

Étude numérique du bateau antique égyptien dit d'Inéni

juin 2020

Objectifs :

- **Caractériser la capacité de charge du navire, sa stabilité et sa propulsion**
- **Réfutation des affirmations gratuites de Fehmi Krasniqi sur l'impossibilité du transport fluvial des blocs monumentaux**

Méthodologie et moyens mis en œuvre :

- **Modélisation de la carène et son chargement dans Freeship 3.5+**
- **Calculs de stabilité à partir des isocarènes dans LibreOffice Calc**
- **Simulation en bassin de carène numérique avec SimFlow, post-production dans ParaView**

Source :

Louis Carlens - Le transport fluvial de charges lourdes dans l'Egypte antique - 2003

Définition du navire dans la publication de Louis Carlens

Le transport fluvial de charges lourdes dans l'Égypte antique

Louis Carlens

Abstract

La première partie du travail est une analyse critique de l'article de A. Wirsching paru dans SAK 27 intitulé: „Das Doppelschiff – die altägyptische Technologie zur Beförderung schwerster Steinlasten“, article sur lequel j'émet un certain nombre de réserves. Dans la deuxième partie, on aborde d'autres études réalisées sur le même sujet en comparant les différentes solutions proposées par les auteurs et enfin on présente d'autres hypothèses pour le transport fluvial des charges lourdes. Les annexes explicitent certains calculs et techniques envisagées.

Introduction

L'étude du transport par bateau des charges lourdes, en particulier des obélisques, est basée essentiellement sur deux textes, à savoir une inscription d'Ouni, vizir de Haute Égypte sous Merenrê (5^e dynastie) et celle d'Inéni, haut fonctionnaire de Thoutmosis I^{er}, ainsi que sur deux représentations gravées, la première sur les murs de la chaussée monumentale de la pyramide d'Ounas à Saqqarah, la seconde provenant du temple funéraire d'Hatshepsout à Deir el Bahari. On peut encore y ajouter un extrait de Pline l'Ancien sur le transport d'un obélisque au temps de Ptolémée II Philadelphe, témoignage donc non contemporain.

Ces documents ont déjà été abondamment commentés sans pour cela entraîner d'unanimité de vue, bien au contraire. Les raisons en sont d'abord l'imprécision des représentations due aux conventions égyptiennes de dessin et ensuite des lacunes sur les gravures, particulièrement sur celle de Deir el Bahari. Ceci ouvre la voie à des interprétations personnelles qui n'emportent pas toujours la conviction. La dernière en date est celle de A. Wirsching que nous allons d'abord discuter avant de reprendre les autres études

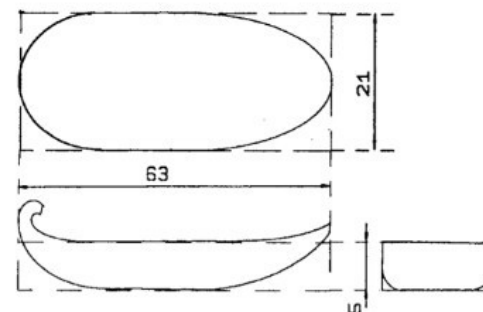
Annexe 5

A. Estimation du poids à vide du bateau d'Inéni

Données: longueur 63 m ; largeur 21 m.

Hypothèses de Sølver²⁸: hauteur 6,5 m; épaisseur des planches de la coque 0,3 m; densité du bois: 0,95.

Le bateau peut être considéré comme un parallélépipède cube de 63 x 21 x 6,5 mètres, auquel on affectera des coefficients pour tenir compte des courbures. Ces coefficients ont été estimés en remplaçant les courbes par des droites approchantes.



Réduction en plan: 0,9
Réduction verticale: 0,85
Réduction en coupe: 0,9

réduction totale: $0,9 \times 0,85 \times 0,9 = 0,69$

Devis de poids et coupe théorique avec deux obélisques en pontée

Poids de la coque:

$$[63 \times (21 + 2 \times 6,5) + 2 \times 21 \times 6,5] \times 0,3 \times 0,95 \times 0,69 = 475 \text{ t.}$$

Poids des poutres transversales au nombre de $22 \times 3 = 66$ et dont la section est estimée à $0,4 \times 0,3 \text{ m}$.

$$21 \times 66 \times 0,4 \times 0,3 \times 0,95 \times 0,9 = 142 \text{ t.} \quad (0,9 \text{ est le coefficient de réduction plane})$$

Estimation des renforts divers, éléments de pont, portiques supports, cordages, etc.: 10% de l'ensemble.

$$\text{Poids total à vide: } (475 + 142) \times 1,1 = 678 \text{ t.}$$

Sølver avait estimé ce poids à 600 t. Notons encore que pour un bateau de $63 \times 25 \text{ m}$, également estimé par Sølver à 800 t, on trouve de la même manière 775 t.

