

# ETUDE D'UNE PLANCHE DE SURF EN FLEXION

METHODE DES ELEMENTS FINIS



ISA BTP

4ème année

Année Universitaire 2020-2021

APATY Julien

CARDIN Arthur

MAGIS Iban

## Table des matières

|   |    |
|---|----|
| INTRODUCTION .....  | 2  |
| DEFINITION DE LA GEOMETRIE DE LA PLANCHE .....  | 3  |
| Tentative de réalisation de la géométrie par maillage des surfaces supérieur et inférieur ..... | 4  |
| Réalisation de la géométrie par maillage des surfaces transversales.....                        | 5  |
| Programmation d'une section.....  | 6  |
| Obtention du demi volume via une boucle.....  | 9  |
| Définition des matériaux composants la planche .....  | 13 |
| ESSAIS MECANIKES SUR LA PLANCHE .....   | 14 |
| Définition des conditions limites.....  | 14 |
| Application de la charge et résolution du système .....   | 14 |
| Tracé des déformées, déplacements et contraintes.....   | 16 |
| Résultats de la modélisation .....  | 17 |
| Interprétation des résultats .....  | 20 |
| CONCLUSION .....  | 21 |
| GLOSSAIRE .....   | 22 |

## Table des figures

|  |    |
|--|----|
| Figure 1 : visualisation 3D de la planche de surf via le logiciel Shape3D X .....                      | 3  |
| Figure 2 : plans de la planche de surf d'après le logiciel Shape3D X.....                              | 3  |
| Figure 3 : coupes transversales obtenues via le logiciel Shape3D X .....                               | 5  |
| Figure 4 : définition des points de paramétrisation et visualisation sur le logiciel Shape3D X.....    | 6  |
| Figure 5 : obtention des différents points via CAST3M.....   | 6  |
| Figure 6 : définition des tangentes particulières via une visualisation sur le logiciel Shape3D X..... | 7  |
| Figure 7 : géométrie d'une demi-section obtenue par la méthode des tangentes sur CAST3M.....           | 8  |
| Figure 8 : géométrie et maillage de la planche de surf via le code sur logiciel CAST3M .....           | 11 |
| Figure 9 : de bas en haut, la latte, l'enveloppe et le volume interne.....                             | 12 |
| Figure 10 : composition complète des matériaux d'une planche de surf .....                             | 13 |
| Figure 11 : surface d'application de la charge SMILTOT .....   | 15 |
| Figure 12 : Tracé des valeurs des déplacements suivant $U_x$ , $U_y$ et $U_z$ .....                    | 17 |
| Figure 13 : Tracé des valeurs de déplacement sur la déformée suivant $U_x$ , $U_y$ et $U_z$ .....      | 18 |
| Figure 14 : Contrainte de von mises dans la latte en paulownia .....                                   | 19 |
| Figure 15 : Contrainte de von mises dans le cœur en PSE .....  | 19 |
| Figure 16 : Contrainte de von mises dans la stratification Epoxy - Fibre de verre.....                 | 20 |
| Figure 17 : les différents éléments et parties d'une planche de surf.....                              | 22 |

## INTRODUCTION

L'objectif de l'enseignement qui nous a été dispensé au travers du logiciel Cast3M est de réaliser des calculs par la méthode des éléments finis. Cette méthode est utilisée pour résoudre numériquement des problèmes d'équations aux dérivées partielles. En effet, le comportement dynamique de certains systèmes physiques peut être représenté via cette méthode. Elle permet de rechercher une solution approchée d'une équation aux dérivées partielles sur un domaine compact avec des conditions aux bords et/ou dans l'intérieur du compact (conditions de type Dirichlet ou Neumann).

De plus, le code de calcul Cast3M utilisé permet d'analyser des structures via la méthode des éléments finis. En effet, ce système regroupe des fonctions de calcul utilisables lors de la programmation, mais aussi des fonctions de construction de modèle et de traitement de résultats.

Cast3M a été développé au Service d'études mécaniques et thermiques (SEMT) du Département de modélisation des systèmes et structures du Commissariat français à l'Energie Atomique (CEA) pour la conception, le dimensionnement et l'analyse de structures et de composants, dans le domaine nucléaire comme dans le secteur industriel classique.

Nous avons donc choisi d'étudier le comportement d'une planche de surf sollicitée en flexion. Sa modélisation est complexe et elle est composée de 4 matériaux de nature différente : le pain de mousse, la latte en bois centrale, des feuilles de fibre, ainsi que de la résine époxy. Nous allons essayer de modéliser les interactions entre ces différents matériaux lorsqu'ils sont sollicités.

## DEFINITION DE LA GEOMETRIE DE LA PLANCHE

Afin de modéliser la planche de surf sur le logiciel de calcul CAST3M, la géométrie doit être préalablement définie. Ainsi, le logiciel de création Shape3D X a été mis à contribution pour obtenir les coordonnées de points nécessaires au dimensionnement.

La planche sélectionnée pour le projet est caractérisée par la shape suivant : un tail de type square, un nose arrondi et de rails homogènes sur la longueur de la planche. Bien que complexe à modéliser, cette forme permet de simplifier la géométrie.

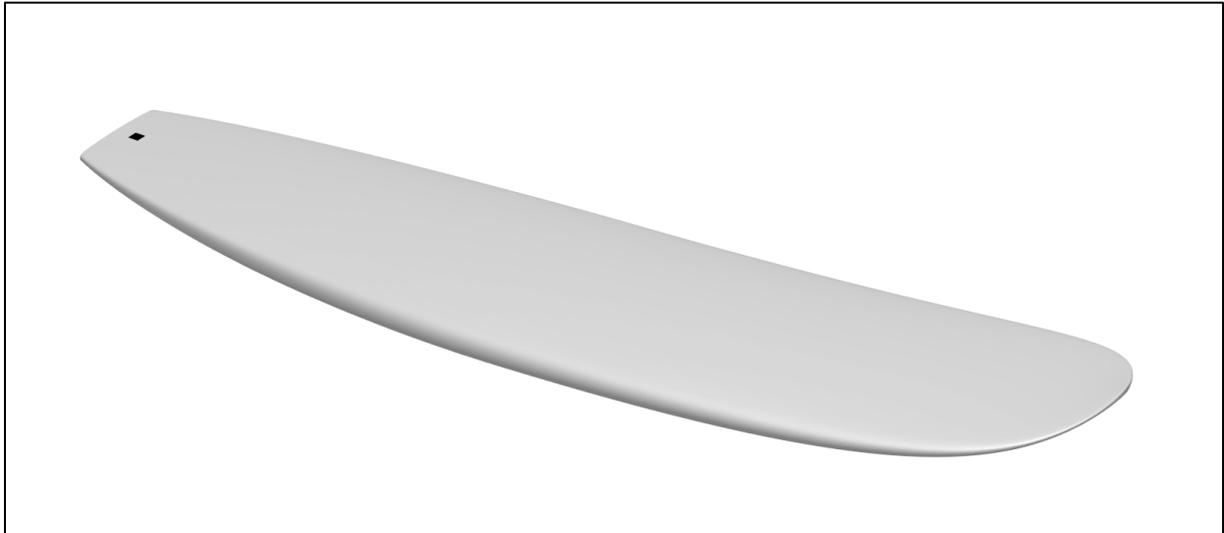


Figure 1 : visualisation 3D de la planche de surf via le logiciel Shape3D X

Le logiciel Shape3D X permet aussi d'obtenir les dimensions de la planche, suivant trois axes et en tout point, afin de pouvoir générer numériquement le modèle. Cependant, ces données ne sont disponibles que sur des plans, et doivent donc être saisies manuellement.

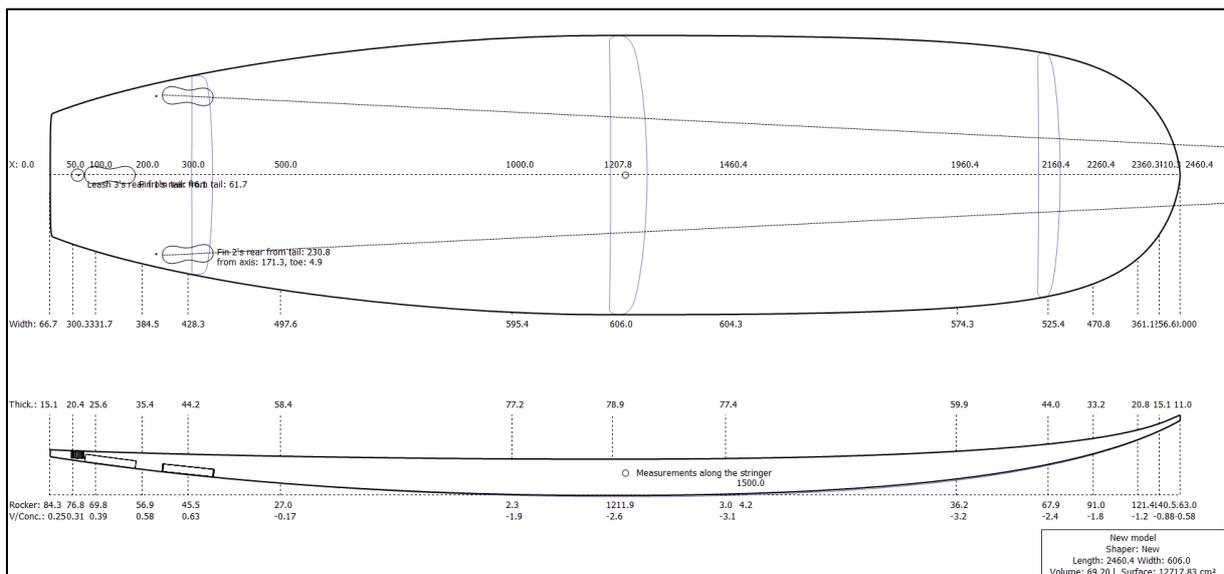


Figure 2 : plans de la planche de surf d'après le logiciel Shape3D X

La planche de surf mesure donc 2.46m et dispose d'une épaisseur et d'une largeur variables. De plus, la courbure de la planche complexifie encore la géométrie.

