

HOUSSIN Jérôme

Année 1996

# Graphisme Expression

RAPPORT DE STAGE  
LA SEYNE COMPOSITE

## SOMMAIRE

SOMMAIRE .....	1
1 REMERCIEMENTS .....	3
2 PRESENTATION DE L'ENTREPRISE .....	4
2.1 HISTORIQUE .....	4
3 PRESENTATION DU RAPPORT DE STAGE .....	5
4 LE PRODUIT .....	6
4.1 HISTORIQUE DU PRODUIT .....	6
4.2 LE CAHIER DES CHARGES .....	6
4.3 LES TECHNOLOGIES .....	7
5 LA FABRICATION .....	10
5.1 PRINCIPES .....	10
5.2 PRESENTATION DU PROCESS .....	10
SYNOPTIQUE DE FABRICATION .....	11
SYNOPTIQUE PLACAGE CARENE .....	12
SYNOPTIQUE PLACAGE PONT .....	13
SYNOPTIQUE POSE DES INSERTS .....	14
SYNOPTIQUE STRATIFICATION CARENE .....	15
SYNOPTIQUE STRATIFICATION PONT .....	16
5.3 SHAPE DES MOUSSES .....	17
5.4 PLACAGE CARENE .....	18
5.5 PLACAGE PONT .....	19
5.6 POSE DES INSERTS .....	19
5.7 STRATIFICATION CARENE .....	20
5.8 STRATIFICATION PONT .....	21
5.9 FINITIONS .....	22
6 RAPPORT D'ACTIVITE .....	23
7 GLOSSAIRE .....	24
8 ANNEXE 1 : LES RESINES .....	26
8.1 TYPES DE RESINES .....	26
8.3 CARACTERISATION DES RESINES .....	26
8.4 EMPLOIS DES RESINES .....	27
9 ANNEXE 2 : LA VISCOSITE .....	28
10 ANNEXE 3 : LES CHARGES .....	30
10.1 CHARGES UTILISEES .....	31
10.3 PREPARATION DES RESINES CHARGEE .....	31
10.3 DENSITE DE RESINE CHARGEE .....	32
10.4 RESISTANCE EN COMPRESSION DE RESINE CHARGE .....	33
11 ANNEXE 4 : LES RENFORTS .....	34
11.1 LES FIBRES .....	34
11.2 LES TISSUS .....	34
12 ANNEXE 5 : LES SANDWICHS .....	35
12.1 REPRESENTATIONS DES CONTRAINTES MECANIQUES .....	36
12.2 INFLUENCE DE L'EPAISSEUR DU PLACAGE .....	37

## 1 REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier toute l'équipe de La Seyne Composite pour leur aide précieuse et leur bonne humeur ainsi que mes parents pour l'attention qu'ils portent à mon travail.

## 2 PRESENTATION DE L'ENTREPRISE

### 2.1 HISTORIQUE

La Seyne Composite est une jeune entreprise créée en 1995 sur le site des anciens ateliers de FANATIC France dans la zone industrielle marépolis à la Seyne-sur-Mer.

Le capital de cette SARL s'élève à 139 KFr.

La Seyne Composite produit principalement les planches à voile de la marque Swell Expression en collaboration directe avec des coureurs internationaux tels que Nick Backer (vice champion du monde 1995). La production s'élève environ à 20 flotteurs customs par mois. Cette production, quasiment confidentielle est destinée aux professionnels et aux amateurs de haut niveau partout dans le monde (France, Espagne, Maroc, Allemagne, Brésil...).

La Seyne Composite sous-traite aussi des pièces techniques pour l'industrie nautique et tous types de pièces en composites.

Le personnel de l'entreprise est constitué de :

- 1 directeur
- 1 chef d'atelier/shapeur
- 2 ouvriers spécialisés (1 en stratification ; 1 en finition )

La fabrication est presque artisanale et diffère de la production de planche de série ; les outillages ne sont pas automatisés. C'est la qualification et l'expérience des employés qui assurent la qualité du produit final.

### 3 PRESENTATION DU RAPPORT DE STAGE

Ce rapport de stage a pour but d'étudier en détail le déroulement de la fabrication des funboards de compétition de la marque Swell Expression.

Il est cependant nécessaire de donner des limites à cette étude ; en effet la fabrication des flotteurs rassemble plusieurs catégories d'opérations :

- Le shape
- Les stratifications et les placages
- Les peintures et les finitions.

Le shape est une opération quasiment artistique et extrêmement précise, en effet chaque planche est définie par une dizaine de cotes seulement. Bien que l'opération peut être automatisée la découpe des mousses se fait la plupart du temps à la main, avec rabots et papiers de verre. Ce travail nécessite beaucoup d'expérience et de "feeling" ; il ne sera pas abordé dans le rapport.

Les stratifications et les placages, eux par contre formeront l'essentiel du rapport. Le procédé utilisé est complexe et sa description sera faite sur tout le chapitre 5, le choix des technologies sera expliqué aux paragraphes 4.3.

Pour une meilleure compréhension du procédé la fabrication est résumée sous forme de synoptiques au paragraphe 5.2 Présentation du process

Les finitions n'offrent pas un grand intérêt ; elles seront simplement décrites au paragraphe 5.9 néanmoins il faut préciser que la finition apporte l'essentiel de la valeur ajouté du produit.

## 4 LE PRODUIT

### 4.1 HISTORIQUE DU PRODUIT

Les débuts de la planche à voile se situeraient aux alentours de 1958, mais les premiers brevets datent de 1968.

C'est de cette époque que date la commercialisation de la première planche de série : la windsurfer. Celle-ci, en bois est lourde et chère. Depuis les planches ont constamment évolué.

Aujourd'hui il existe deux types de fabricants. D'un côté les grandes sociétés telles que BIC ou TIGA qui ont de grandes productions souvent délocalisées dans les pays asiatiques. De l'autre côté il y a de petites structures indépendantes proches des "spots" : les "shapeurs" ; La Seyne Composite est une de ces petites entreprises.

De même l'ensemble de la production est partagée en deux parties :

- les planches en "thermoformé" nécessitant de grandes infrastructures et bien adaptés aux productions de masse.
- les planches en P.S. stratifié cumulant tous les avantages sauf le prix.

### 4.2 LE CAHIER DES CHARGES

On peut définir un cahier des charges général très simple pour ces planches de compétition, ce qui va permettre de cerner avec précision les matériaux et les technologies à employer.

Les impératifs du matériel pour un sport aussi technique que le funboard sont simples. Il y a trois points:

- Légèreté (âme en mousse P.S. basse densité)
- Solidité (placages)
- Respect du scoop, Aspect

## 4.3 LES TECHNOLOGIES

### 4.3.1 STRATIFICATIONS SOUS VIDE

La stratification sous vide est une technique classique dans la mise en oeuvre des composites ; elle consiste à absorber toute la résine inutile d'une stratification. Le gain de poids est particulièrement conséquent.

Les tissus, imprégnés au contact, sont recouverts par : le tissu d'arrachage (qui va permettre le délamination du tissu absorbant), un film micro-perforé (qui en évitant la migration trop rapide de la résine dans le tissu absorbant permet une meilleure imprégnation des tissus) et le tissu absorbant.

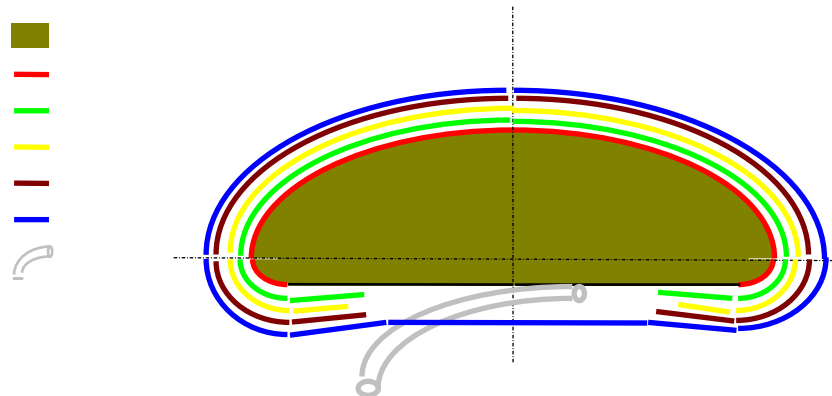
L'ensemble est inséré dans un sac étanche dans lequel on établit un vide partiel (de l'ordre de -0,3 à -0,6 bars). La pression exercée par la pression atmosphérique comprime la stratification, la résine est chassée à travers le tissu d'arrachage et le film micro-perforé dans le tissu absorbant.

Il est impératif d'effectuer toute ces opérations avant d'atteindre le temps de gel des résines, l'augmentation de leur viscosité pouvant gêner l'opération.