B. Estimation du tirant d'eau du bateau chargé.

Poids d'un obélisque de Thoutmosis I^{er}: 143 t.

Si on y ajoute les traîneaux et autres accessoires, on arrive à un total de: $2 \times 175 = 350 \text{ t.}$ et le poids total du bateau chargé est de $678 + 350 = 1028 \text{ t.}$

Longueur à la flottaison: 42 m; largeur à la flottaison: 20 m.

Si T est le tirant d'eau, le déplacement du bateau est de: $42 \times 20 \times 0,69 \times T$. Ce déplacement doit être égal au poids total, soit 1028 t.

$$\text{On a donc } T = 1028 / (42 \times 20 \times 0,69) = 1,77 \text{ m.}$$

Compte tenu des approximations des calculs, on peut en déduire que le tirant d'eau du bateau chargé était de l'ordre de 2 m, ce qui est très acceptable.

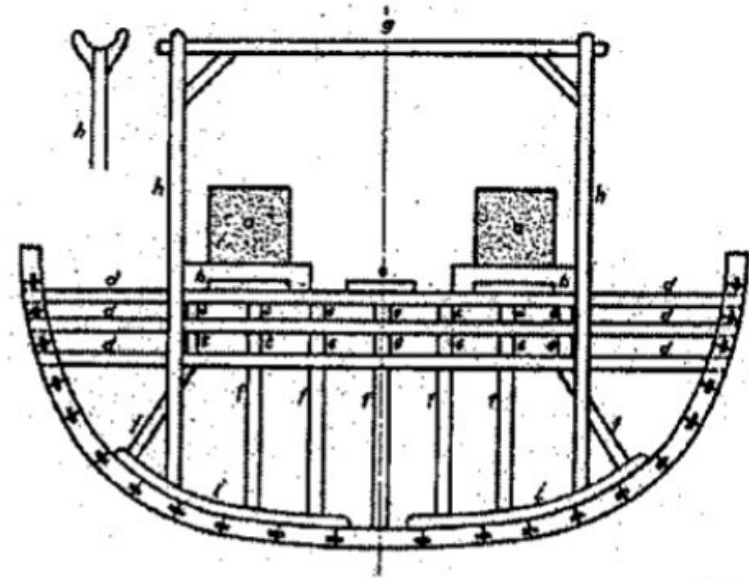
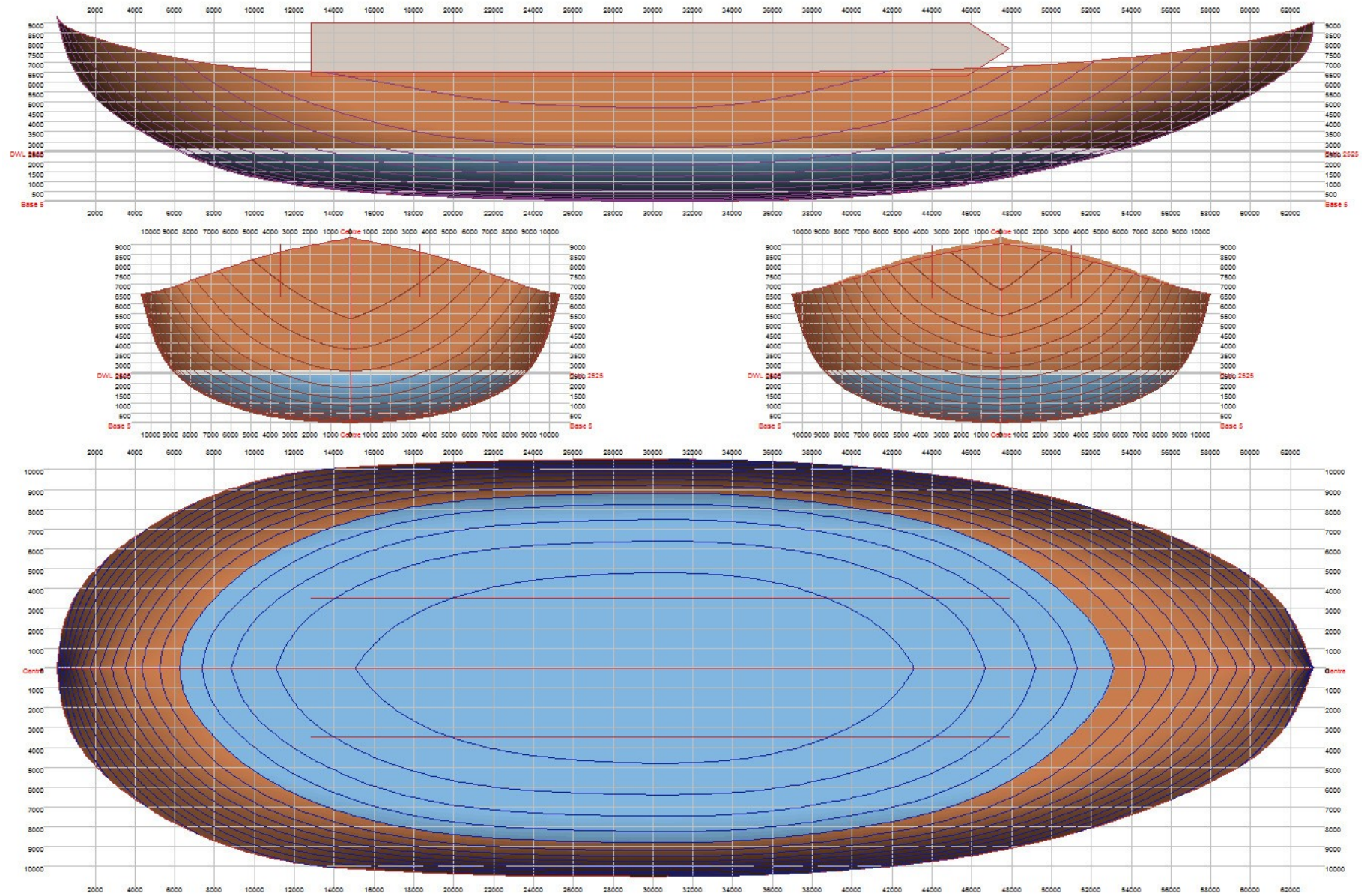


