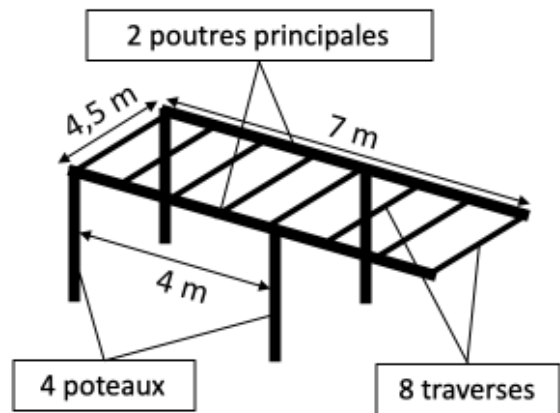


Zone étudiée

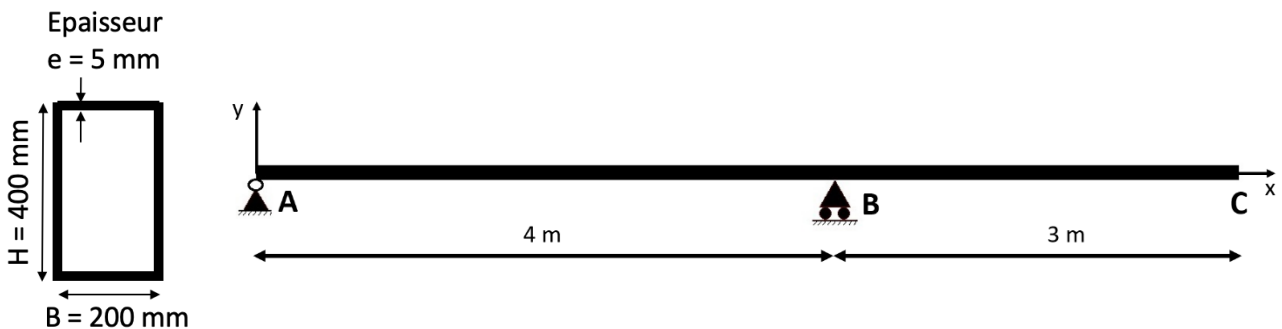
En raison d'un ensoleillement moins important et d'un soleil plus bas, la perspective d'une navigation en Europe du Nord, laisse craindre aux ingénieurs une production réduite de 75% avec les équipements actuels.

Pour compenser ces pertes, un portique à l'arrière de la base vie a été installé afin d'augmenter de 20% la surface de panneaux photovoltaïques disponible.

Le portique se compose de 2 poutres principales, 8 traverses et 4 poteaux. Nous allons vérifier le dimensionnement des poutres de cette structure.



Dimensions d'une poutre creuse principale :



Hypothèses simplificatrices de l'étude en résistance des matériaux :

- le matériau est homogène, isotrope et continu ;
- la section est constante ;
- la poutre est définie par une ligne moyenne ;
- les sections planes, normales aux fibres avant déformation restent planes et normales aux fibres après déformation.

La structure doit supporter :

- 27 m<sup>2</sup> de panneaux photovoltaïques (charge permanente) ;
- son propre poids (charge permanente) ;
- l'action d'une vague d'eau (charge variable) ;
- la charge liée à la maintenance (charge variable).

On considère que les charges sont uniformément réparties sur toute la surface de la structure et les actions sont toutes verticales et orientées vers le bas.