#### Schéma descriptif :

Le schéma représente la coupe transversale d'une stratification pont

- 1 Mousse à stratifier
- 2 Tissus imprégné
- 3 Tissus d'arrachage
- 4.Film micro-perforé
- 5 Tissu absorbant
- 6 Sac à vide
- 7 tuyau d'aspiration

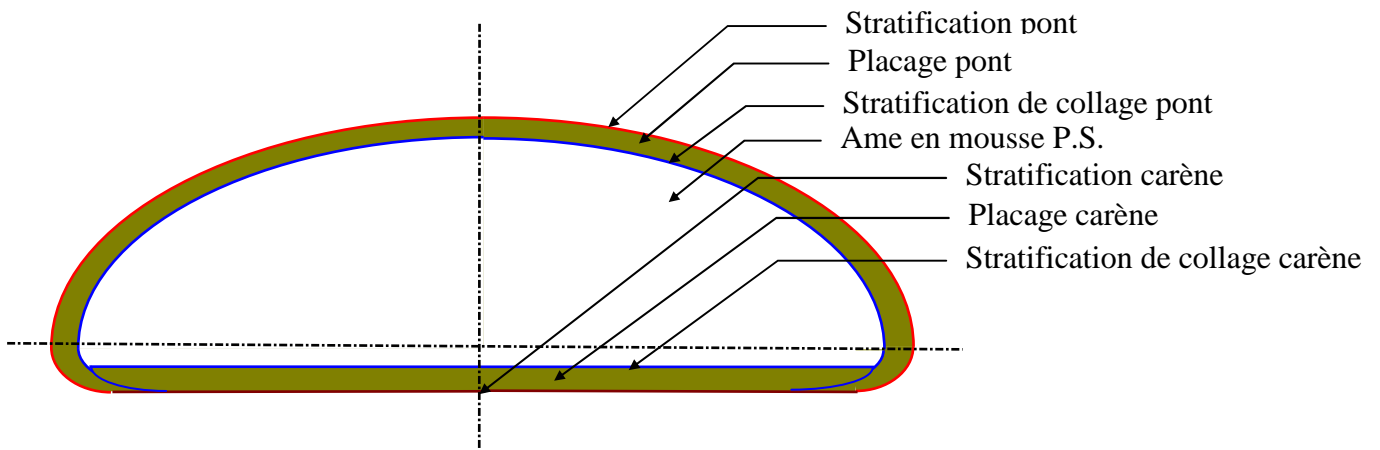


### 4.3.2 LES PLACAGES

La technique du placage est très ancienne on s'en sert en ébénisterie pour renforcer des bois tendres avec des bois plus durs et lourds collés en surface.

Le placage dans les applications étudiées est une feuille mousse de P.V.C collée sur la première stratification puis stratifiée à nouveau : on crée une structure sandwich qui permet de réduire les épaisseurs des peaux en composite.

Le gain de poids est important car on peut réduire la densité de la mousse qui sert d'âme au centre de la planche.

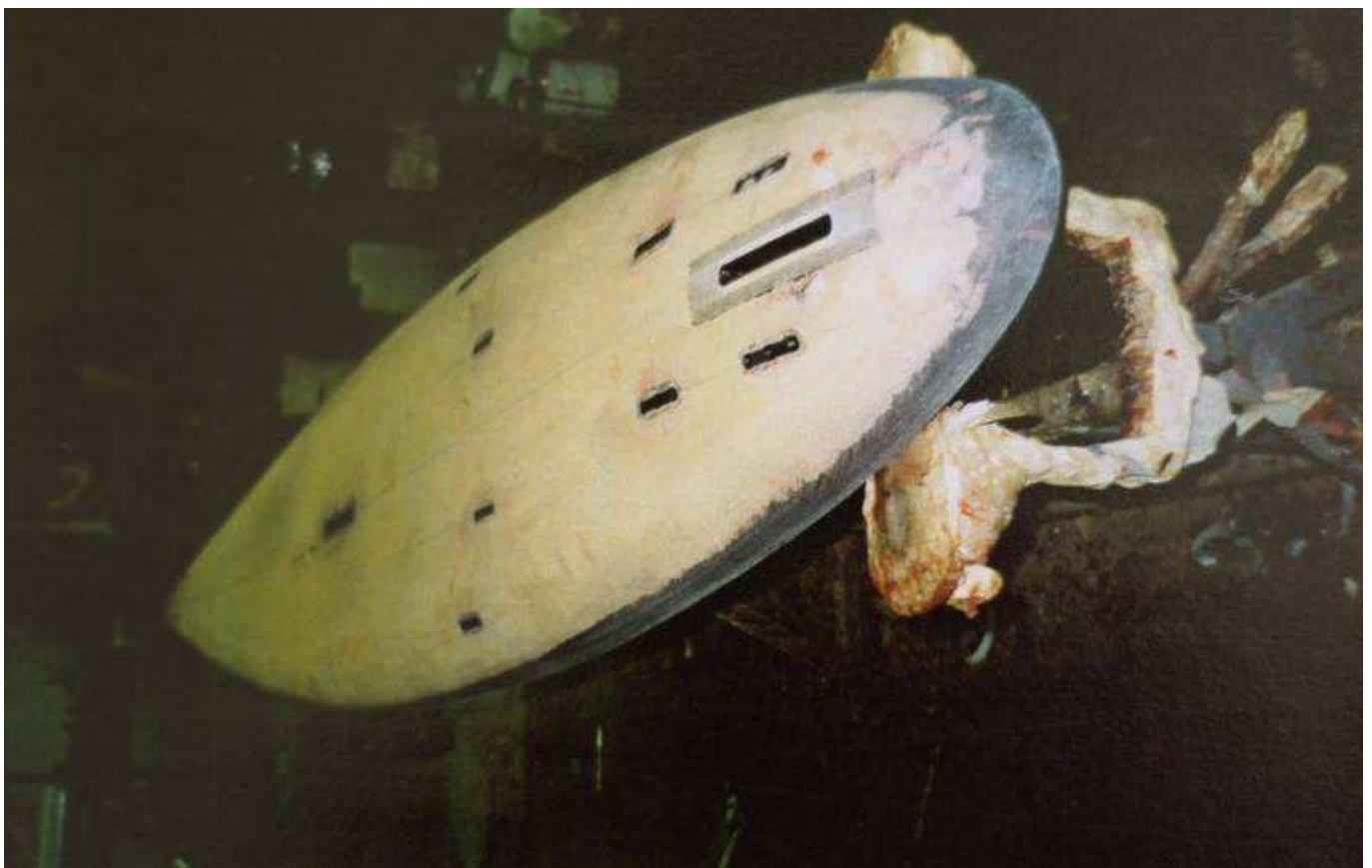
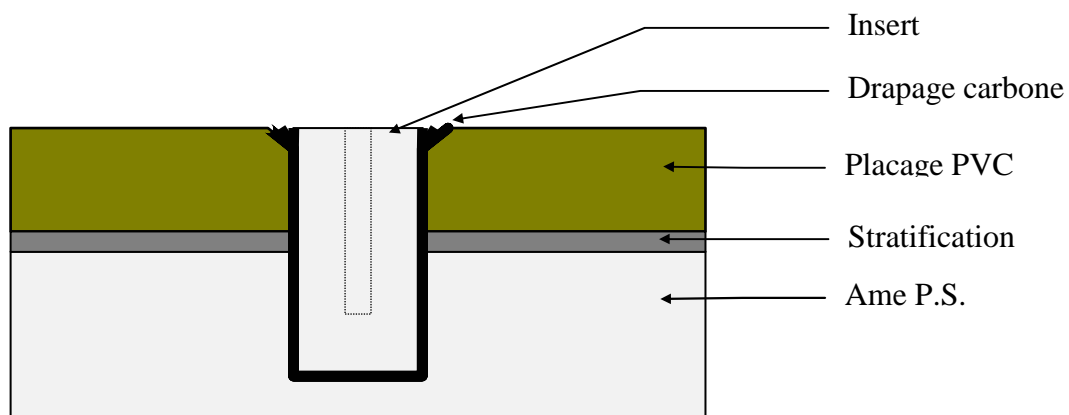


### 4.3.3 LES INSERTS

Les inserts ont plusieurs rôles essentiels :

- assurer l'étanchéité
- assurer l'orientation des éléments rapportés
- permettre le vissage des foot-straps.

Les inserts, injectés en thermoplastique sont drapés d'un tissu 190 gr carbone imprégné sur une bâche puis enfoncé en force dans une défonce à travers le placage. Ce qui dépasse est poncé et la planche est prête à passer à la stratification.



Tous les inserts sont posés. On peut remarquer au passage la stratification carène en carbone qui remonte sur le rail. Cette planche peut maintenant passer à la stratification pont.

## **5 LA FABRICATION**

### **5.1 PRINCIPES**

Il existe plusieurs règles de base pour l'utilisation des résines et la stratification des planches à voile :

- Lorsqu'une stratification est faite sur une mousse celle ci doit systématiquement être au préalable enduite de résine pour boucher la micro porosité et diminuer le risque de délaminage.
- L'usage du pistolet pour l'application des résines est à proscrire car il est alors impossible de maîtriser les quantités projetées.
- Les résines doivent être chargées avec des charges allégeantes pour les enduits sauf sur les rails où l'on utilise de la résine pure.
- Les stratifications ne doivent en aucun cas être poncées au risque de couper les tissus.
- Au cours des mises sous vide la dépression doit être surveillée ; en effet il y a un risque de dégradation des mousses P.S. à cause de l'exothermie de la résine et donc d'effondrement de la structure.
- Quel que soit l'opération on ne doit pas dépasser le temps de gel du premier mix réalisé avant de mettre sous vide. Or les funboards mesurent entre 2m50 et 4m de longueur et autour de 50 cm de largeur cela fait des surfaces importantes à enduire et à stratifier.