Fig. 6: coupe d'après Sølver¹⁷

Plan contemporain du navire



Centre de gravité et stabilité en charge

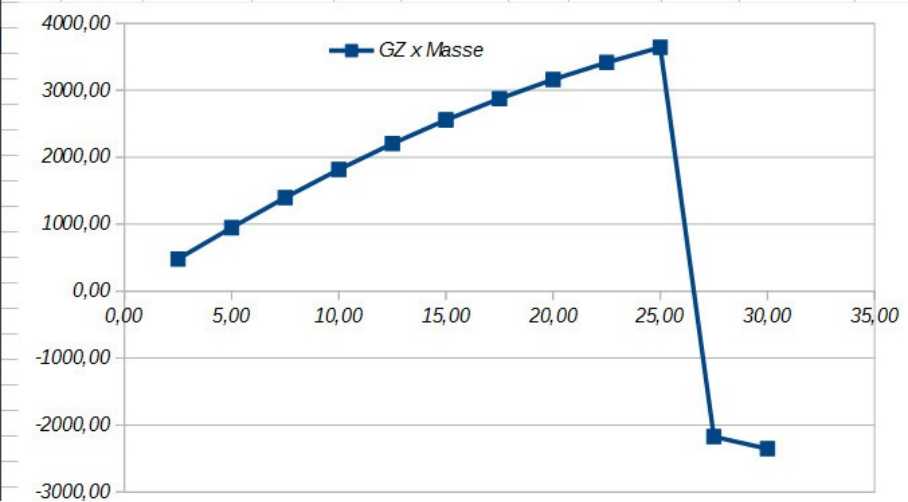
Les propriétés suivantes du calque sont calculées pour les deux côtés du bateau:

Calque	Surface m^2	Epaisseur mm	Poids tonnes	COG X m	COG Y m	COG Z m
coque	1455.0	491.000	678.701	30.368	0.000	2.992
grosse pierre	183.64	763.000	350.295	29.834	0.000	7.651
Total	1638.7		1028.996	30.187	0.000	4.578

Difference of midship draft : -0.003 m
Midship draft : 2.522 m
Need enable automoving model to baseline or set new project draft.