*Données :*

- *masse des panneaux à 6 kg·m<sup>-2</sup> ;*
- *masse surfacique de la structure (sans les poteaux) à 10 kg·m<sup>-2</sup> ;*
- *pression exercée par le vent sur la structure de 500 N·m<sup>-2</sup> ;*
- *charge d'exploitation (maintenance) est de 1 kN·m<sup>-2</sup> ;*
- *accélération de la pesanteur à la surface de la terre  $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ .*

- |                              |  |
|------------------------------|--|
| Question C.1<br><b>DT S3</b> | <b>Calculer</b> les charges permanentes ( <b>G</b> ) et variables ( <b>Q</b> ) qui s'appliquent sur toute la surface du portique à partir du document <b>DT S3</b> . |
| Question C.2                 | <b>En déduire</b> la charge totale qui s'applique sur une seule poutre à l'état limite ultime (ELU).   |
| Question C.3                 | <b>Expliquer</b> l'intérêt d'une structure porteuse tubulaire par rapport à une structure pleine.  |

## **Partie D : comment vérifier le critère de déformation d'une poutre ?**

*Pour la suite de l'étude, on prendra comme valeur de  $I_G = 1.5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$ .*

*Grace à un logiciel de simulation, on a modélisé le comportement de la poutre à l'ELU. On obtient le diagramme du moment fléchissant du document technique DT S4.*

Question D.1 | **Calculer** la contrainte maximale ( $\sigma_{\max}$ ) dans la poutre à partir des documents **DT S3** et **DT S4**.

**DT S3**

**DT S4**

**Calculer** le coefficient de sécurité ( $k_s$ ) qui a été utilisé pour le dimensionnement.

*La déformation maximale admissible ( $f_{\max}$ ) est donnée par la formule :  $f_{\max} = L/200$  et se détermine à l'état limite de service (ELS).*

*Sachant que  $L$  est la longueur du porte à faux [BC].*

Question D.2 | **Relever** la valeur maximale de la flèche ( $f_{\max}$ ) à l'état limite de service (ELS) sur le document **DT S5**.

**DT S5**

**Vérifier** par calcul si le critère de déformation est respecté.

Question D.3 | **Conclure** sur les dimensions de cette poutre par rapport aux exigences vu précédemment.

## DT S1 : formulaire de calcul des déperditions thermiques

---

Résistance thermique d'un matériau :

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

$[R] = \text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$  ;  $[e] = \text{m}$  ;  $[\lambda] = \text{W} \cdot \text{M}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Résistance d'une paroi :

$$R_{\text{Totale}} = R_1 + R_2 + R_3 + R_{si} + R_{se}$$

Coefficient de transmission thermique :