## Tentative de réalisation de la géométrie par maillage des surfaces supérieur et inférieur

Afin de générer un maillage sur une géométrie 3D, la directive OPTION est utilisée et paramétrée dans CAST3M.

|   |  |
|---|--|
| <pre>*Etude en flexion d'une planche de surf * OPTION DIMENSION 3 ELEMENT TET4 TRAC OPEN DENS 0.02;</pre> | <p>L'opérateur DIMENSION renseigne l'espace de définition de l'élément, ici un espace 3D.</p> <p>L'opérateur ELEMENT permet de définir le support géométrique des éléments finis qui serviront à la modélisation des phénomènes physiques, ici des objet TET4.</p> <p>L'opérateur DENS correspond à la longueur de référence d'un élément de maillage.</p> |
|---|--|

Par la suite, la géométrie de la planche peut être définie en utilisant des données préalablement extraites du logiciel Shape3D X. Ainsi, l'épaisseur de la planche au niveau du rocker est définie suivant les bases de données 'zbas.txt' et 'zhaut.txt'. Vue de dessus, la largeur variable de la planche est aussi renseignée via le fichier 'y.txt'.

|  |   |
|--|---|
| <pre>TAB1 = LIRE 'CSV' 'y.txt' 'DEBU' ENTI1 'SEPA' MOT1 'LIGN' ; LISTY1 = TAB1.1 / 2000 ;  TAB2 = LIRE 'CSV' 'zbas.txt' 'DEBU' ENTI1 'SEPA' MOT1 'LIGN' ; LISTZ1 = (TAB2.1 / 1000) - 0.163 ;  TAB3 = LIRE 'CSV' 'zhaut.txt' 'DEBU' ENTI1 'SEPA' MOT1 'LIGN' ; LISTZ2 = (TAB3.1 / 1000) - 0.163 ;  N1 = DIME LISTY1; L1 = 2.46; DL = L1 / (N1 - 1);  LISTX1 = PROG 0. PAS DL L1 ; EVOL1 = EVOL MANU LISTX1 LISTY1 ; *DESS EVOL1;  X1 = EXTR LISTX1 1; Y1 = EXTR LISTY1 1; Z1 = EXTR LISTZ1 1; Z2 = EXTR LISTZ2 1; P1 = X1 Y1 0.; D1 = P1; EVZ1=EVOL MANU 'X' LISTX1 'UZ' LISTZ1; EVZ2=EVOL MANU 'X' LISTX1 'UZ' LISTZ2; EVZMOY=(EVZ1 + EVZ2)/2;</pre> | <p>Les données géométriques sont extraites via des fichiers texte, converties en mètre et définies selon le même repère spatial.</p> <p>La longueur de la planche est ici divisée par le nombre de valeurs renseignées afin d'obtenir un pas de mesure.</p> <p>Le point de départ de notre boucle est initialisé. Tout d'abord, les coordonnées nécessaires sont extraites de nos listes afin de pouvoir les exploiter. Puis, notre point P1 de départ est défini ainsi que la droite D1 composée au début uniquement avec le point P1.</p> <p>L'opérateur EVOL définit l'évolution d'une (ou plusieurs) grandeur(s) en fonction d'un paramètre, ici deux listes.</p> |
|--|---|

Une fois les données saisies, la géométrie peut être réalisée en définissant les contours de la planche en 2D au niveau des rails.

|   |   |
|---|---|
| <pre>i=1; REPETER BOU1 (N1-1);   i = i+1;</pre> | <p>En utilisant une boucle de même dimension que les bases de données, des points sont définies afin de dessiner la</p> |
|---|---|

|  |   |
|--|---|
| <pre>X1 = EXTR LISTX1 i; Y1 = EXTR LISTY1 i; P1 = X1 Y1 0; D1 = DROI 1 D1 P1;  FIN BOU1;</pre> | <p>géométrie externe vu de dessus de notre planche. Ces points sont reliés par des droites permettant de tracer le contour de la planche.</p> |
|--|---|

Une fois les rails définis, la géométrie rectiligne du tail peut être paramétrée.

|   |  |
|---|--|
| <pre>LP=P1 COORD 1; P2 = LP 0. 0.; D3 = DROITE P1 P2; D2=D P2 P0; DTOT1 = D1 ET D3 ET D2; ELIM DTOT1;</pre> | <p>P1 est le point de notre boucle. A la fin de celle-ci, il correspond au dernier point de la droite, celui au bout du tail dont la valeur en x est considérée. A partir du premier point des bases de données, un point initial LP est renseigné, permettant de tracer une droite afin d'obtenir une géométrie fermée entre les rails et le tail de la planche. Les points pouvant se superposés au niveau des zones de raccord sont effacés via l'opérateur ELIM.</p> |
|---|--|

Enfin, la géométrie totale de la planche en 2D peut être maillée.

|   |   |
|---|---|
| <pre>S1 = SURF DTOT1 PLAN; X=(COORD 1 S1) NOMC 'X';  *TRACER S1 ;</pre> | <p>L'opérateur SURF permet de définir la surface de la planche via un maillage.</p> |
|---|---|

Cette méthode, à première vue efficace pour dessiner le maillage de surface de la planche, s'est rapidement révélée complexe pour définir le rocker et l'épaisseur variable due au volume courbé.

### Réalisation de la géométrie par maillage des surfaces transversales

La première méthode de maillage s'étant révélée peu pratique, la géométrie sera réalisée via des coupes transversales de la planche de surf. Ces différentes sections permettront de réaliser la géométrie complète de la planche.

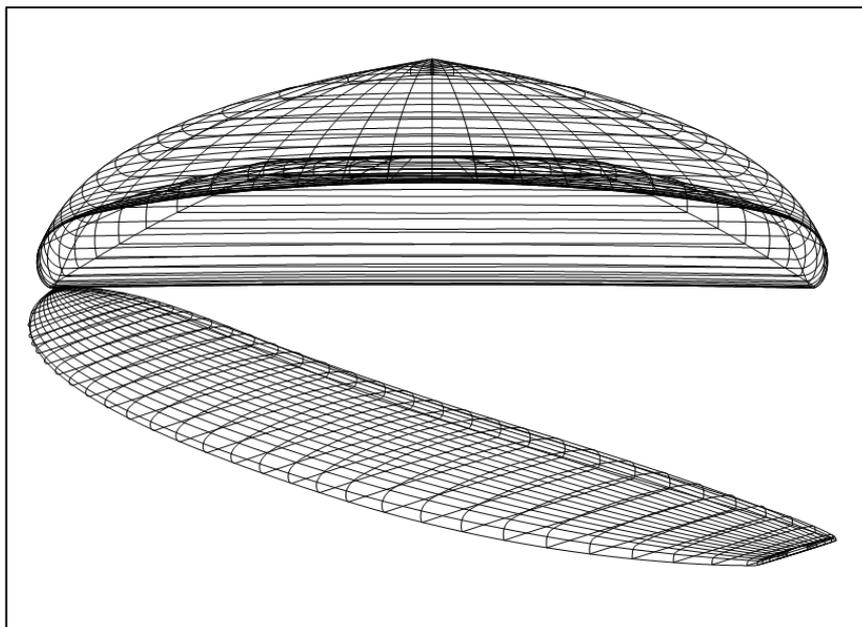


Figure 3 : coupes transversales obtenues via le logiciel Shape3D X

## Programmation d'une section

Afin de définir la géométrie d'une section sur le code de calcul CAST3M, des points de paramétrisation sont utilisés.

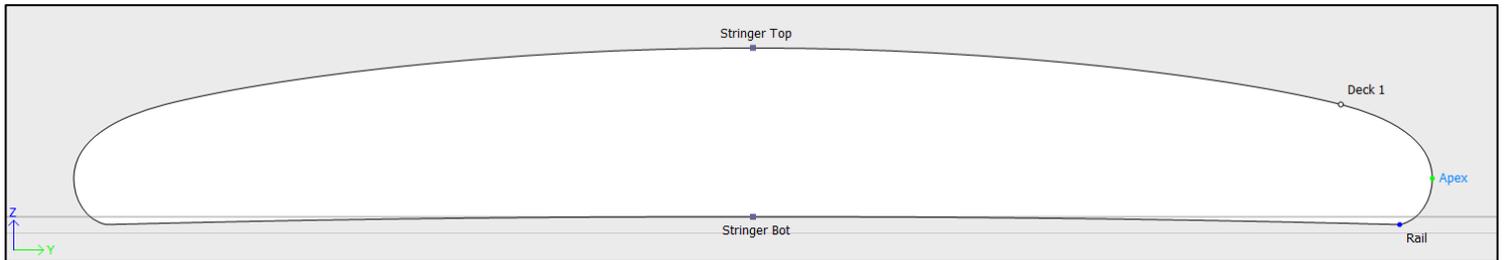


Figure 4 : définition des points de paramétrisation et visualisation sur le logiciel Shape3D X

Ainsi, les cinq points définis sur la coupe ci-dessus seront utilisés lors de la programmation de la section.

*SB : Stringer Bot*

*ST : Stringer Top*

```
*ETUDE EN FLEXION D'UN PLANCHE DE SURF
*
OPTION DIMENSION 3 ELEMENT TET4 TRAC OPEN DENS
0.02;

*CARACTÉRISTIQUES DES POINTS
*
* MAILLAGE D'UNE SECTION DE PLANCHE À PARTIR DE
5 POINTS MAÎTRES
*
X = X1 ;

P_SB = X1 Y_SB Z_SB ;
P_RAIL = X1 Y_RAIL Z_RAIL ;
P_APEX = X1 Y_APEX Z_APEX ;
P_DECK = X1 Y_DECK Z_DECK ;
P_ST = X1 Y_ST Z_ST ;
P_TOT = P_SB ET P_RAIL ET P_APEX ET P_DECK ET
P_ST ;
```

Les points relatifs à une section sont ici renseignés. Ils correspondent aux points définis sur la figure 4.