### **5.2 PRESENTATION DU PROCESS**

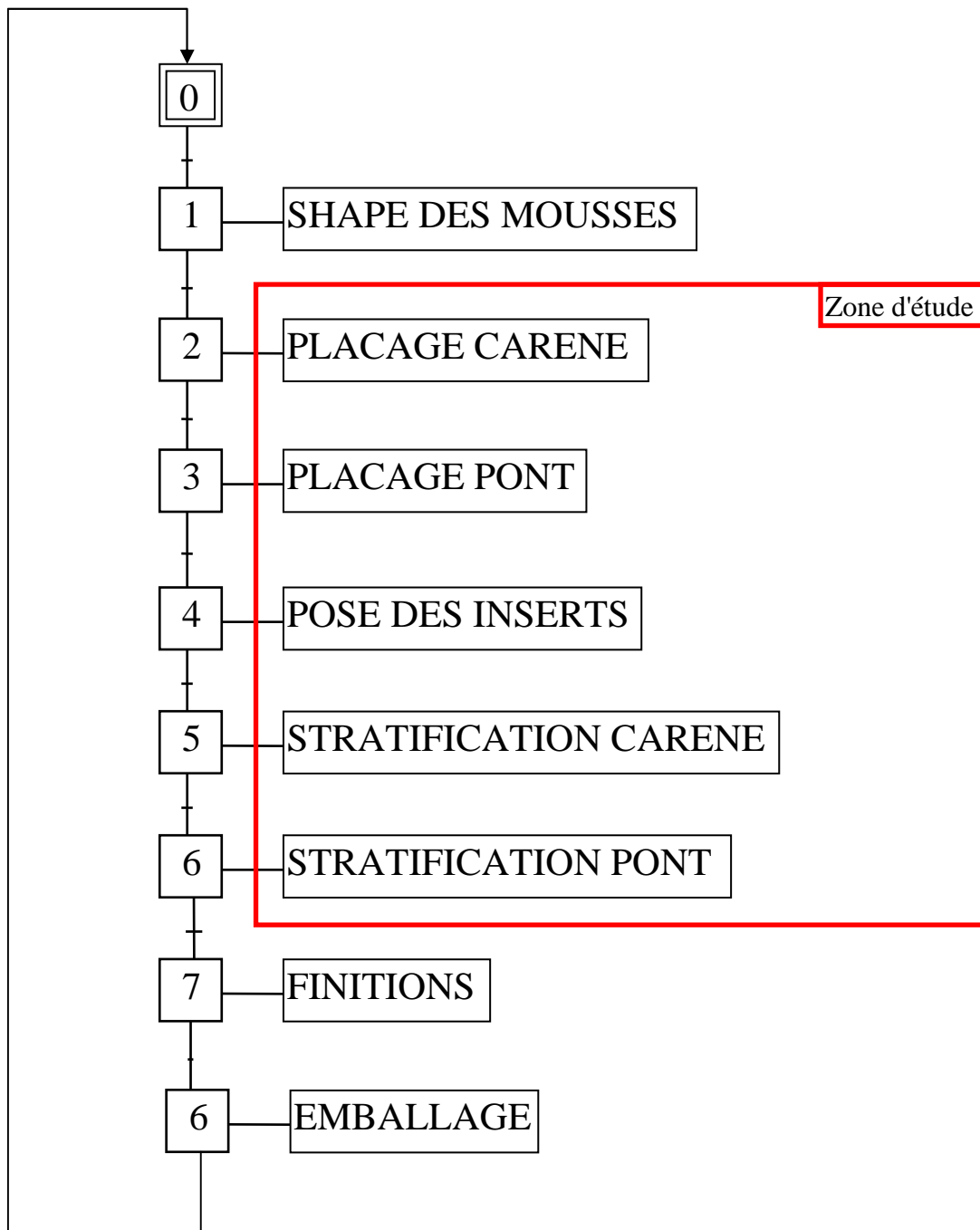
La fabrication des planches à voile se fait en schématisant en quatre étapes :

- le placage carène
- le placage pont
- la stratification carène
- la stratification pont.

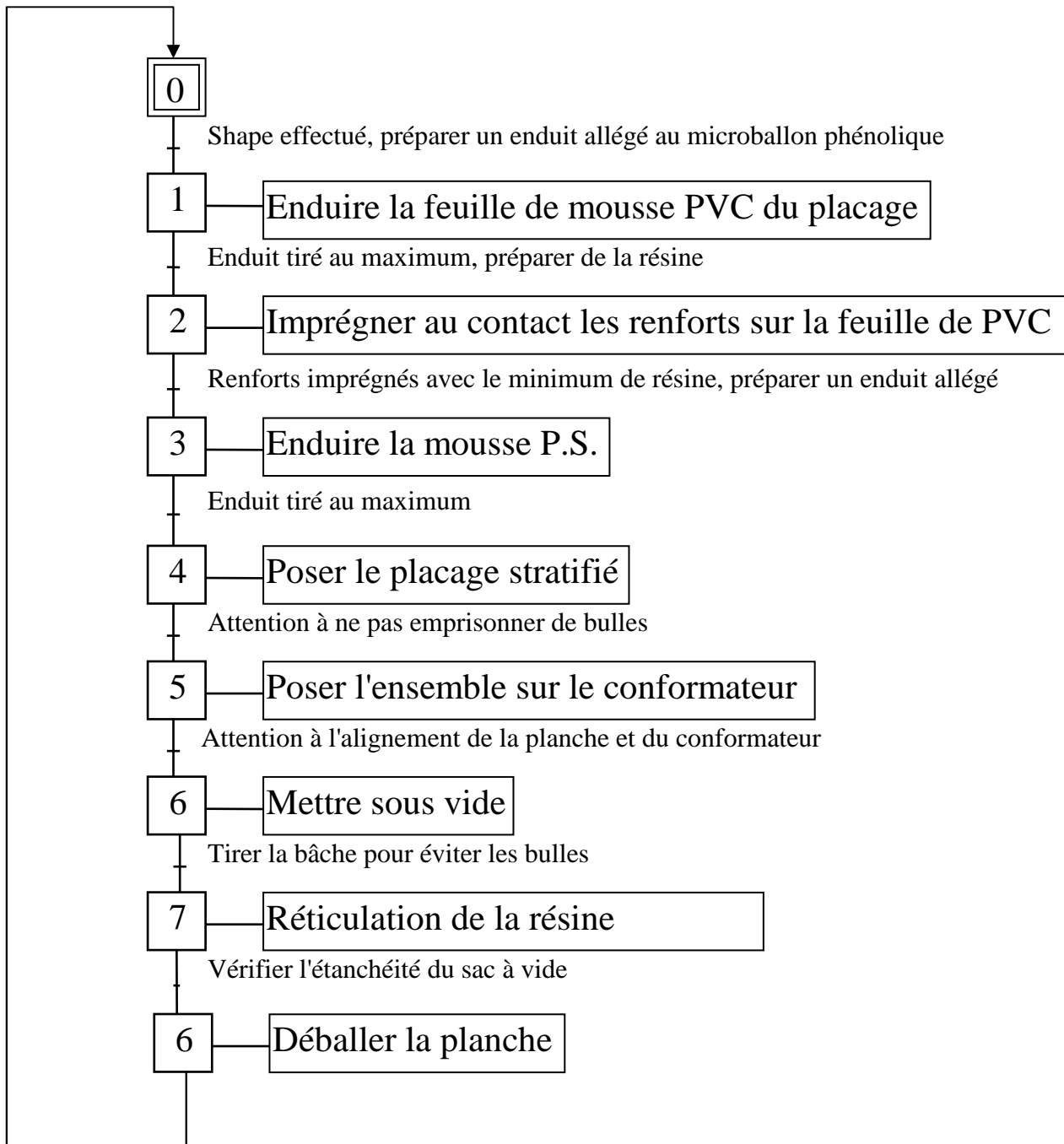
Il faut aussi ajouter la pose des inserts qui se fait en même temps que la stratification carène.

La technique utilisée est la stratification sous vide. On n'utilise pas de moule ; la stratification est faite directement sur l'âme centrale : un pain de mousse P.S. shapé.