Parameters of ship sinkage:
Difference of midship draft : -0.003 m
Midship draft : 2.522 m
Initial transverse metacentric height ho : 10.643 m
Initial longitudinal metacentric height Ho : 89.471 m
Angle of heel Psi : 0.000 degr
Angle of trim : -0.631 degr

Bateau Inéni									
a	a rad	KN sin(a)	Sin (a)	KN	KG sin(a)	a	GZ	m.deg	GZ x Masse
0,00	0,00	0,00				0,00	0,00		
2,50	0,04	0,67	0,04	15,29	0,20	2,50	0,47	0,58	481,51
5,00	0,09	1,32	0,09	15,16	0,40	5,00	0,92	1,74	950,02
7,50	0,13	1,96	0,13	14,98	0,60	7,50	1,36	2,85	1398,71
10,00	0,17	2,56	0,17	14,74	0,79	10,00	1,76	3,90	1817,68
12,50	0,22	3,13	0,22	14,46	0,99	12,50	2,14	4,88	2204,21
15,00	0,26	3,67	0,26	14,17	1,18	15,00	2,48	5,78	2557,66
17,50	0,31	4,17	0,30	13,86	1,38	17,50	2,79	6,59	2876,35
20,00	0,35	4,64	0,34	13,55	1,56	20,00	3,07	7,33	3162,72
22,50	0,39	5,07	0,38	13,24	1,75	22,50	3,32	7,99	3417,13
25,00	0,44	5,47	0,42	12,94	1,93	25,00	3,54	8,57	3643,05
27,50	0,48	0,00	0,46	0,00	2,11	27,50	-2,11	1,78	-2173,34
30,00	0,52	0,002	0,50	0,00	2,29	30,00	-2,29	-5,49	-2353,55
KG	4,57						intégrale	52,00	m.deg
d	1030,00								
Envahissement > 25° et < 27,5°									



Stabilité avec chargement partiel et désaxé

Un obélisque en place – gîte de 3.5° / Un obélisque sur la lisse – gîte de 10°

Les propriétés suivantes du calque sont calculées pour les deux côtés du bateau:

Calque	Surface m ²	Epaisseur mm	Poids tonnes	COG X m	COG Y m	COG Z m
coque	1455.0	491.000	678.701	30.368	0.000	2.992
grosse pierre	91.820	763.000	175.147	29.834	3.500	7.651
Total	1546.9		853.848	30.259	0.718	3.948

Difference of midship draft : -0.096 m
Midship draft : 2.259 m

Need enable automoving model to baseline or set new project draft.

Parameters of ship sinkage:

Difference of midship draft : -0.096 m
Midship draft : 2.259 m
Initial transverse metacentric height ho : 11.682 m
Initial longitudinal metacentric height Ho : 93.316 m
Angle of heel Psi : 3.522 degr
Angle of trim : -0.664 degr

Les propriétés suivantes du calque sont calculées pour les deux côtés du bateau:

Calque	Surface m ²	Epaisseur mm	Poids tonnes	COG X m	COG Y m	COG Z m
coque	1455.0	491.000	678.701	30.368	0.000	2.992
grosse pierre	91.820	763.000	175.147	29.834	10.000	7.651
Total	1546.9		853.848	30.259	2.051	3.948

Difference of midship draft : -0.076 m
Midship draft : 2.259 m

Need enable automoving model to baseline or set new project draft.

Parameters of ship sinkage:

Difference of midship draft : -0.076 m
Midship draft : 2.259 m
Initial transverse metacentric height ho : 11.732 m
Initial longitudinal metacentric height Ho : 93.717 m
Angle of heel Psi : 10.021 degr
Angle of trim : -0.662 degr

Un obélisque en chargement longitudinal – inclinaison de 3.2°

Les propriétés suivantes du calque sont calculées pour les deux côtés du bateau:

Calque	Surface m ²	Epaisseur mm	Poids tonnes	COG X m	COG Y m	COG Z m
coque	1455.5	491.000	678.907	30.369	0.000	2.991
grosse pierre	91.820	763.000	175.147	49.834	3.500	7.651
pont	1104.5	0.000	0.000	30.449	0.000	6.896
Total	2651.8		854.055	34.361	0.718	3.947