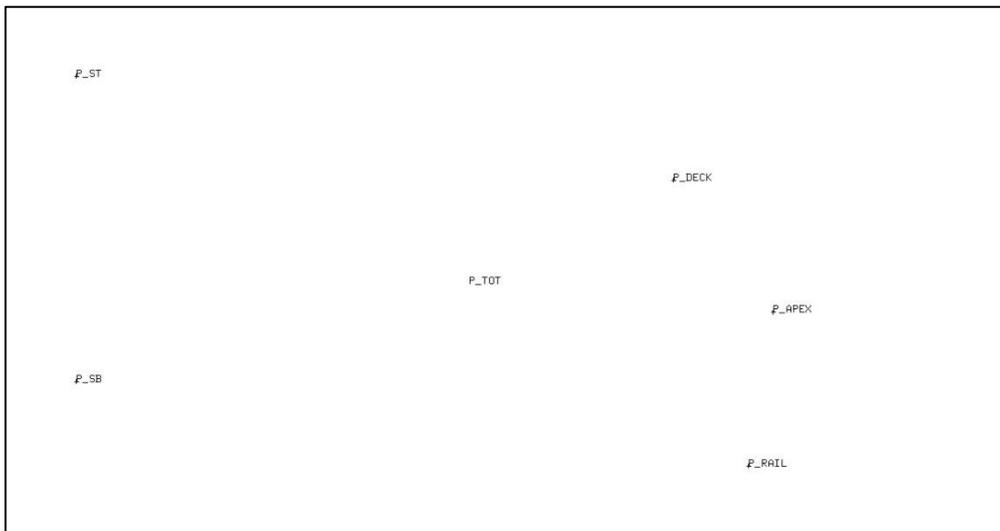


Figure 5 : obtention des différents points via CAST3M

Par la suite, ces différents points seront reliés par des arcs de paraboles, telle que l'intersection des tangentes en ces points soit un point spécifique. Ainsi, il est nécessaire de calculer la tangente en un point spécifique que l'on appellera P\_TAN afin d'utiliser cette méthode.

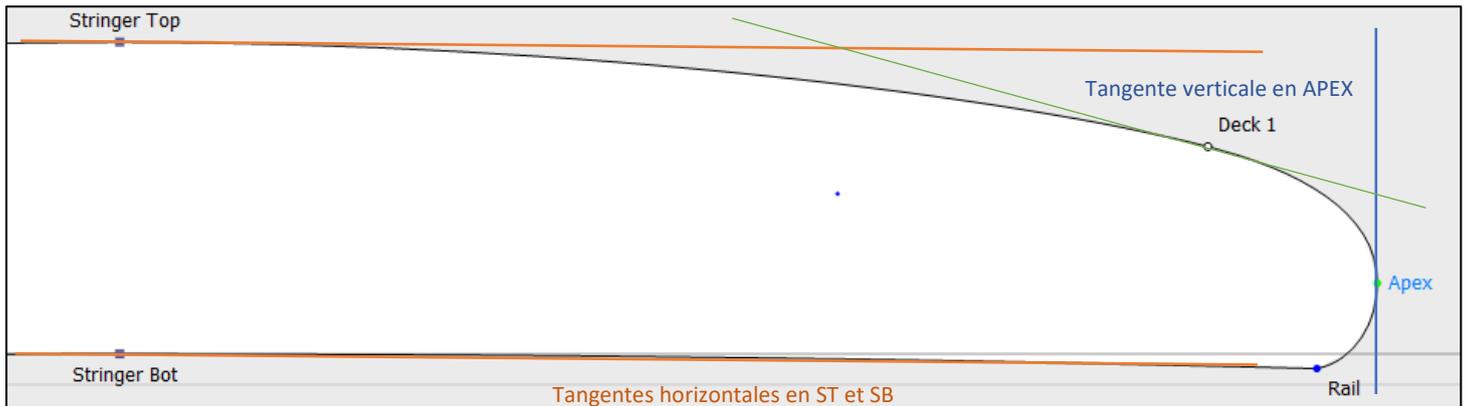


Figure 6 : définition des tangentes particulières via une visualisation sur le logiciel Shape3D X

La définition des tangentes particulières en ST, SB et APEX permettra de générer un segment en forme de parabole entre les points de notre paramétrisation.

```
* PARABOLE L1 DE TANGENTE HORIZONTALE EN P_SB
PASSANT PAR P_SB ET P_RAIL.
*
P_MIL1 =(P_SB PLUS P_RAIL)/2. ;
VEC_N1 = PVEC (P_RAIL MOINS P_SB) (1 0. 0.) ;
ZP_MIL1 = COORD 3 P_MIL1 ;
ZP_SB = COORD 3 P_SB ;
ZVEC_N1 = COORD 3 VEC_N1 ;
P_TAN1 = P_MIL1 PLUS ((ZP_SB - ZP_MIL1)*
VEC_N1/ZVEC_N1) ;
L1 = PARA 20 P_SB P_TAN1 P_RAIL ;
```

Pour tracer la parabole L1 passant par les points Stringer Bot et Rail, trois points sont nécessaires, à savoir : P\_SB, P\_Tan (qui est l'intersection des deux tangentes passant par nos points aux extrémités) et P\_Rail.

Toute la complexité est dans le calcul des coordonnées de P\_TAN :

- Déterminer tout d'abord les coordonnées du point P\_MIL se trouvant au milieu du segment [P\_SB P\_RAIL].
- Définir ensuite le vecteur orthogonal au plan formé par la droite des x et la droite (P\_SB P\_RAIL), celui-ci sera notre vecteur directeur pour trouver le point P\_TAN en partant de P\_MIL.

Les coordonnées Z sont ensuite extraites, puis il est nécessaire de définir le point P\_MIL à equi-distance des points de paramétrisation.

Le vecteur normal au plan doit aussi être défini via l'opérateur PVEC, tout comme le point P\_TAN d'intersection des tangentes. Enfin, le vecteur doit être normé et l'opérateur PARA employé (utilisent les points d'extrémités et de croisement des tangentes) afin de générer un arc de parabole.

Par la suite, en répétant cette méthode entre les points P\_ST et P\_DECK, P\_RAIL et P\_APEX, la géométrie de la planche est obtenue. Cependant, entre les points P\_DECK et P\_APEX, aucune tangente particulière est présente, il faut donc utiliser une autre méthode.

```

*PARABOLE DE TANGENTE VERTICALE EN P_APEX PASSANT
PAR P_APEX ET P_DECK AVEC CONTINUITÉ DE TANGENTE
*
YP_TAN3 = COORD 2 P_APEX ;
*
*COEFFICIENT DIRECTEUR DE LA DROITE PASSANT PAR
PTAN3 ET P_DECK
*
ZP_DECK = COORD 3 P_DECK ;
ZP_TAN4 = COORD 3 P_TAN4 ;
YP_DECK = COORD 2 P_DECK ;
YP_TAN4 = COORD 2 P_TAN4 ;
*
M = (ZP_DECK - ZP_TAN4)/(YP_DECK - YP_TAN4) ;
*
*ORDONNÉE À L'ORIGINE DE LA DROITE PASSANT PAR
PTAN3 ET P_DECK
*
P = ZP_DECK - (M*YP_DECK) ;
*
ZP_TAN3 = (M * YP_TAN3)+ P ;
*
* TRACÉ DE LA COUPE VERTICALE
*
P_TAN3 = X YP_TAN3 ZP_TAN3 ;
L3 = PARA 20 P_APEX P_TAN3 P_DECK ;

```

L'objectif est ici de déterminer les coordonnées du point P\_TAN situé à l'intersection des tangentes de nos deux points d'extrémité.

Nous connaissons sa coordonné Y car il est situé sur la tangente verticale en P\_APEX.

Pour trouver sa coordonnée Z, l'équation de la droite tangente est définie en P\_DECK et obtenue grâce aux coordonnées des points P\_DECK et P\_TAN4 (calculé pour dessiner la parabole passant par P\_ST et P\_DECK).

La tangente est une droite affine de coefficient directeur M et d'ordonnée à l'origine P.

L'intersection des deux tangentes se trouve alors à Z(YP\_TAN3).

Une fois le point P\_TAN3 défini nous n'avons plus qu'à tracer notre parabole.

Enfin, la géométrie globale d'une section est obtenue et peut être tracée.

```

P_TANTOT = P_TAN1 ET P_TAN2 ET P_TAN3 ET P_TAN4 ;
LTOT = L1 ET L2 ET L3 ET L4 ;
s1=DALLER L1 (L2 ET 13) L4 L5 ;

```

L'opérateur DALLER permet de générer des surfaces homéomorphes, avec un nombre de points égal entre les différentes sections.

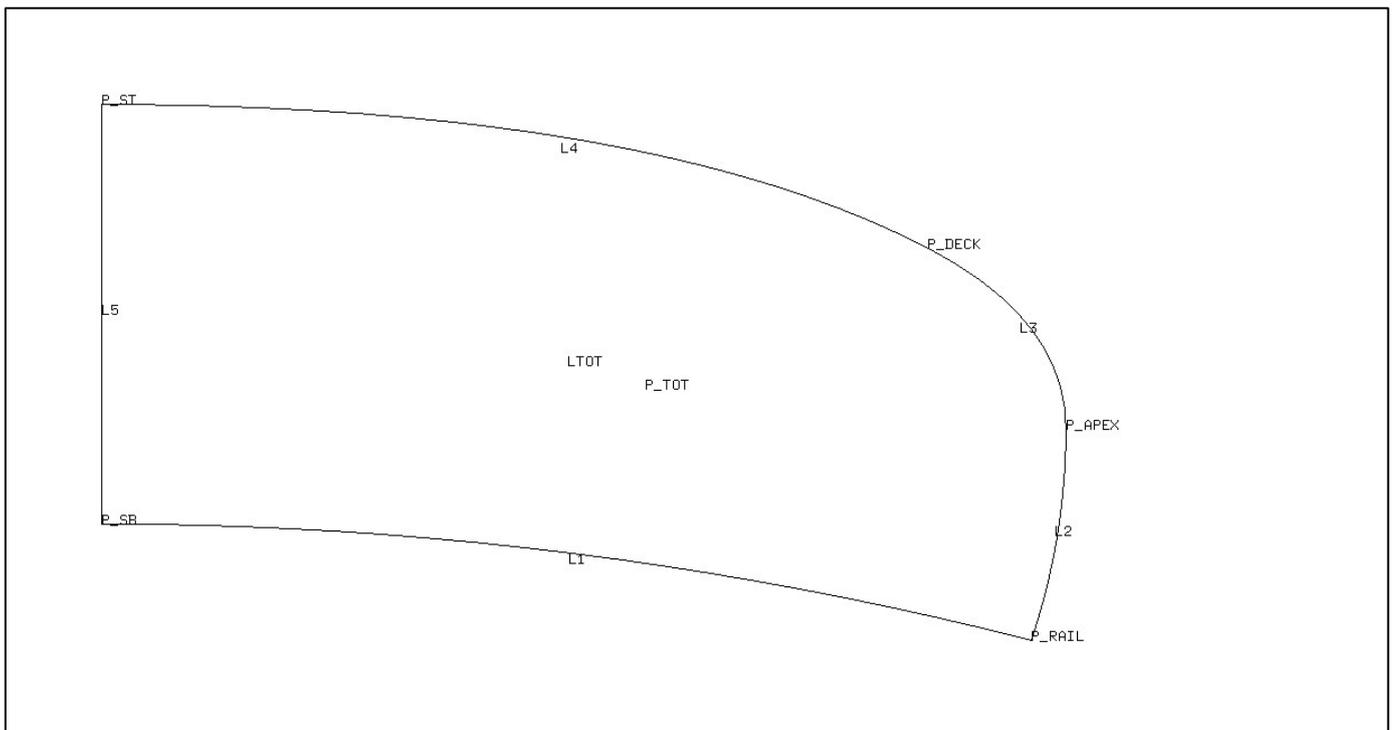


Figure 7 : géométrie d'une demi-section obtenue par la méthode des tangentes sur CAST3M

## Obtention du demi volume via une boucle

En répétant cette méthode sur différentes sections, des géométries transversales sont obtenues et permettront le maillage global de la planche de surf.