## SYNOPTIQUE DE FABRICATION

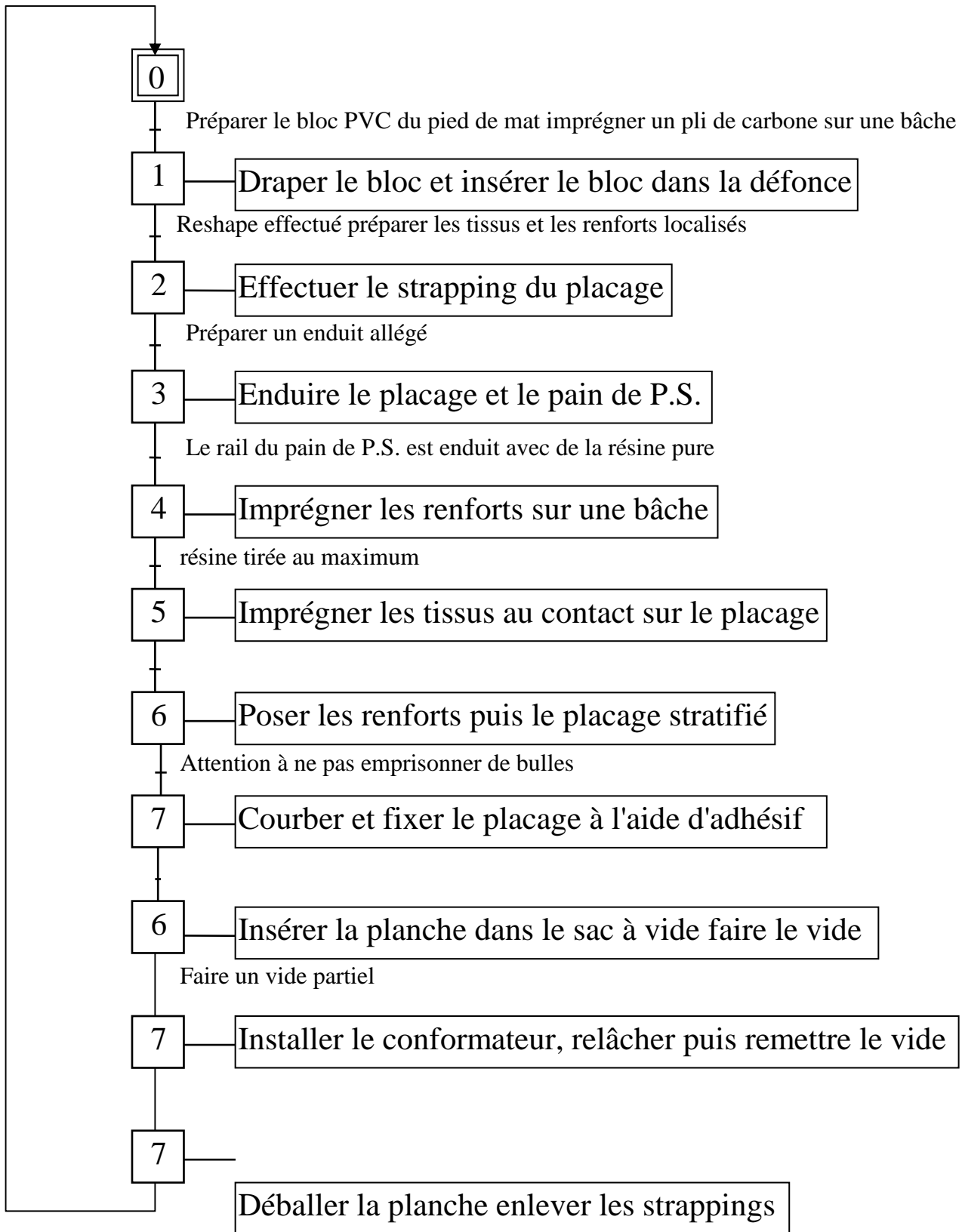


## SYNOPTIQUE PLACAGE CARENE



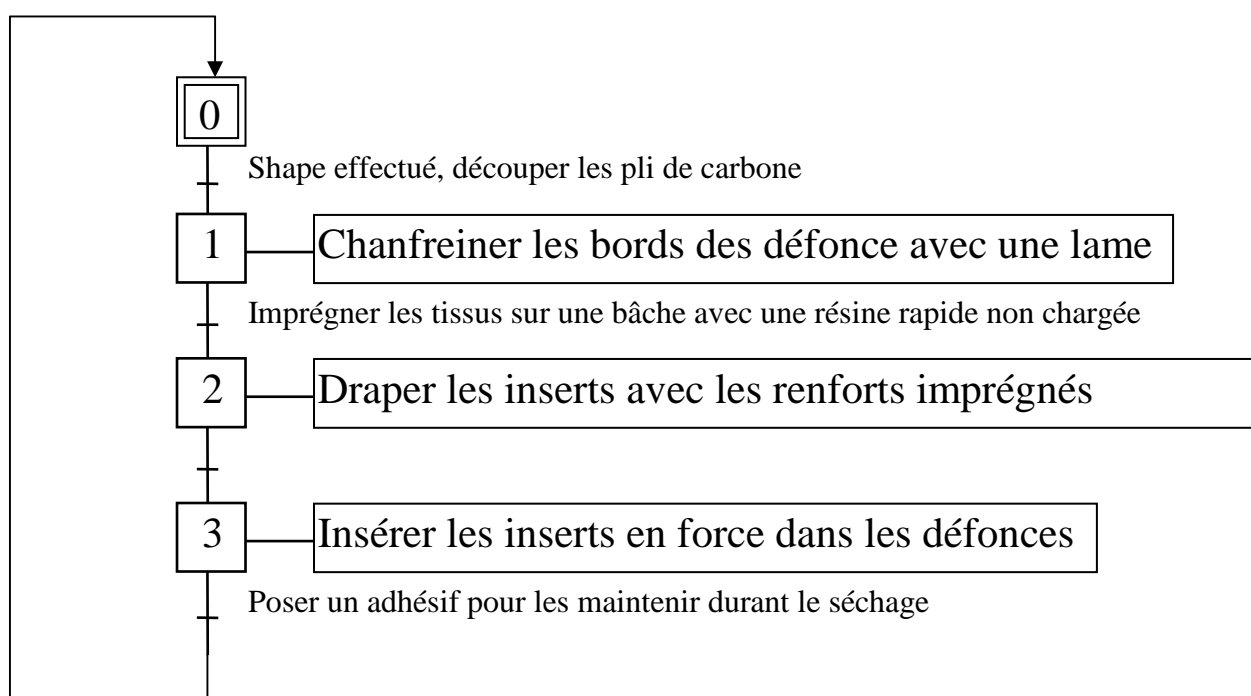
**Attention :** Pour permettre une grande légèreté la résine doit être tirée au maximum, en effet il n'y a pas de dispositif d'absorption de la résine en excès lors de la mise sous vide des placages.

## SYNOPTIQUE PLACAGE PONT

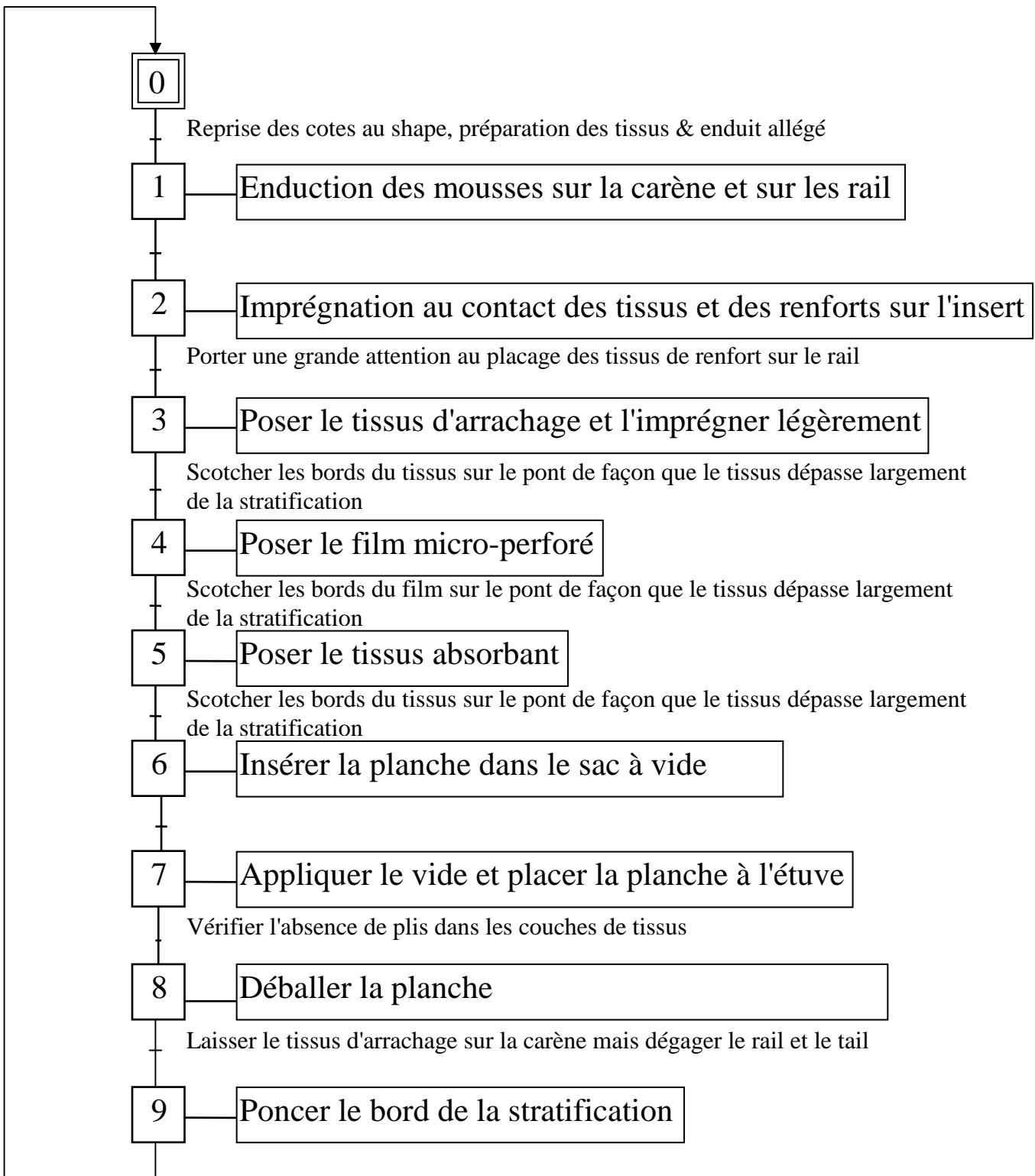


**Attention :** Pour permettre une grande légèreté la résine doit être tirée au maximum, en effet il n'y a pas de dispositif d'absorption de la résine en excès lors de la mise sous vide des placages.