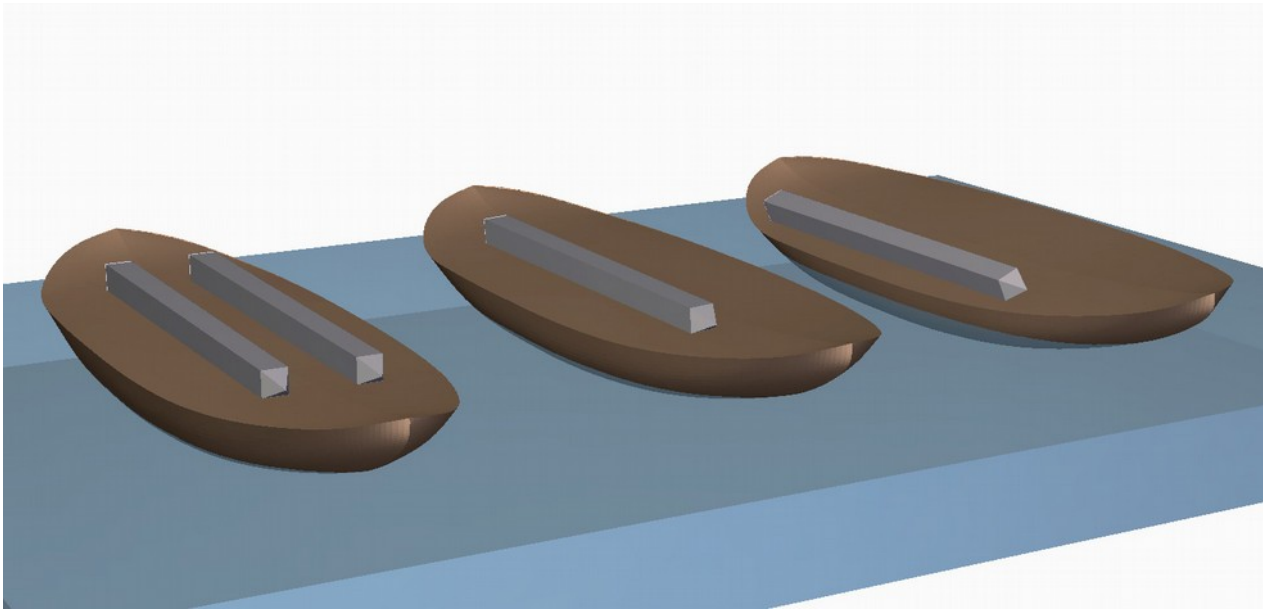
Difference of midship draft : -0.096 m
Midship draft : 2.258 m

Need enable automoving model to baseline or set new project draft.

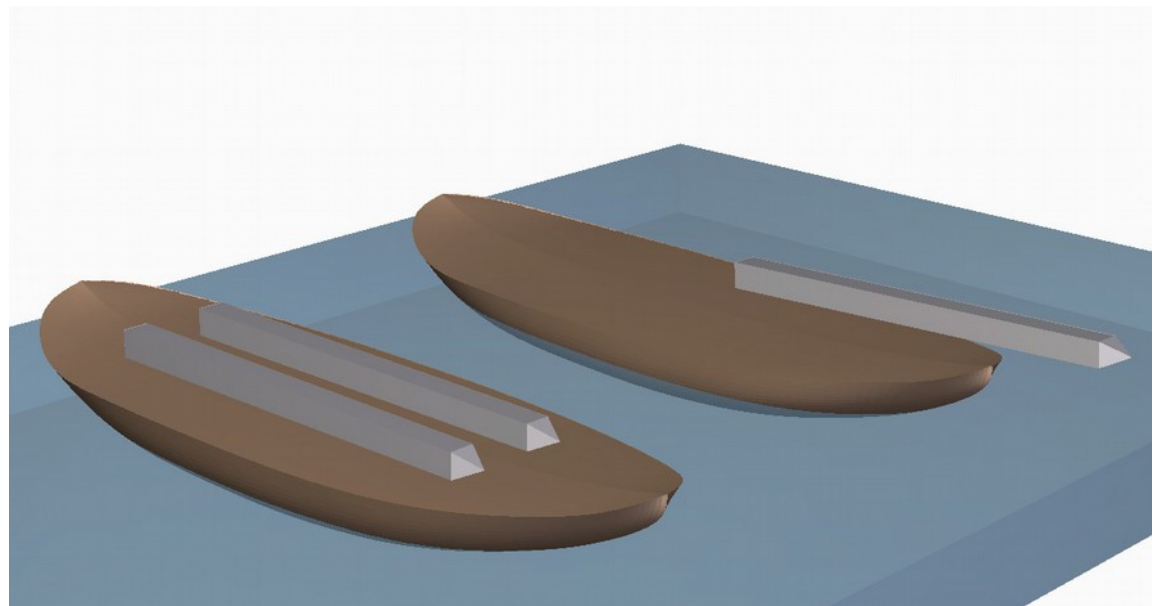
Parameters of ship sinkage:

Difference of midship draft : -0.096 m
Midship draft : 2.258 m
Initial transverse metacentric height ho : 11.697 m
Initial longitudinal metacentric height Ho : 93.329 m
Angle of heel Psi : 3.517 degr
Angle of trim : -3.181 degr

Stabilité avec chargement partiel et désaxé – vues 3D

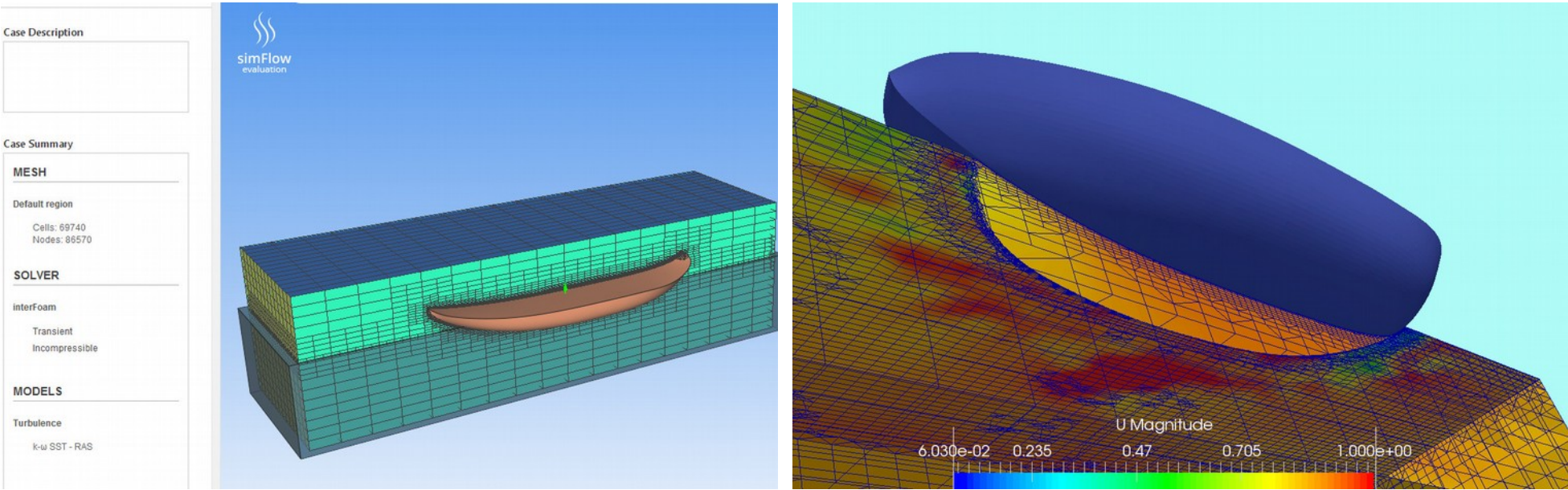


En charge / Désaxé / Chargement sur la lisse



En charge / Chargement en longitudinal

Propulsion à 3 km/h dans Simflow



Forces équivalentes

Forces					
V	V	$1/2 F$	P	<u>Nb bœufs</u>	<u>Nb rameurs</u>
m/s	km/h	N	Watts	400 watts	125 watts
0,83	3	6000	9960	25	80

Conclusion

Ce navire est apte à transporter sans lest 2 obélisques de 145 tonnes avec leurs traîneaux en pontée, voir beaucoup plus si on le lestait.

La marge de sécurité est satisfaisante avec un angle de chavirage par envahissement de 25°, comparable aux bateaux fluviaux médiévaux et modernes que j'ai pu étudiés.

Le chargement en longitudinal est possible en stabilisant le bateau à quai.

A 3 km/h, soit une distance parcourue journalière de 24 km hors courant descendant, 80 rameurs suffisaient à la propulsion, avec 2 rameurs par avirons, cela en fait 20 de chaque côté, la surface de pont pour manœuvrer est suffisante.

Le transport de blocs plus petits type pyramide d'environ 2.5 tonnes, relativement aisés à descendre en cale, est donc d'autant plus probable, le bateau gagnant en stabilité et capacité de charge. Le franc-bord étant ici très important, et le navire relativement peu chargé.

Je tiens à disposition et sur demande le fichier source Freeship pour qui voudrait vérifier mes calculs.

Il s'agit d'une étude rapide estimative, mais même à ± 10 % d'erreur, cela ne remet pas en cause la capacité du navire.