### \*CARACTÉRISTIQUES DES POINTS

```
TAB1=LIRE CSV 'coupures_planche.csv' SEPA ',' LIGN;  
LISTX=TAB1 . 1;  
LISTY_SB=TAB1 . 2;  
LISTZ_SB = TAB1 . 3;  
LISTY_RAIL = TAB1 . 4;  
LISTZ_RAIL = TAB1 . 5;  
LISTY_APEX = TAB1 . 6;  
LISTZ_APEX = TAB1 . 7;  
LISTY_DECK = TAB1 . 8;  
LISTZ_DECK = TAB1 . 9;  
LISTY_ST = TAB1 . 10;  
LISTZ_ST = TAB1 . 11;
```

```
N1=DIME LISTX;  
REPETER BOU1 N1;
```

```
  X1=EXTR LISTX &BOU1;  
  Y_SB=EXTR LISTY_SB &BOU1;  
  Z_SB=EXTR LISTZ_SB &BOU1;  
  Y_RAIL=EXTR LISTY_RAIL &BOU1;  
  Z_RAIL=EXTR LISTZ_RAIL &BOU1;  
  Y_APEX=EXTR LISTY_APEX &BOU1;  
  Z_APEX=EXTR LISTZ_APEX &BOU1;  
  Y_DECK=EXTR LISTY_DECK &BOU1;  
  Z_DECK=EXTR LISTZ_DECK &BOU1;  
  Y_ST=EXTR LISTY_ST &BOU1;  
  Z_ST=EXTR LISTZ_ST &BOU1;
```

```
*  
* MAILLAGE D'UNE SECTION DE PLANCHE À PARTIR DE 5  
POINTS MAÎTRES  
*
```

```
  X = X1 ;
```

```
  P_SB = X1 Y_SB Z_SB ;  
  P_RAIL = X1 Y_RAIL Z_RAIL ;  
  P_APEX = X1 Y_APEX Z_APEX ;  
  P_DECK = X1 Y_DECK Z_DECK ;  
  P_ST = X1 Y_ST Z_ST ;  
  P_TOT = P_SB ET P_RAIL ET P_APEX ET P_DECK ET P_ST
```

```
;
```

```
  - - - - -
```

```
.
```

```
.
```

```
.
```

```
SI (&BOU1 NEG 1);  
  DX=X1 - X0;  
  SI ((&BOU1 ega 2) ou (&boul >EG (N1 - 2)));  
  N2=5;  
  SINON;  
  N2=(ENTIER (DX/1.e-2)) + 1;  
  FINSI;
```

```
  V1=VOLU N2 S0 S1;  
  titre 'coupe ' &boul;  
  trac v1 cach;  
  FINSI;
```

Un fichier CSV 'coupures\_planche.csv' contenant les coordonnées des points nécessaires à la réalisation de la demi-section est lu à partir de l'opérateur LIRE.

Par la suite, des LIST sont créées contenant des coordonnées X, Y ou Z d'un point, à différents endroits de la planche.

La boucle REPETER permet, dans ce code, de réaliser le demi-volume de notre planche par :

- Extraction successive des différentes coordonnées des 5 points nécessaires à la réalisation d'une demi-section variant suivant l'axe des X,
- Calcule via la méthode des tangentes des arcs de paraboles nécessaires à la création des surfaces de demi-sections,
- Création des volumes par tronçons entre deux demi-sections successives, qui formeront le volume global une fois regroupés,
- Paramétrisation de données qui seront utilisées afin de résoudre le problème de flexion.

*Le code est, à ce niveau, tronqué. La méthode des tangentes expliquée ci-dessus est ici utilisé.*

Ce premier « SI » permet de densifier notre maillage horizontalement en réduisant le pas entre les sections transversales. Cela a permis de solutionner une erreur présente lors du calcul de la rigidité des éléments en bout de planche, là où ces derniers étaient des rectangles trop élancés. Hors des extrémités, la densité de ce maillage longitudinal est callée sur un pas de 1cm.

Les tronçons de volume sont ensuite créés entre deux surfaces successives avec une densité de maillage égale à N2.

|  |   |
|--|---|
| <pre> SI (&amp;BOU1 EGA 1);   XINI = X1;   P_APEXTAIL = P_APEX ;   P_STTAIL = P_ST ; FINSI;  SI (&amp;BOU1 EGA 2);   VTOT=V1; FINSI;  SI (&amp;BOU1 EGA 12);   LMIL_INI = L4; FINSI;  SI (&amp;BOU1 EGA 13);   LMIL_FIN = L4;   SMIL = REGLER N2 LMIL_INI LMIL_FIN;  FINSI;  SI (&amp;BOU1 &gt; 2);   VTOT=VTOT ET V1; FINSI;  S0=S1; X0=X1;  FIN BOU1; </pre> | <p>Ce second « SI » permet d'extraire des données et des points appartenant au tail (première boucle) qui seront utilisés pour définir les conditions limites.</p> <p>Ce troisième « SI » permet d'initialiser VTOT qui correspond au premier tronçon de demi-volume.</p> <p>Les deux « SI » suivants sont utilisés pour créer la surface centrale d'application de la pression générant la flexion.</p> <p>Ce dernier « SI » permet de générer le volume total VTOT par regroupement des tronçons de volume.</p> |
|--|---|

La suite du code est dédiée à l'inversion de la demi-planche, dont il faut tracer le symétrique par rapport au plan de la latte centrale. Cela permet principalement de construire le volume GEOTOT total de la planche.

|   |   |
|---|---|
| <pre> *TRACÉ DES SYMÉTRIQUES * PS1 = 0. 0. 0.; PS2 = 1. 0. 0.; PS3 = 0. 0. 1.;  VTOTINV = VTOT SYME PLAN PS1 PS2 PS3; SMILINV = SMIL SYME PLAN PS1 PS2 PS3;  *ON RECUPÈRE LES SYMÉTRIQUE DE P_APEX AU TAIL ET NOSE POUR LES CL P_APEXTAILINV = P_APEXTAIL SYME PLAN PS1 PS2 PS3; P_APEXNOSEINV = P_APEX SYME PLAN PS1 PS2 PS3;  SMILTOT = SMIL ET SMILINV; ELIM SMILTOT 1.E-6; SMILTOT = SMILTOT COULEUR ROUGE;  GEOTOT = VTOTINV ET VTOT ; ELIM GEOTOT 1.E-6; </pre> | <p>Définition du plan de symétrie par construction des points Ps. Ainsi, via l'opérateur INVERSER, l'ensemble des éléments précédemment construits pour une demi-planche est symétrisé le long du PS1 PS2 PS3.</p> <p>L'opérateur ELIM permet de supprimer tous les doublons créés appartenant au plan de symétrie.</p> |
|---|---|

Différents matériaux composent cette planche de surf et leurs domaines d'application doivent être définis.

```
*OPTENTION DE LA LATTE
*
ENV1=ENVE VTOT;
CH1=MANU CHML ENV1 SCAL 1;
Y = COORD 2 CH1;
LATTE=Y ELEM EGAL 0. STRICT;
*
*OPTENTION DE LA FIBRE
*
FIBRE = ENVE GEOTOT;

FIBRE1 = CHAN FIBRE TRI3;
ELIM FIBRE1 0.000001;
```

La latte est le noyau de la planche appartenant au plan de symétrie  $Y=0$ .

Elle est obtenue en utilisant l'enveloppe (ENVE) du volume total d'une demi- planche VTOT, dans lequel un champ par élément est créé. Dans ce champ, seuls les éléments dont la coordonnée Y égale 0 (domaine visé) sont sélectionnés afin de générer la latte.

La fibre est obtenue en générant une enveloppe du volume de la planche (ENVE).

Les éléments de maillage obtenus sont des tétraèdres qui doivent être transformés en triangle pour le bon déroulement des calculs.

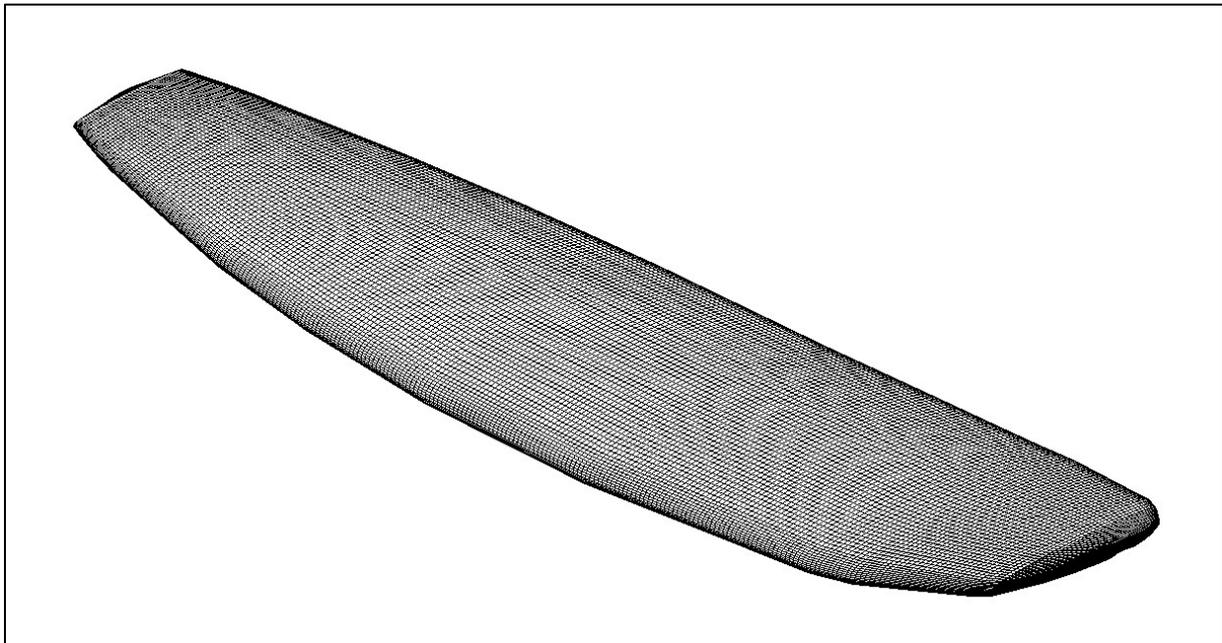


Figure 8 : géométrie et maillage de la planche de surf via le code sur logiciel CAST3M