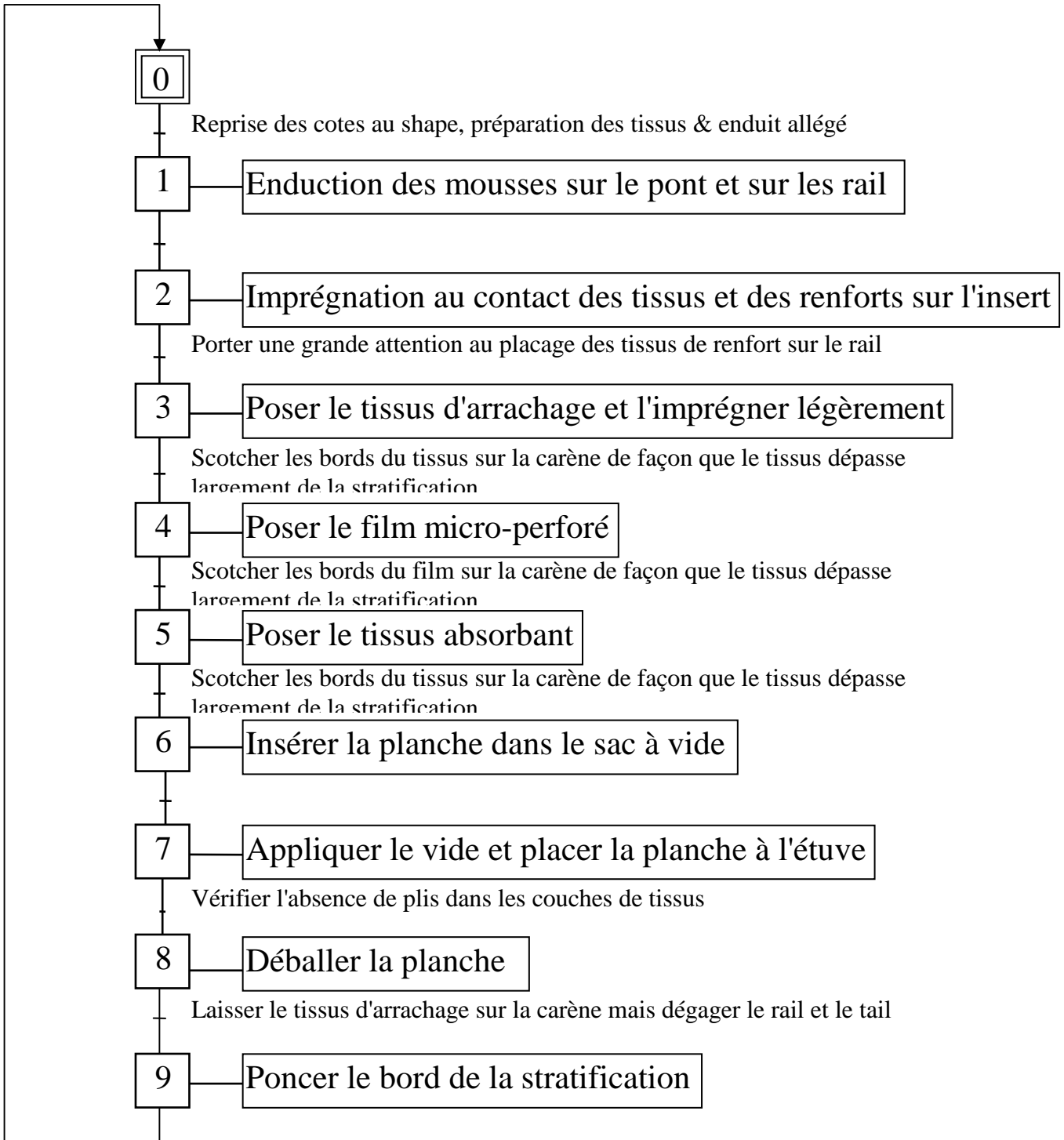
## SYNOPTIQUE POSE DES INSERTS



## SYNOPTIQUE STRATIFICATION CARENE



## SYNOPTIQUE STRATIFICATION PONT

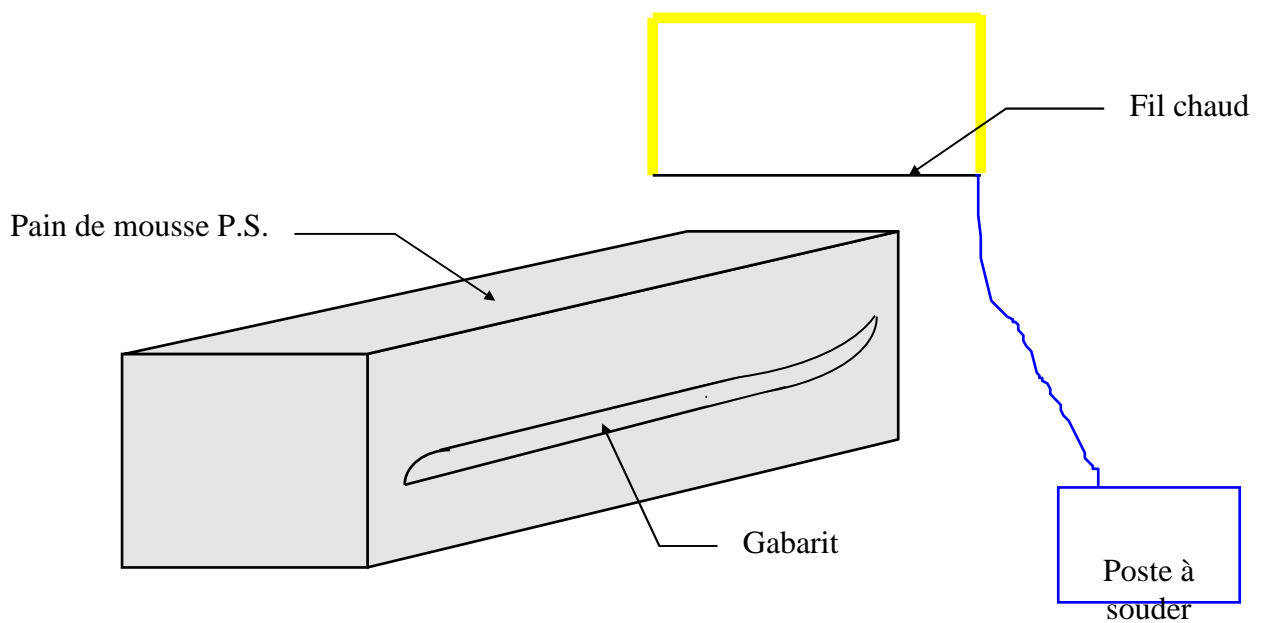


### 5.3 SHAPE DES MOUSSES

Le pain de polystyrène arrive brut. Il s'agit d'une mousse de polystyrène expansée d'une densité comprise entre 10 et 15 Kg/m<sup>3</sup>. On utilise pour le découper deux gabarits latéraux (qui représentent, en projection, le profil de la planche) et un fil chaud.

Durant cette opération on donne le scoop général de la planche. La forme du gabarit dépend du programme de la future planche : vague, slalom, course race...

Le P.S. ainsi découpé possède le scoop et l'épaisseur de la planche mais garde sa forme rectangulaire. En salle de shape, grâce à d'autres gabarits et à une prise de cotes précises les bords du pain sont découpés à la scie.



## 5.4 PLACAGE CARENE

On découpe en préparation du placage carène une feuille de mousse P.V.C (AIREX à épaisseur dégressive : 8 mm à l'arrière et 3 mm à l'avant) sur la table traçante.

On applique sur les mousses P.V.C et P.S. un enduit de résine époxyde (résine avec un long temps de gel avec une charge importante de microballon phénolique) afin de combler la micro porosité des mousses et permettre une meilleure adhésion.

On pose sur le placage les renforts (1 tissu verre ou carbone sur toute la surface du placage puis des renforts localisés : carbone 193 gr sur le noze et carbone unidirectionnel sur le boîtier d'aileron) puis on les imprègne en tirant la résine au maximum car le vide qui sera appliqué lors du collage ne pourra extraire la résine en excès.

On pose le placage stratifié sur le pain de P.S., on pose le tout sur un conformateur de scoop, puis on enferme l'ensemble dans un sac à vide. Le vide est appliqué le temps nécessaire à la réticulation de la résine. Il est absolument impératif d'effectuer toutes ces opérations avant d'atteindre le temps de gel des résines, ce qui nécessite une grande organisation du poste de travail et de l'ouvrier.

Le placage est maintenant collé sur le pain de mousse, le conformateur a permis à la planche de conserver le scoop durant le séchage sous vide.

Le flotteur repasse en salle de shape on donne à la carène et au pont leurs formes définitives.

On défonce le P.S. du côté pont pour y coller un bloc de P.V.C à l'emplacement du pied de mât. On utilise une colle époxyde structurelle et des tissus carbonés pour le collage.

On pose le long du rail, sur la carène, une bande de scotch qui permettra de protéger la carène lors du placage pont.

## 5.5 PLACAGE PONT

On découpe une feuille de P.V.C d'épaisseur uniforme (3 mm) de manière à ce qu'elle puisse recouvrir entièrement le rail. L'augmentation d'épaisseur dû à la pose du placage pont doit être prévue lors du reshape après le placage carène.

Les bords de la feuille de P.V.C pont sont recouverts de scotch pour éviter qu'ils ne cèdent lors du placage : c'est le strapping.

Sur le bord de la carène on pose un ruban adhésif qui va représenter la zone jusqu'à laquelle va se rabattre le placage pont, et va permettre de guider le reshape sans abîmer la carène. Sur une coupe de planche on ne voit le placage pont recouvrir que le rail, mais pour être sûr d'éviter les bulles dans cette zone à risques on plaque plus loin sur la carène.

Le placage pont se déroule de la même manière que le placage carène.

On applique l'enduit chargé avec du microballon phénolique sur toute les mousses qui vont être en contact. Sauf sur les rails où pour une meilleure adhérence on applique de la résine non chargée.

On pose les renforts localisés, nombreux du côté pont, directement sur le P.S.. Les tissus sont préimprégnés sur une bâche en plastique. Ils sont placés au niveau du noze, du pied de mât, des footstraps, des rails, une bande de carbone est généralement insérée dans une incision du tail au pied de mât c'est l'âme.

On pose sur toute la surface du P.V.C un ou plusieurs tissus imprégnés au contact. Encore une fois la maîtrise des quantités de résine est très importante mais ne repose que sur l'expérience de l'ouvrier.

Le placage pont est maintenant posé. On cintre grossièrement le P.V.C avec du scotch sur les rails puis on insert l'ensemble dans un sac à vide.

Un premier vide est fait. Il est nécessaire de tirer vigoureusement sur la bâche pour plaquer parfaitement le P.V.C ; la dépression est alors de -0,3 bars.

La planche est installée sur un conformateur de scoop sur lequel elle est étroitement liée avec du scotch. On relâche alors le vide durant une dizaine de secondes pour permettre aux contraintes ainsi créées de se répartir.