$$U_{\text{parois}} = \frac{1}{R_{\text{Totale}}}$$

$[U_{\text{parois}}] = \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$

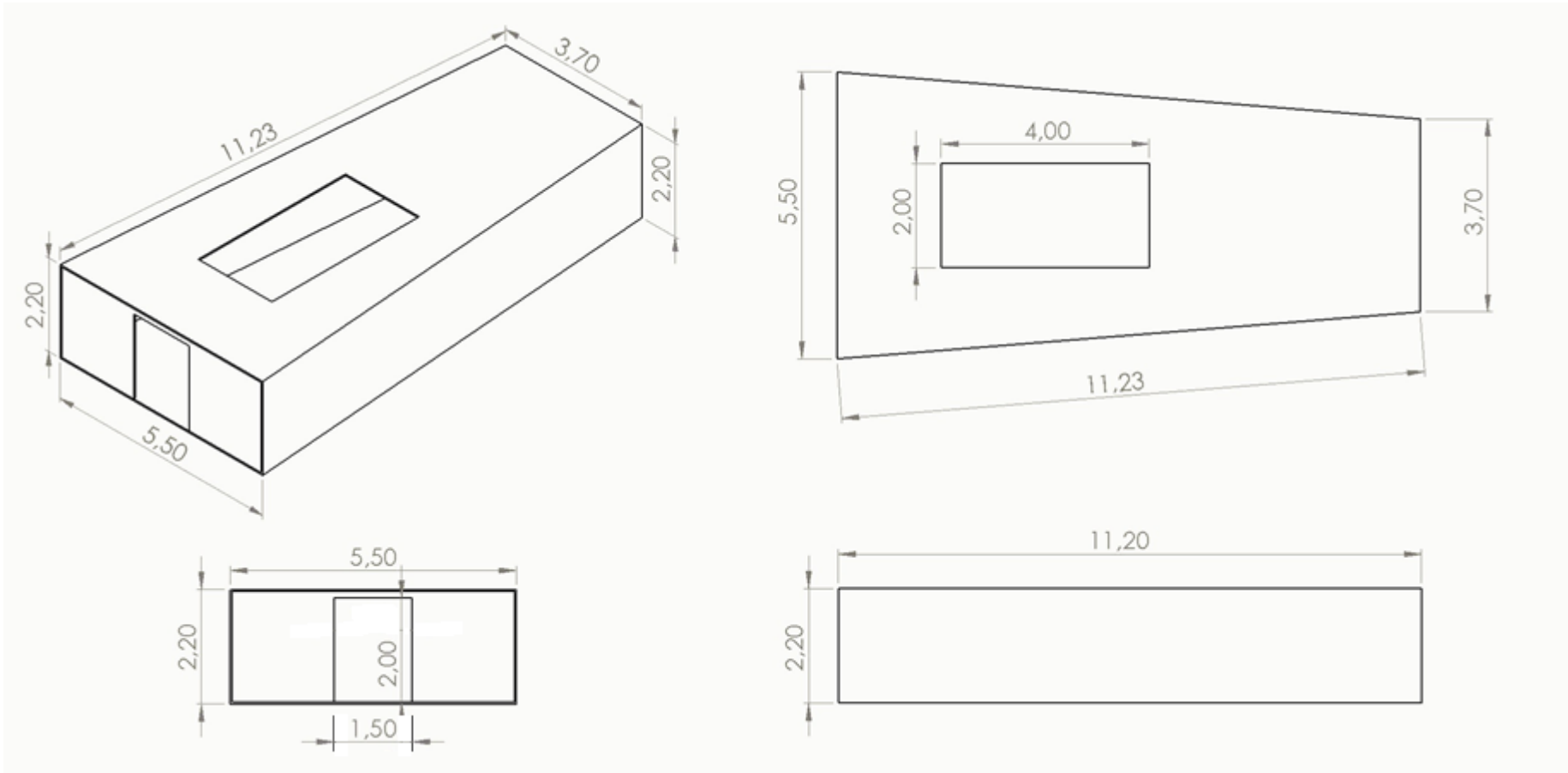
Puissance de déperdition d'une paroi :

$$P_{\text{paroi}} = U_{\text{paroi}} \cdot S_{\text{paroi}} \cdot (T_{\text{int}} - T_{\text{ext}})$$

$[P_{\text{paroi}}] = \text{W}$  ;  $[S_{\text{paroi}}] = \text{m}^2$  ;  $[T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}] = \text{°C}$

**DT S2 : plans de l'espace vie d'Energie Observer**

---



## DT S3 : formulaire de calcul de structure

Charges à l'ELU (État limite Ultime) :  $P = 1,35 \cdot G + 1,5 \cdot Q$   
 Avec G : Charges permanentes et Q : Charges variables

Moment quadratique  $I_{Gz}$  d'une poutre creuse de section rectangulaire :

Avec  $b = (B - 2e)$  et  $h = (H - 2e)$  
$$I_{Gz} = \frac{B \cdot H^3}{12} - \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$[I_{Gz}] = m^4$  ;  $[b] = m$  ;  $[h] = m$

Contrainte maximale  $\sigma_{max}$  :

$$\sigma_{max} = \frac{(-Mf_z \cdot y)}{I_{Gz}}$$

Avec  $Mf_z$  le moment fléchissant maximal de la poutre ;