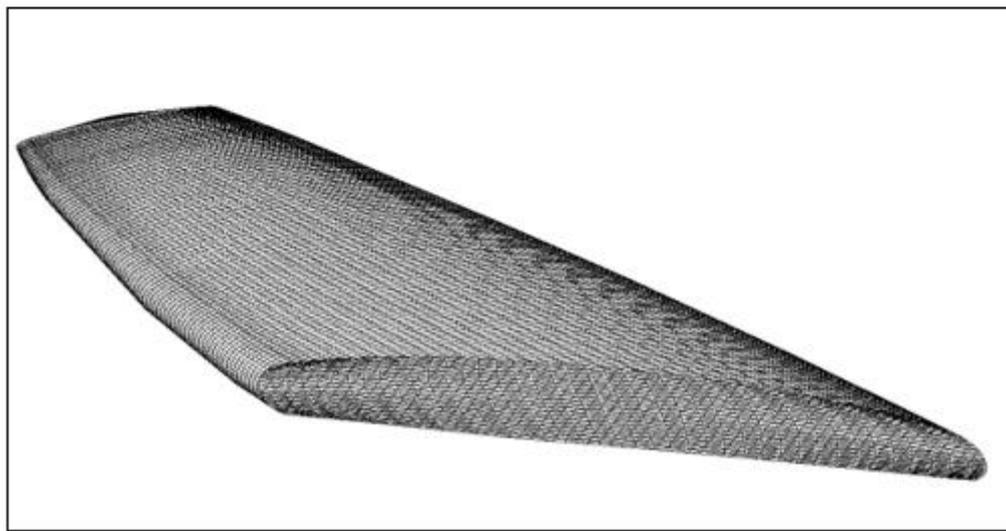
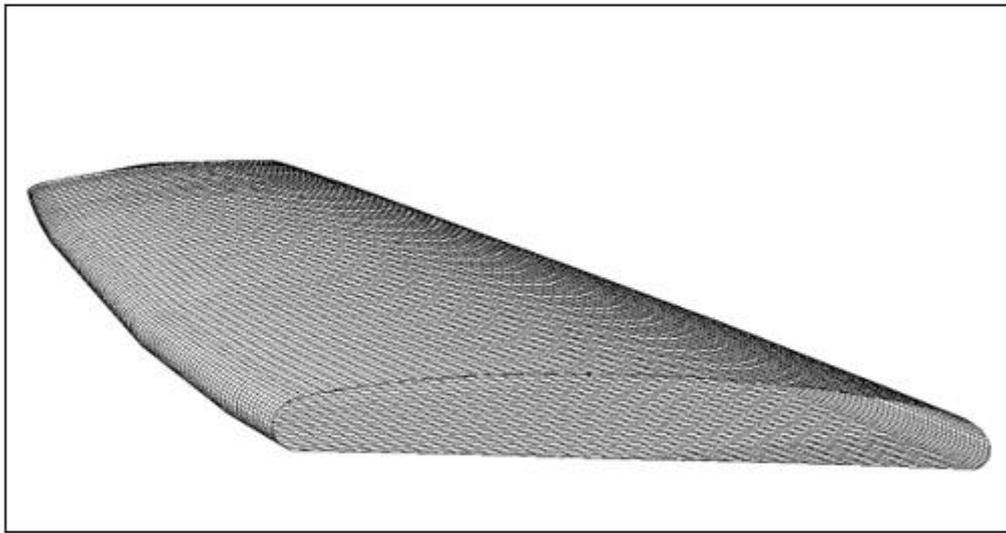
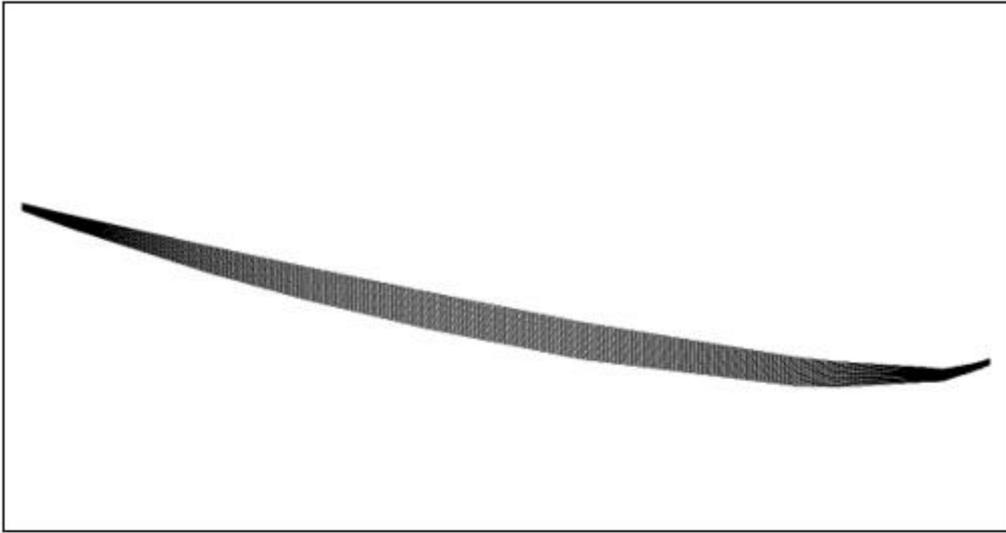


Figure 9 : de bas en haut, la latte, l'enveloppe et le volume interne

## Définition des matériaux composants la planche

Par la suite, les matériaux composants les volumes peuvent être renseignés.

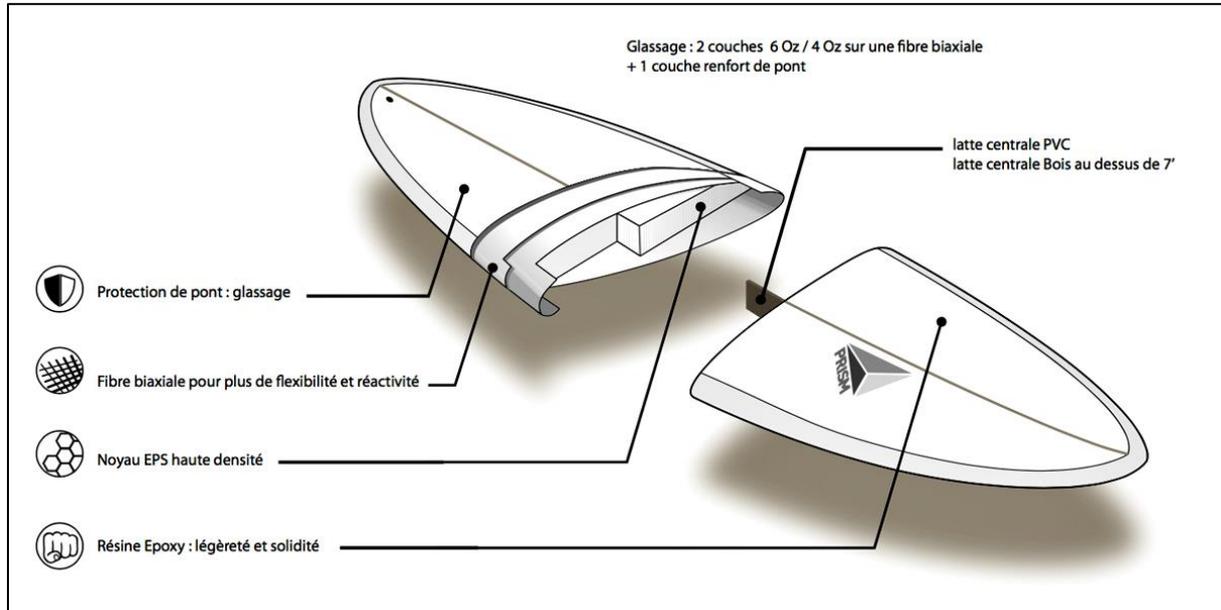


Figure 10 : composition complète des matériaux d'une planche de surf

Ainsi, notre planche de surf est composée d'une latte en bois d'une épaisseur de 5mm, d'un volume en mousse haute densité et d'une couche de fibre époxy de 2mm.

### \*CRÉATION DES MATÉRIAUX

\*

```
MODEPOXY = MODE FIBRE1 MECANIQUE ELASTIQUE COQ3 ;
MATEPOXY = MATE MODEPOXY 'YOUN' 25.0E9 'RHO' 1900
'EPAI' 2.0E-3 'NU' 0.4;
```

```
MODBOIS = MODE LATTE MECANIQUE ELASTIQUE COQ4;
MATBOIS = MATE MODBOIS 'YOUN' 4E9 'RHO' 210 'EPAI'
5.0E-3 'NU' 0.2;
```

```
MODPSE = MODE GEOTOT MECANIQUE ELASTIQUE ;
MATPSE = MATE MODPSE 'YOUN' 0.24E9 'RHO' 30 'NU'
0.35;
```

```
MOTOT = MODEPOXY ET MODBOIS ET MODPSE;
MATOT = MATEPOXY ET MATBOIS ET MATPSE;
```

```
PLSURF = GEOTOT ET LATTE ET FIBRE1;
ELIM PLSURF 1E-6; *
```

Dans un premier temps, les modèles mécaniques des matériaux sont définis via l'opérateur MODE.

Dans un second temps, les caractéristiques mécaniques des matériaux sont définies via l'opérateur MATE et les indications 'YOUN', 'RHO', 'EPAI', 'NU' permettant d'indiquer successivement le module de Young du matériau, sa densité, son épaisseur et son coefficient de Poisson.