La planche ainsi emballée part pour l'étuve pour douze heures environ. La pompe à vide restant branchée pour compenser d'éventuelles fuites dans la bâche. La température, habituellement de soixante degrés, ainsi que la dépression doivent être étroitement surveillées. Le pain de mousse central en P.S. expansé étant très sensible aux effets conjugués de la température et de la pression.

Après durcissement complet des résines, on déballe complètement le flotteur qui passe en salle de shape ; les cotes sont reprises. On perce à la défonceuse les trous destinés aux inserts.

## 5.6 POSE DES INSERTS

Le premier insert à être installé est le boîtier d'aileron. La défonce traverse la planche de part en part. Le boîtier recouvert d'un tissu carbone et d'une résine rapide est positionné dans la défonce à l'aide d'un gabarit car l'aileron doit être parfaitement dans l'axe de la planche.

Après environ quatre heures de séchage, la planche est retournée et les inserts restants sont ouverts sur le pont et installés de la même façon. Ceux-ci sont maintenus par un morceau de scotch et avant même leur séchage définitif la planche est retournée pour passer à l'étape suivante.

## 5.7 STRATIFICATION CARENE

Une fois de plus les mousses qui vont être en contact avec une stratification sont enduites (résine + microballon phénolique). Sur les rails on applique une résine non chargée qui possède un bon tack qui va faciliter la pose des tissus.

Les renforts imprégnés sur une bâche sont installés au niveau du noze et du boîtier d'aileron.

Les tissus de surface sont imprégnés au contact. En général on pose un tissu à fort grammage suivi d'un tissu à faible grammage : le finish.

Le tissu d'arrachage Peeltex est appliqué et imprégné lui aussi : il devient translucide et l'on peut être absolument sûr que les tissus ne font aucun pli.

On met en place un film Perforex qui va freiner la migration de la résine vers le tissu absorbant et donc forcer la résine à circuler au niveau des tissus de renfort et donc éviter les bulles d'air et les zones non imprégnées.

Le BIDIM (tissu absorbant) est positionné sur le tout puis l'ensemble est placé dans un sac à vide. La bâche ne doit faire aucun pli sur la zone de la stratification pour éviter un surplus de résine.

Après 10 heures d'étuve à soixante degrés on déballe la planche en prenant soins de conserver le tissu d'arrachage sur la carène et de le compléter par un adhésif à un cm du rail (pour protéger la carène lors de la stratification pont et de son ponçage).

La planche est retournée et on procède au ponçage des inserts qui ne doivent qu'affleurer sur le pont.



Stratification sous vide en cours de réticulation en étuve.

## 5.8 STRATIFICATION PONT

Le pont possède maintenant sa forme définitive, au cours de cette étape il va être stratifié de la même manière que la carène :

- enduit microballon phénolique
- pose des renforts localisés préimprégnés
- stratification au contact des tissus
- pose du Peeltex
- pose du Perforex
- pose du bleedex
- emballage dans le sac à vide
- mise sous vide à -0,4 bars
- mise en étuve 60°C durant 10 heures.
- déballage de la planche
- on ponce la partie de la stratification qui dépasse sur la carène au ras du tuckel à l'aide de l'adhésif préalablement placé
- on déballe définitivement la carène.



Cette planche de slalom a reçu une stratification de tissus de verre on voit bien les renforts localisés en carbone au niveau des pieds et du noze.

## 5.9 FINITIONS

La finition de la planche peut être considérée suivant deux aspects :

- la préparation des supports
- les peintures & décorations

Les stratifications reçoivent une première couche d'un enduit au whitecell qui bouche la microporosité on peut aussi rattraper les différences de niveau dues aux renforts localisés. Le tuckel under edge est façonné.

L'enduit est séché en étuve.

Les cotes exactes sont une fois de plus vérifiées et au besoin corrigées au ponçage.

En ponçant l'enduit au whitecell on crée de la microporosité qui est bouchée par un mastic polyester encore plus fin que celui au whitecell.

Le flotteur est amené en salle de peinture où une couche d'apprêt est appliquée au pistolet.

Il est à noter que pont et carène sont peintes en une seule opération.

Après séchage de l'apprêt on passe plusieurs couches de peinture polyuréthane.

La carène est soigneusement poncée (1000, 2000, pâte à polir) puis lustrée.

Les inserts sont ouverts à la perceuse pneumatique.

La carène et les rails sont masqués pour éviter leur détérioration.

Les différents stickers et décorations sont posés et les emplacements des pads masqués.

On applique alors l'antidérapant sur le pont : il s'agit de vernis polyuréthane sur lequel est projeté de la poudre de quartz. Plusieurs couches successives sont nécessaires.

Après un dernier séchage le flotteur peut enfin être équipé de footstraps et de pads si demandé par le client.

La planche est alors emballée puis expédiée.



Finition : Pose de l'antidérapant. On remarque le masquage soigné de la carène et des pads.

## 6 RAPPORT D'ACTIVITE

Durant les six semaines de stage au sein de l'entreprise La Seyne Composite j'ai pu, grâce à une bonne intégration dans l'équipe et malgré les difficultés liées à une petite production, participer à toutes les étapes de la fabrication mettant en oeuvre les composites.

Ce stage m'a permis de mieux appréhender la façon de travailler dans le milieu professionnel.

Durant ces six semaines j'ai pu acquérir et appliquer des connaissances en matière de matériau composite en grandeur réelle.

## 7 GLOSSAIRE

**Bleedex :**

Tissu absorbant utilisé pendant les mises sous vide.

**Carène :**

Partie de la planche qui est en contact avec l'eau.

**Charge :**

Additif utilisé pour modifier les propriétés d'une résine.

**Conformateur :**

Gabarit utilisé durant les placages, destiné à conserver le scoop.

**Insert :**

Les inserts ont trois rôles sur les funboards :

- assurer l'étanchéité
- renforcer la solidité
- garantir un positionnement parfait des accessoires.

**M.D.S. :**

Modular Dynamic Système : plaque de P.V.C stratifiée sous vide destinée à être ajoutée au placage carène ; en augmentant l'épaisseur du placage on augmente la rigidité de la planche.

**Nose :**

"Nez" de la planche.

**Peeltex :**

Tissu d'arrachage.

**Perforex :**

Film polyéthylène perforé.

**Pic exotherme :**

Température maximum atteinte par l'exothermie d'une résine.

**Placage :**

Le placage est une technique connue depuis des siècles en ébénisterie et en lutherie : on renforce des bois faibles et légers par des bois durs mais lourds.

Le système utilisé ici est le même : la mousse P.S. est plaquée par un sandwich P.V.C / composite.

**Polianne :**

Film polyéthylène utilisé pour fabriquer les sacs à vide.

**Pont :**

Partie supérieure du flotteur.

**Pot life :**

Durée de vie d'une résine non mélangée à son système catalytique.

**Résine :**

Pour les funboards de la marque Swell Expression seules sont utilisées les résines époxydes.

**Rail :**

Bords de la planche.

**Scoop :**

Profil de la planche, il en existe plusieurs pour des utilisations spécifiques.

**Shape :**

Découpe des mousses.

**Sous vide :**

Technique permettant de maintenir une pression optimale sur les couches de stratifié en cours de réticulation ou les collages.

**Spot :**

Portion du littoral apprécié par les planchistes pour naviguer pour les conditions de mer et de vent qu'elle offre.

**Strapping :**

Diminuer le rayon minimum de courbure des placages en mousse P.V.C pour permettre le délicat placage sur le pont et les rails en recouvrant les bords de la feuille avec de l'adhésif.

**Tack :**

Adhérence initiale d'une résine.

**Tail :**

Arrière de la planche.

**Temps de gel :**

Temps compris entre l'introduction du système catalytique et l'instant où la résine n'est plus ébulable.

**Temps de durcissement :**

Temps compris entre l'introduction du système catalytique et le pic exotherme.

**Thixotropie :**

Tenue en paroi verticale de la résine avant d'atteindre le temps de gel.

**Tuckel under edge :**

Angle compris entre la carène et le rail.

**Viscosité :**

La viscosité d'un fluide est la résistance à l'écoulement de celui-ci, l'unité est le Pa.s.

## **8 ANNEXE 1 : LES RESINES**

Il existe trois grandes familles de résines thermodurcissables. Les fabricants de matières proposent pour chacune de nombreuses références, mais chaque matière conserve certaines spécificité nécessaire de choisir la plus adaptée.

### **8.1 TYPES DE RESINES**

#### **8.1.1 POLYESTER**

Les résines polyester sont obtenues par la réaction d'un anhydride insaturé sur un dialcool. Le système est composé de trois éléments : - la résine  
- le catalyseur  
- l'accélérateur.

Ce sont les résines les moins onéreuses. Elles sont d'une grande souplesse d'emploi et sont les plus faciles à mettre en oeuvre. Malgré une bonne résistance chimique elles sont écartées des ouvrages techniques pointus à cause de leurs propriétés mécaniques trop faibles et, de leur reprise d'eau préjudiciable au poids.

#### **8.1.2 EPOXYDES**

Les résines époxydes se présentent en kits bi-composants : la base composée en général à partir de bisphénol et d'épichlorhydrine ; le durcisseur est formé d'amines aromatiques ou aliphatiques. La réticulation est le résultat de l'ouverture du groupe époxy qui offre une possibilité de liaison.

Ces résines présentent la meilleure résistance au délaminage associée à de très bonne propriétés mécaniques.

Les nouvelles résines époxydes sont non cristallisantes ce qui leur confère une meilleure résilience. L'absence de cristallites empêche la formation d'amorce de rupture.

Le cycle de réticulation est long et délicat à mettre en oeuvre il est nécessaire de bien maîtriser les températures et les temps de cuisson.

L'époxy a été choisi pour l'ensemble de la production de planches à voile pour ses qualités mais aussi pour la variété de références que proposent les fournisseurs.