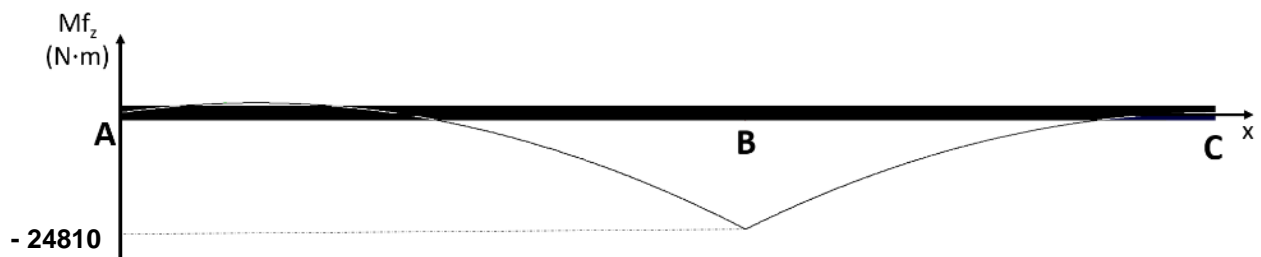
$y$  la distance à la fibre neutre, ici  $y = 0,2 \text{ m}$  ;

$I_{Gz}$  moment quadratique de la poutre :  $[I_{Gz}] = m^4$ .

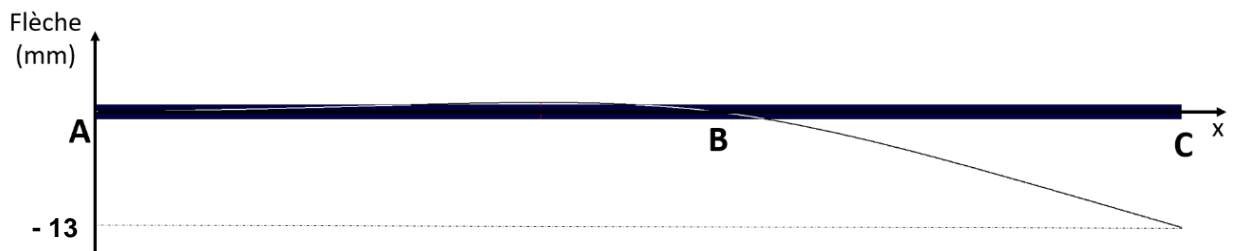
La condition de résistance du matériau est définie par :  $\sigma_{max} < \frac{R_e}{k_s}$

Avec la résistance élastique ( $R_e$ ) du composite  $R_e = 150 \text{ Mpa}$ .

## DT S4 : diagramme moment fléchissant à l'ELU



## DT S5 : diagramme de la déformée à l'ELS



### DR S1 : résistances thermiques des parois

Parois	Kevlar			PVC			Kevlar			Résistance superficielle (m <sup>2</sup> ·K·W <sup>-1</sup> )	R <sub>paroi</sub> (m <sup>2</sup> ·K·W <sup>-1</sup> )	U (W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> )
	e (m)	λ (W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> )	R (m <sup>2</sup> ·K·W <sup>-1</sup> )	e (m)	λ (W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> )	R (m <sup>2</sup> ·K·W <sup>-1</sup> )	e (m)	λ (W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> )	R (m <sup>2</sup> ·K·W <sup>-1</sup> )			
<b>Opaque</b>	<b>0,003</b>	<b>0,13</b>	.....	.....	.....	<b>1,36</b>	<b>0,003</b>	<b>0,13</b>	.....	<b>0,19</b>	.....	.....

Parois	Plexiglass			Résistance superficielle (m <sup>2</sup> ·K·W <sup>-1</sup> )	R <sub>paroi</sub> (m <sup>2</sup> ·K·W <sup>-1</sup> )	U (W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> )
	e (m)	λ (W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> )	R (m <sup>2</sup> ·K·W <sup>-1</sup> )			
<b>Vitrée</b>	<b>0,007</b>	<b>0,19</b>	.....	<b>0,15</b>	.....	.....

### DR S2 : déperditions des parois

Parois	Surface (m <sup>2</sup> )	U (W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> )	ΔT (K)	Puissance Déperdition (W)	Puissance Déperdition Totale (W)
<b>Opaque</b>	<b>110</b>	<b>0,63</b>	<b>24</b>	.....	.....
<b>Vitrée</b>	<b>11</b>	<b>5,35</b>		.....	