# ESSAIS MECANIQUES SUR LA PLANCHE

## Définition des conditions limites

|  |   |
|--|---|
| <pre>*OPTENTION DES SURFACES AUX EXTREMITES POUR LES BLOQUER (CONDITIONS LIMITES) * CH2=MANU CHML FIBRE SCAL 1; X=COORD 1 CH2; ETAILE = X ELEM EGAL XINI; ENOSE = X ELEM EGAL X1;  * *CONDITIONS LIMITES * *ON BLOQUE LES SURFACES EN UZ * CL11 = BLOQ ETAILE UZ; CL21 = BLOQ ENOSE UZ; * *ON BLOQUE P_APEXTAIL SUIVANT UY * CL12 = BLOQ P_APEXTAIL UY; * *ON BLOQUE P_STTAIL ET P_SB SUIVANT UX * CL14 = BLOQ P_STTAIL UX; CL15 = BLOQ P_SB UX;</pre> | <p>Suivant la même procédure de création de la latte, les surfaces maillées des extrémités (tail et nose) sont récupérées.</p> <p>Les surfaces sont ensuite bloquées suivant l'axe Z.</p> <p>Différents points sont par la suite bloqués pour générer les conditions limites.</p> |
|--|---|

## Application de la charge et résolution du système

|  |   |
|--|---|
| <pre>*APPLICATION D'UNE CHARGE VERTICALE * PRESS1 = -1E3*2.0E-3; SMILTOT = ORIE SMILTOT (0. 0. 1.); MOD1= MODE SMILTOT MECANIQUE ELASTIQUE COQ3 ;  F1 = PRES COQU MOD1 PRESS1 'NORM'; *TRAC (VECT F1 FX FY FZ) SMILTOT;  * *RIGIDITÉ * RIGTOT = RIGI MOTOT MATOT; RITOT = RIGTOT ET CL11 ET CL12 ET CL15 ET CL14 ET CL21;*</pre> | <p>Une pression correspondant au poids propre d'une personne (1000 N) est appliquée sur la surface SMILTOT (milieu de la planche). Un modèle associé à SMILTOT est créé suivant la loi élastique en considérant une coque mince polynôme incomplet en flexion (COQ3).</p> <p>L'opérateur PRES permet d'appliquer la pression.</p> <p>Pour que notre calcul soit réalisé, le souci d'orientation de la surface SMILTOT a dû être résolu.</p> <p>La rigidité de l'ensemble des éléments est calculée via l'opérateur RIGI et les conditions limites CL<sub>i</sub>.</p> |
|--|---|

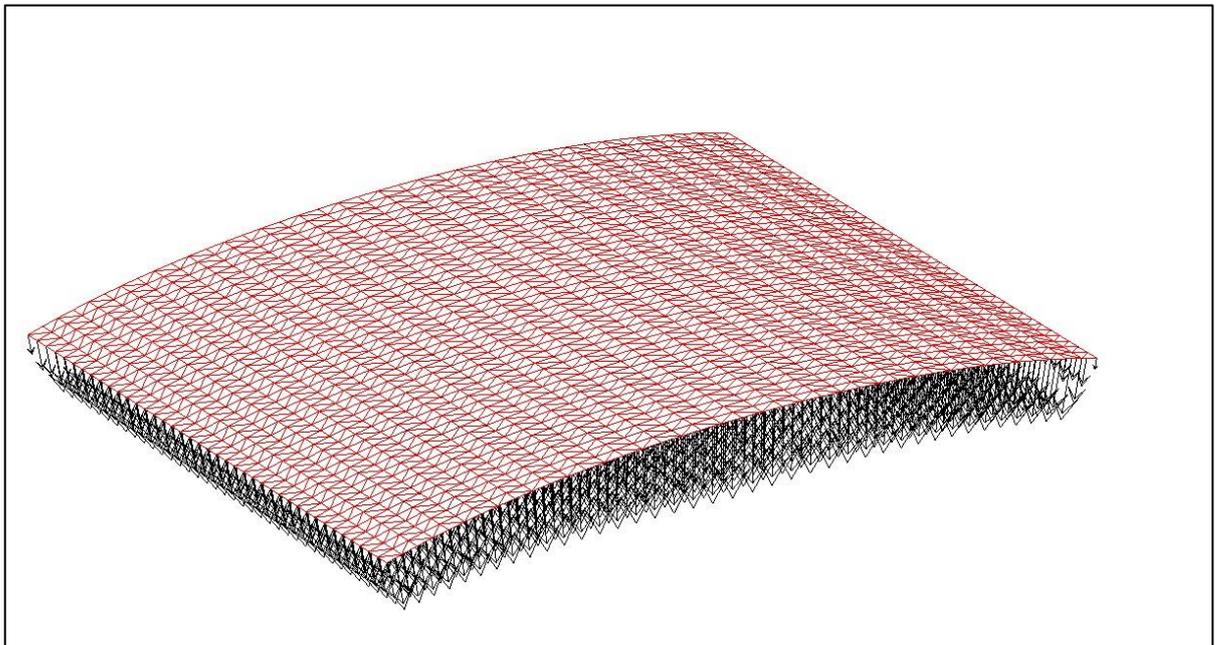
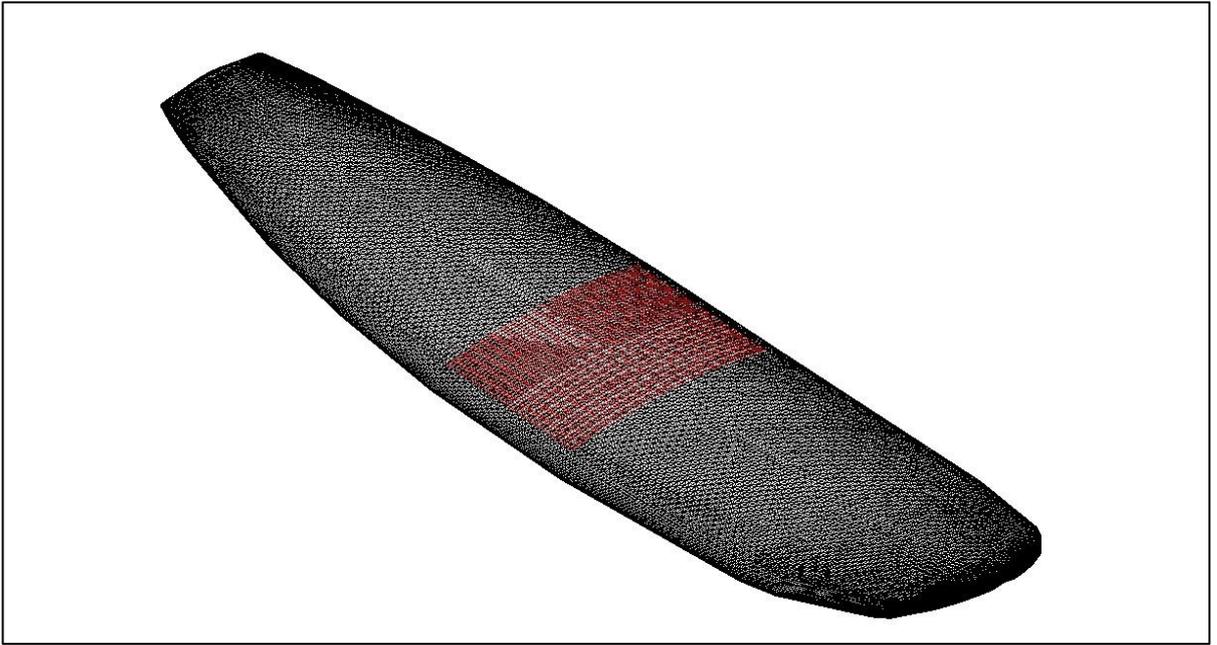


Figure 11 : surface d'application de la charge SMILTOT

## Tracé des déformées, déplacements et contraintes

```
*CALCUL DE LA DÉFORMÉE ET DE LA CONTRAINTE
*
DEP1 = RESOUD RITOT F1;
DEFTOT = DEFO PLSURF DEP1;
SIGTOT = SIGMA MOTOT MATOT DEP1;

AR1 = ARET PLSURF;
*
*VALEUR DES CONTRAINTES SUR LA PLANCHE
*
LCOU1 = PROG 0. PAS 100 1.5E3;
TRACER SIGTOT MOTOT MATOT AR1 LCOU1;
*
*VALEUR DES DÉPLACEMENTS SUR LA PLANCHE
*
TRACER DEP1 PLSURF AR1;
*
* TRACER LES DÉPLACEMENTS SUR LA DEFORMÉ
*
TRACER DEP1 DEFTOT AR1;
```

Les résultats obtenus sont tracés via la résolution linéaire du système (RESOUD) en fonction des rigidités, des forces appliquées et des conditions limites.

Les déformées des objets sont calculées via l'opérateur DEFO et le champ de contraintes via l'opérateur SIGMA.