### **8.3 CARACTERISATION DES RESINES**

Dans les trois paragraphes suivants sont recensés les principaux points à prendre en compte pour choisir une matière.

### **8.3.1 LE TEMPS DE GEL**

Le temps de gel est le paramètre le plus important dans le choix de la résine. Il définit en effet le temps durant lequel la résine peut être travaillée.

Physiquement on peut dire que le temps de gel est la durée qui sépare le moment où sont mélangés les composants du kit et le moment où l'augmentation de la viscosité rend la résine impossible à travailler.

### **8.3.2 LE TEMPS DE DURCISSEMENT**

Le temps de durcissement, variable selon la température définit le temps compris entre le mélange résine + durcisseur et le moment où la pièce est manipulable.

### **8.3.3 LE PIC EXOTHERME**

Le pic exotherme est la température maximale atteinte par l'exothermie de la résine.

C'est une température importante pour une application conjointe avec des mousses car les températures atteintes peuvent altérer celles-ci.

Il faut bien différencier le pic exotherme d'une résine prise en masse de celui relevé sur une stratification pour une même résine. Les fabricants de matières donnent le pic exotherme mesuré lors d'une prise en masse.

## **8.4 EMPLOIS DES RESINES**

Les résines peuvent être utilisées de plusieurs manières : pures ou avec adjonction de renforts, de charges.

Les résines pures sont utilisées comme des colles, on choisit des résines avec un temps de gel assez bref.

Les résines utilisées avec des renforts, en l'occurrence des tissus sont appelées matrices. On emploie des résines avec un temps de gel qui permet de bien tirer la résine pour imprégner les tissus ; le pic exothermique doit être relativement bas pour que l'action conjointe de la température et de la dépression ne détériorent pas les mousses.

Additionnées de charges les résines sont utilisées comme enduit pour boucher la microporosité (dans ce cas il faut choisir une charge allégeante permettant de conserver à l'enduit une certaine fluidité : par exemple du microballon phénolique).

Avec des charges on peut aussi obtenir des mastics destinés à être utilisés en masse pour rattraper les cotes (on recherche alors une consistance pâteuse ; on utilise par exemple du whitecell)

## 9 ANNEXE 2 : LA VISCOSITE

La viscosité est une caractéristique essentielle dans le choix des résines et de leurs durcisseurs ; l'unité SI est le Pa.s. Elle va définir :

- la capacité de la résine à mouiller les renforts
- la thixotropie de la résine
- le tack (adhérence initiale)

La viscosité du mix (résine + durcisseur) varie au cours du temps et en fonction de la température. C'est cette propriété qui va définir tous les points caractéristiques de la résine (temps de gel ; pic exothermique...) ; voir figure 1.

Il est à noter qu'il n'existe pas de norme définissant la viscosité des thermodurcissables, hormis pour obtenir le temps de gel des résines polyesters. Chaque fabricant conçoit donc ses propres normes. Les données étant aujourd'hui collectées par des automates spécialisés (telles que le TROMBOMAT utilisé par REA, voir figure 1).

Principe de l'essai:

La machine est munie d'un palpeur terminé par une sphère qui, une fois plongée dans le mix se déplace de façon alternative. Une autre sonde mesure la température du mix. Un capteur mesure la force exercée par le milieu sur la sphère pendant le durcissement du mélange.

Figure 1 Données rapportées par le Trombomat

## 10 ANNEXE 3 : LES CHARGES

Les charges se présentent sous forme de poudres pulvérulentes destinées à être mélangées à une résine. Ces charges peuvent profondément modifier les caractéristiques d'une résine.

Dans le domaine de la fabrication des funboards les charges sont particulièrement prisées, en effet la lutte contre le poids est la priorité numéro un.

Dans ce champ d'application les charges couramment utilisées sont des microsphères creuses. Il convient de déterminer leur utilisation optimale dans les différents domaines d'application par rapport aux propriétés qu'elles apportent par ailleurs.

La première remarque concernant ces charges est la diminution significative des densités (voir page 23)

La deuxième remarque concerne la diminution des propriétés mécaniques qui cantonne l'utilisation de ces charges aux enduits et mastics.

## 10.1 CHARGES UTILISEES

La Seyne Composite emploie deux types de charge pour la fabrication de ses funboards. Ce sont des charges de type microsphère allégeante qui permettent de gagner du poids.

### 10.1.1 LE WHITECELL

Le whitecell est utilisé pour mastiquer les planche et rattraper des cotes et des angles très précis il est aussi employé pour boucher la microporosité des stratification avant peinture.

**Whitecell** : *Microsphères thermoplastiques blanc*

Très basse densité apparente . Très basse densité des enduits de finitions. Faible granulométrie. Facilité d'application: onctuosité, homogénéité, lissabilité. Aisément ponçable. Idéal pour les constructions hyper légères, enduits de finition avant peinture.

### 10.1.2 LE MICROBALLON PHENOLIQUE

Les résines chargées avec du microballon sont utilisées pour combler la microporosité des mousses avant leur stratification.

**Microballons Phénoliques** : *Microsphères phénoliques*

Mélange à la résine plus aisée que le whitecell, ne vole pas. Applications structurelles : collages, joints congés de couleur brune, mastics et enduits de finition avant peinture. Facilité d'application : onctuosité, homogénéité, lissabilité. Aisément ponçable. Hygroscopique : maintenir les emballages hermétiquement clos.

## 10.3 PREPARATION DES RESINES CHARGEE

Après la réalisation d'un mix de résine époxyde dans un gobelet, le stratifieur introduit petit à petit la charge. Celle-ci est pulvérulente il faut prendre beaucoup de soin et l'intégrer aussi bien que possible dans le mix avec le mélangeur. Le dosage des charges se fait subjectivement, on rajoute de la charge jusqu'à arriver à la consistance souhaitée pour l'application envisagée.

### **10.3 DENSITE DE RESINE CHARGEE**

## **10.4 RESISTANCE EN COMPRESSION DE RESINE CHARGE**

## **11 ANNEXE 4 : LES RENFORTS**

Dans l'application étudiée les renforts se rencontrent uniquement sous la forme de fibres. Les fibres sont importantes car toutes les propriétés du matériau leur sont liées.

Il faut remarquer que le choix des différents tissus et leur dimensionnement a fait l'objet de nombreux essais et ne reposent que sur l'expérience du shapeur.

### **11.1 LES FIBRES**

On rencontre suivant le type de planche et leur destination plusieurs sortes de fibres différentes.

#### **11.1.1 LE VERRE**

C'est la fibre la plus utilisée, la plus classique dans les constructions en composites. Il existe des variétés de fibres de verre avec de bonnes caractéristiques (notamment le verre R ).

Ces fibres sont utilisées pour certaines planches de vague car on a pas besoin d'une très grande rigidité et le poids reste raisonnable.

#### **11.1.2 LE CARBONE**

C'est l'utilisation du carbone dans les planches à voile qui a permis les plus grands progrès ces dernières années en raison de sa grande résistance qui autorise des gains de poids importants.

On l'utilise systématiquement pour les renforts localisés où de nombreuses contraintes sont regroupées ainsi que pour les planches de course racing qui sont intégralement stratifiées en carbone.

#### **11.1.3 LE KEVLAR**

L'utilisation du kevlar est réservé aux planches de vague destinées aux professionnels. En effet ses bonnes propriétés lui permettent de remplacer le carbone pour les applications qui nécessitent plus de souplesse et de résistance aux chocs. Mais sa mise en oeuvre est délicate : en effet au moindre frottement les stratifications kevlar peluchent. Pour pallier à cet inconvénient on rajoute à la stratification un tissu de verre dit "finish".

### **11.2 LES TISSUS**

Les différentes fibres sont utilisées sous forme de tissus de différentes épaisseurs. Il existe aussi de nombreux types de tissage et de panachage de fibres qui permettent différents comportements .

Un tissu est caractérisé par son grammage (poids au mètre carré), son tissage et les fibres utilisées.

## 12 ANNEXE 5 : LES SANDWICHS

On rencontre dans les Fun-board Swell Expression une double structure sandwich.  
La première structure sandwich est composée de l'âme en mousse P.S. et des placages, elle a pour but la rigidité en flexion dans le sens longitudinal de la planche.  
La deuxième structure sandwich est composée des mousses PVC et des stratifications. Le rôle de cette structure est d'assurer la résistance aux chocs et aux pressions localisés telles que les pieds du véliplanchiste

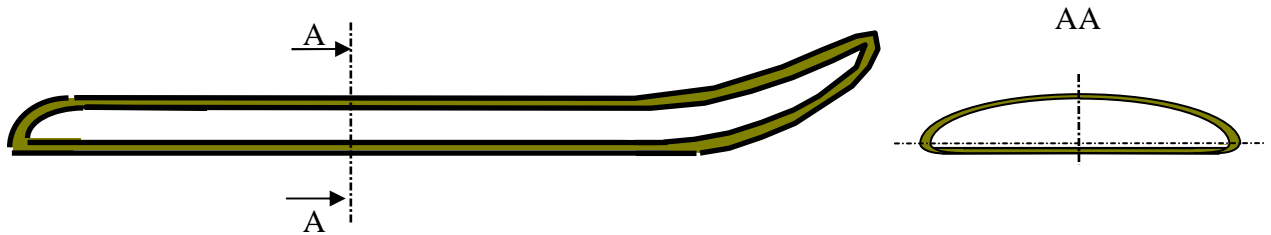
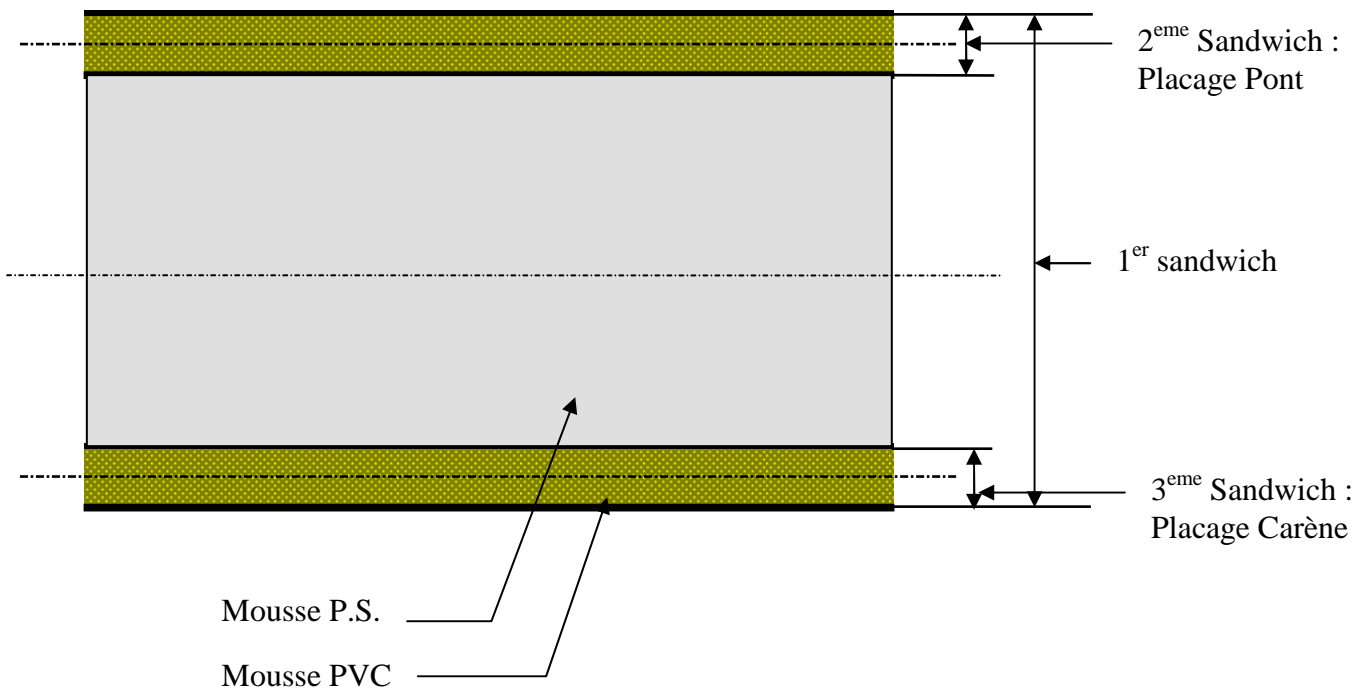


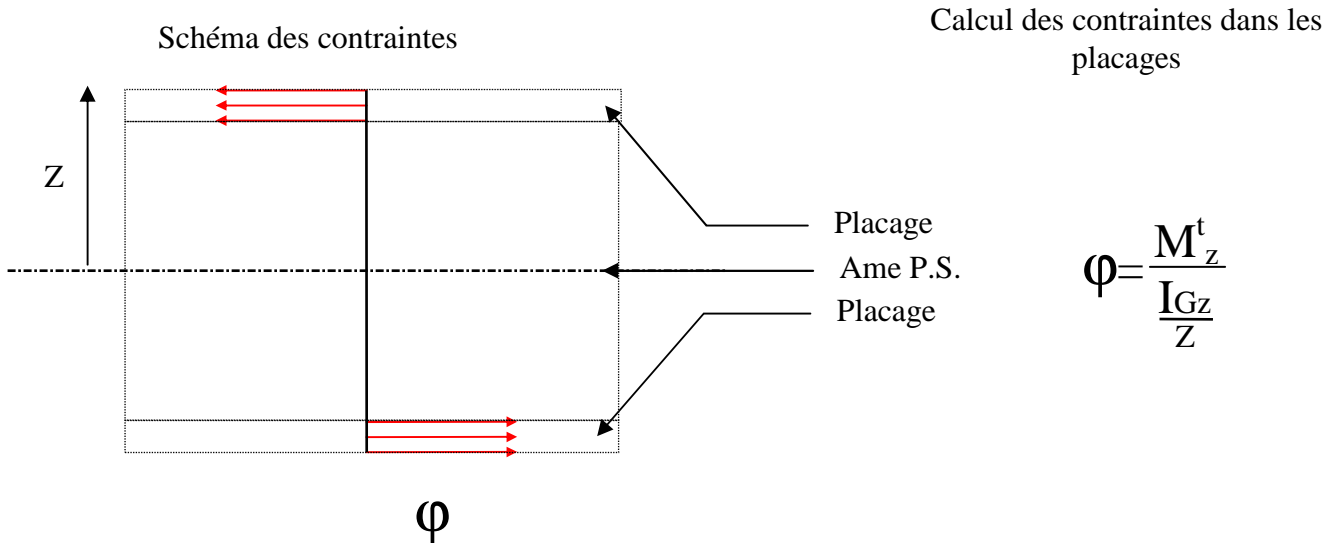
Schéma de principe des structures sandwichs :



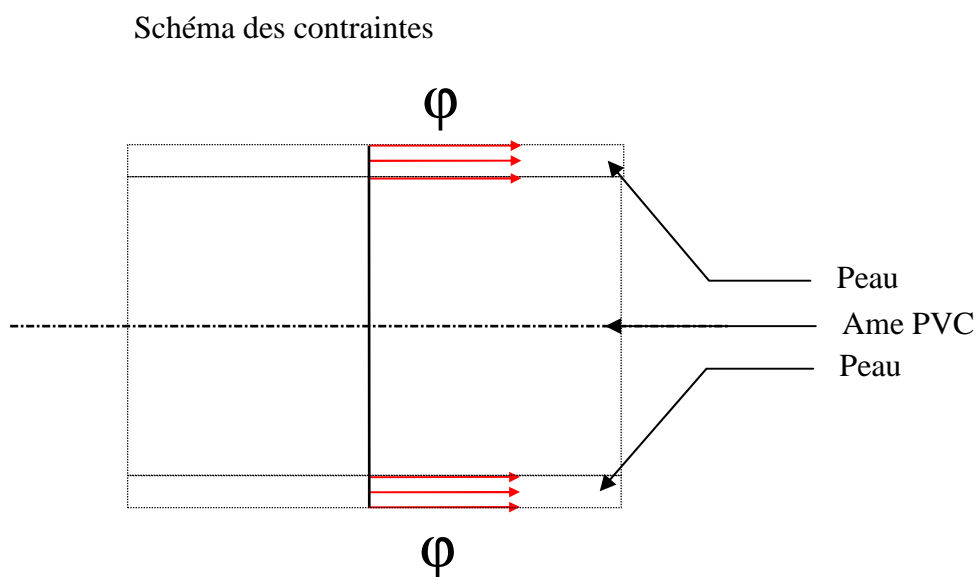
## 12.1 REPRESENTATIONS DES CONTRAINTES MECANIQUES

- Représentation des contraintes en flexion dans le flotteur :

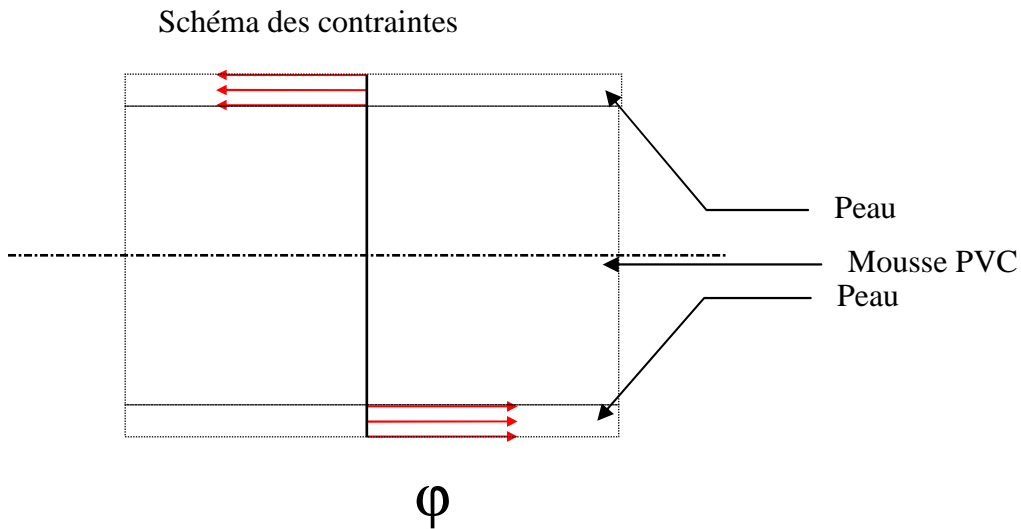
Lorsque le flotteur est en flexion les placages sont soit en traction, soit en compression.



- Représentation des contraintes dans les placages en traction (= compression) :



- Représentation des contraintes en flexion dans les placages (par exemple à cause de la pression des pieds sur le pont ) :



Les contraintes se concentrent dans les peau car la mousse structurale ne possède qu'un module assez faible.

Les mousses sont uniquement soumises à de la compression et du cisaillement.

## 12.2 INFLUENCE DE L'ÉPAISSEUR DU PLACAGE

On peut assimiler le placage à une poutre avec comme seule différence la répartition des contraintes en raison du caractère hétérogène de la structure sandwich.

Quand on modifie les proportions de celle-ci par une homothétie de rapport  $k$

- la contrainte en traction totale est modifiée d'un rapport  $1/k^2$
- la contrainte en flexion totale est modifiée d'un rapport  $1/k^3$