Résultats de la modélisation

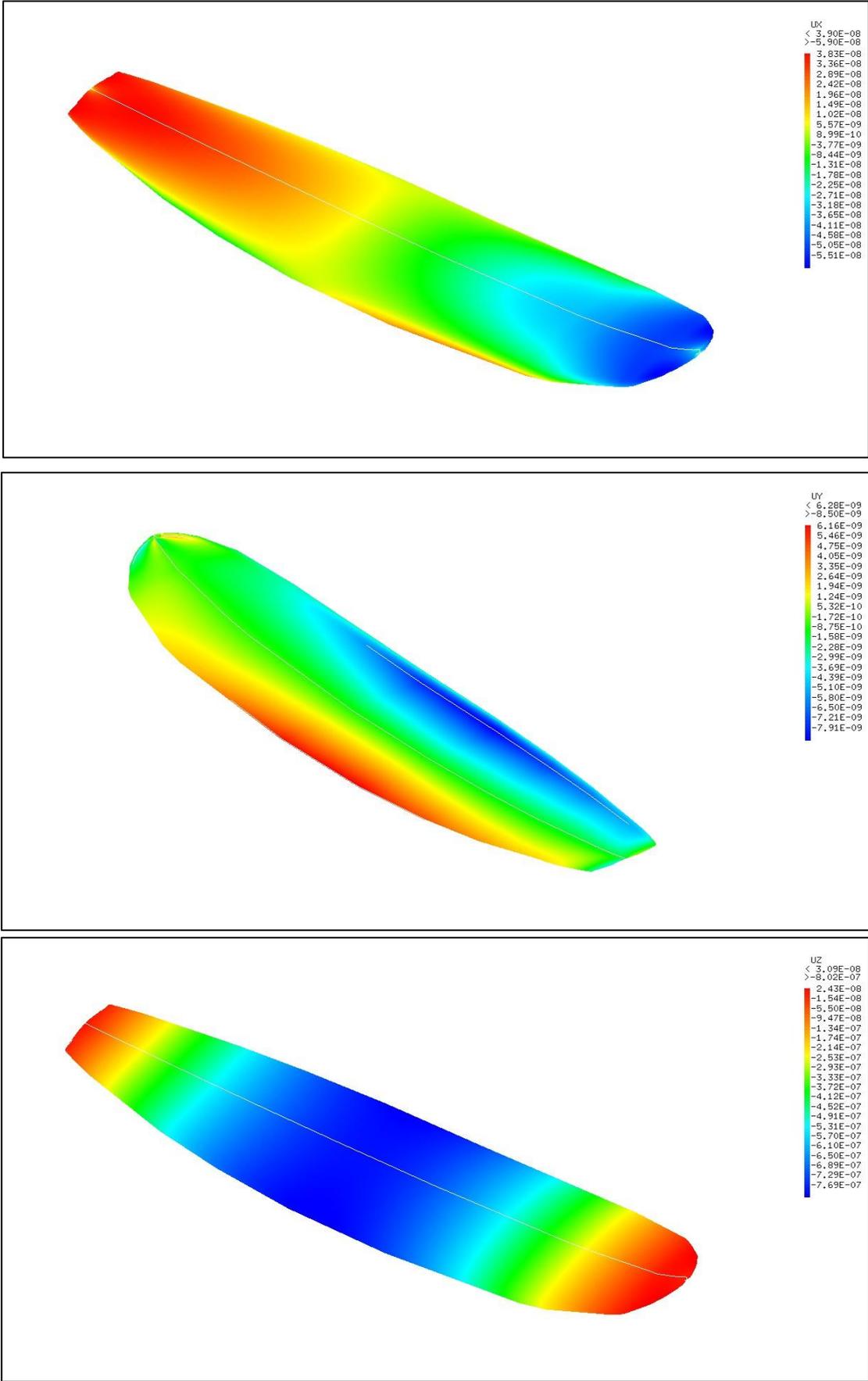


Figure 12 : Tracé des valeurs des déplacements suivant  $U_x$ ,  $U_y$  et  $U_z$

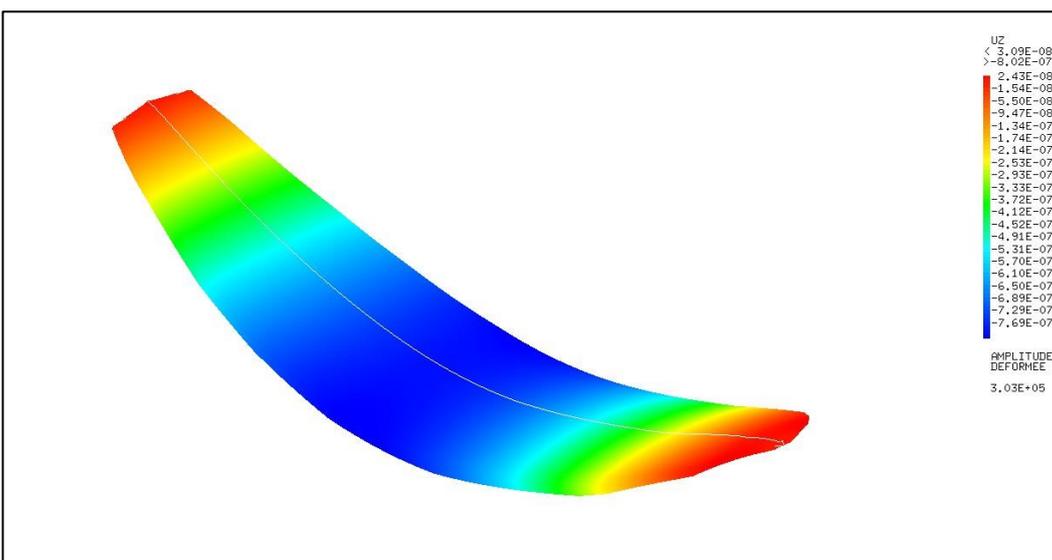
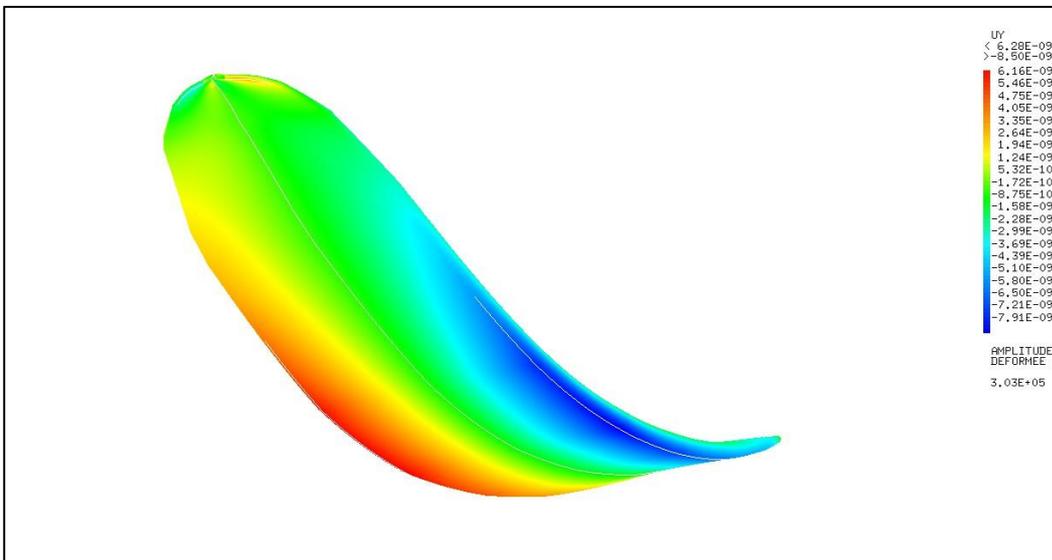
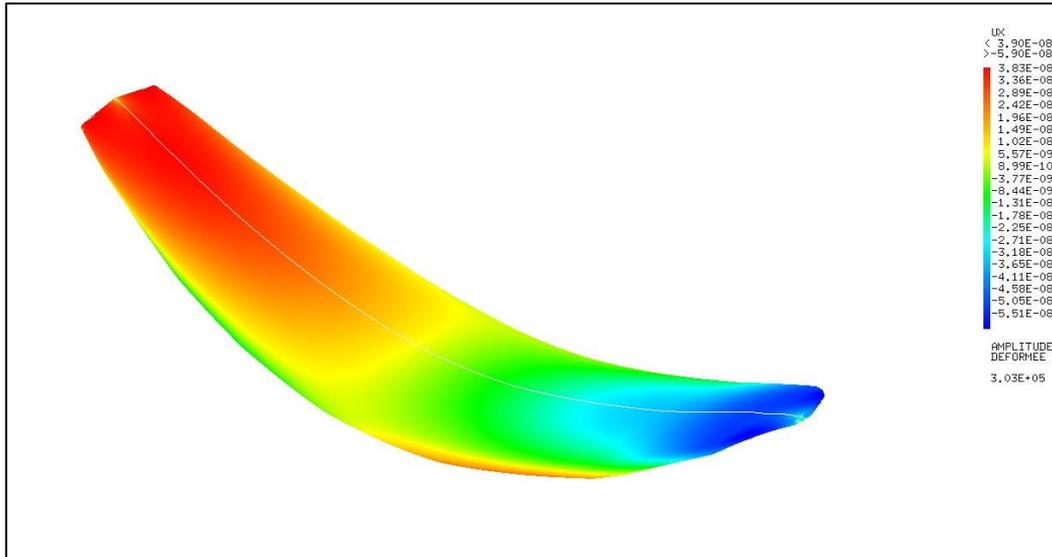


Figure 13 : Tracé des valeurs de déplacement sur la déformée suivant Ux, Uy et Uz

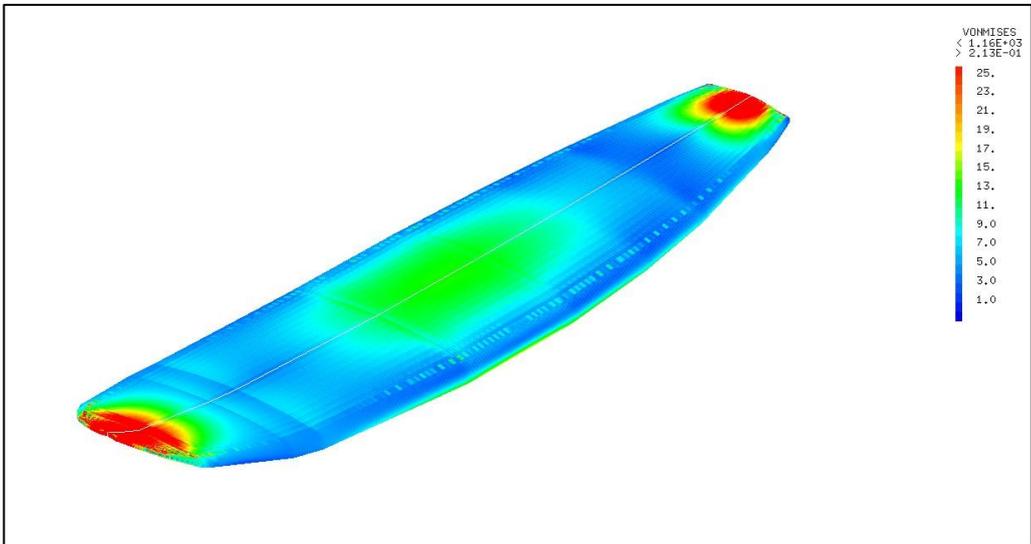
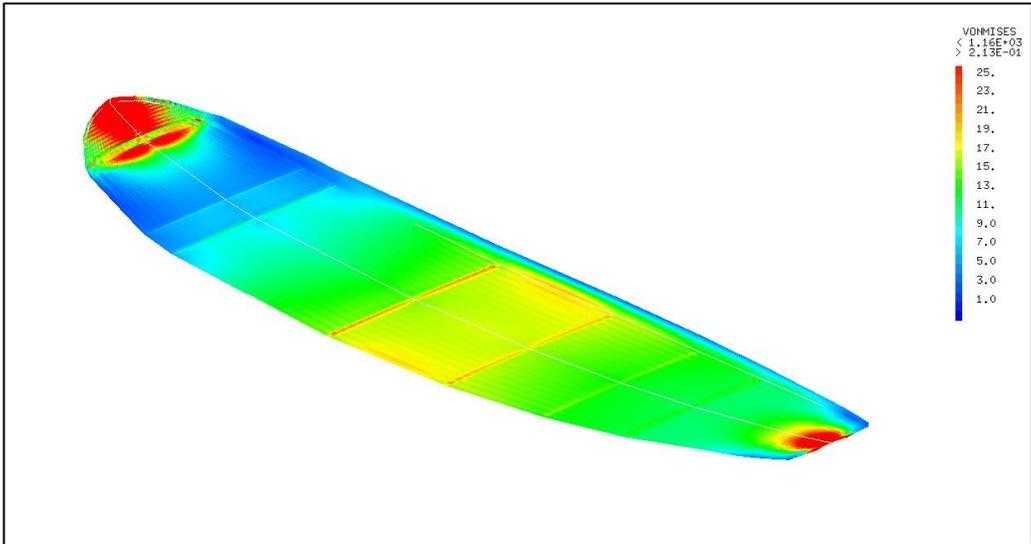


Figure 15 : Contrainte de von mises dans le cœur en PSE

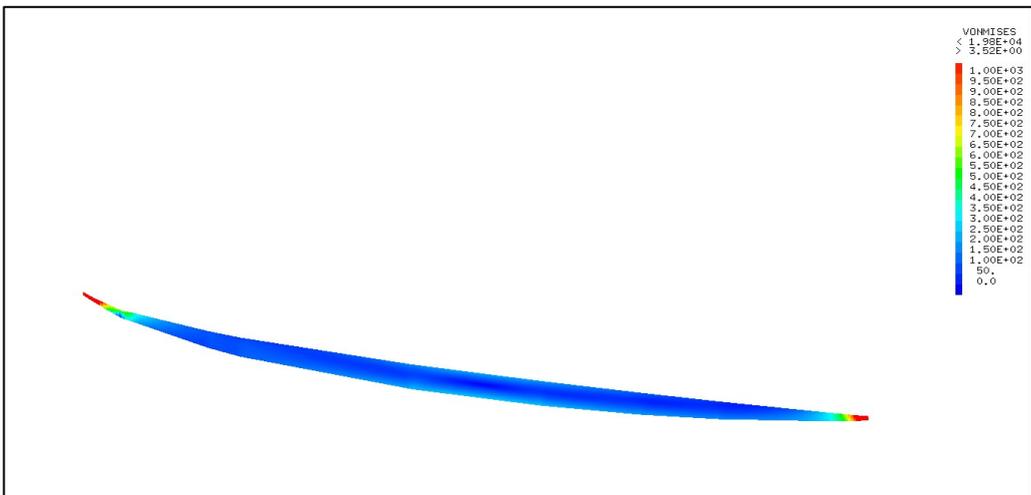


Figure 14 : Contrainte de von mises dans la latte en paulownia

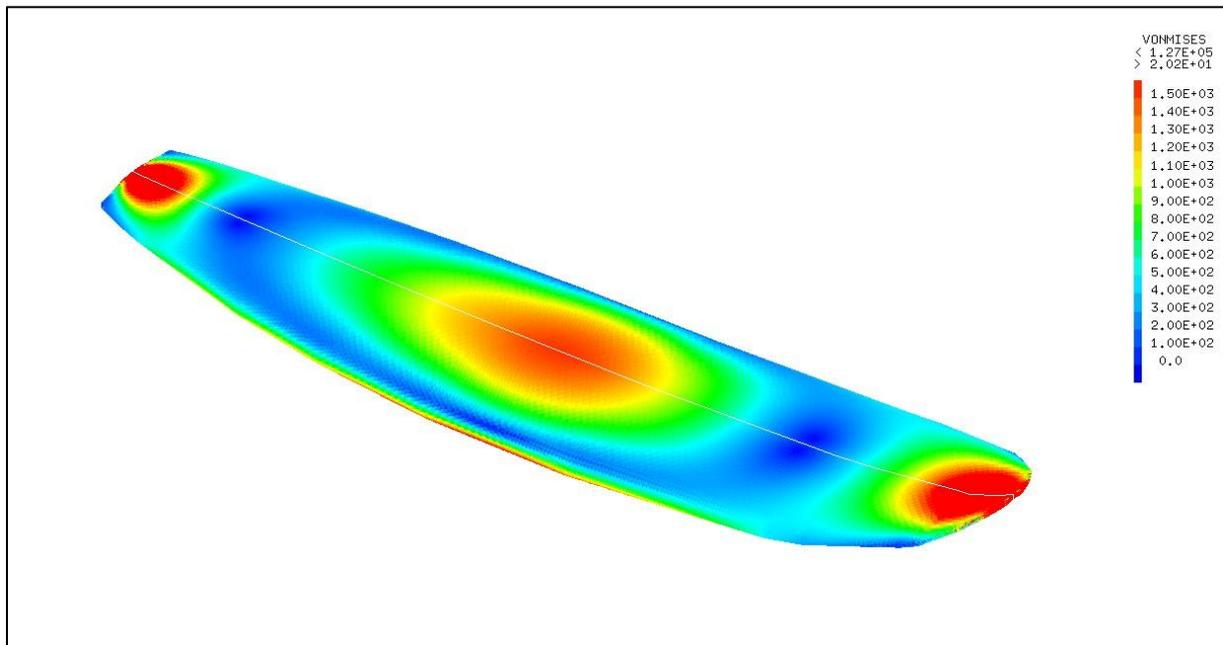


Figure 16 : Contrainte de von mises dans la stratification Epoxy - Fibre de verre

### Interprétation des résultats

L'allure de la déformée de la planche est cohérente vis-à-vis du chargement appliqué. Il semble toutefois que les valeurs de déplacements soient faibles comptes tenus des conditions aux limites de l'essai et de la charge appliquée en comparaison au comportement réel d'une planche. Il est possible que ces faibles valeurs soient le résultat d'une surface de chargement trop importante par rapport aux conditions réelles de chargement d'une planche sous l'action des pieds d'un surfeur.

En ce qui concerne les contraintes dans les différents matériaux, les grandes valeurs aux conditions limites dues aux encastremets masquent le comportement des matériaux dans le reste de la planche. Il a donc fallu réduire l'intervalle de valeurs affichées par des bornes afin d'observer l'allure des contraintes en tout point. L'allure des résultats semble toutefois cohérente avec des contraintes maximales aux encastremets et des maximums locaux plus faibles en travée au niveau de la zone de chargement. Les conditions aux limites choisies ne permettent cependant pas une bonne lecture de la distribution des contraintes dans la latte où les valeurs aux encastremets sont telles qu'il est impossible d'identifier les variations en travée avec une échelle de contraintes linéaire.

## CONCLUSION

La complexité géométrique de ce projet n'aura pas permis l'étude approfondie d'un cas réaliste de sollicitations de la planche dans le temps imparti. Il nous aura néanmoins permis de nous familiariser aux opérateurs du langage CATS3M pour la modélisation de géométries complexes. Les bases vues en cours ont aussi été réemployées pour un cas de chargement idéal de flexion 3 points bi-encastree pouvant se rapprocher d'un essai de laboratoire.

Le modèle reste cependant fonctionnel et pourrait être réemployé pour un calcul plus réaliste en y intégrant des liaisons élastiques aux conditions limites et la transcription d'effets dynamiques.

GLOSSAIRE

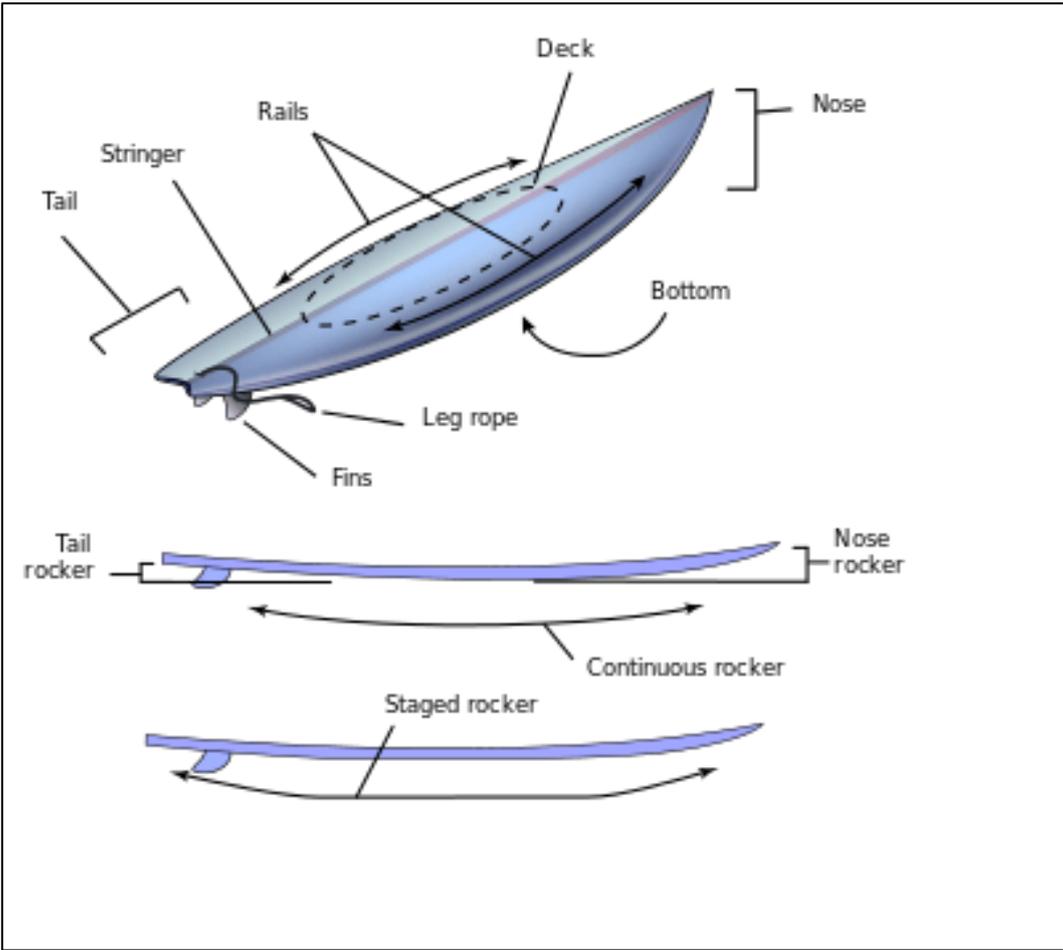


Figure 17 : les différents éléments et parties d'une planche de surf