Le panneau sandwich structurel

Richard FILIPPI - Ingenieur Civil des Mines – as2c-consult
Christophe BINETRUY – Professeur – Département Technologie des Polymères et Composites & Ingénierie Mécanique, Ecole des Mines de Douai

1) Généralités

La technique du panneau sandwich est une technique connue et utilisée depuis longtemps dans de nombreuses industries (Figure1). Elle consiste à positionner une âme, souvent légère, entre deux peaux résistantes, en général plus denses. Les fonctions de chaque composant sont alors dissociées pour être optimisées. Les panneaux sandwichs peuvent être isolants thermiques et/ou acoustiques et/ou structurels. Fonctionnellement le principe du panneau sandwich structurel est de relier efficacement et durablement des peaux résistantes en traction et en compression, par une âme légère qui transmet le cisaillement. Cette technique permet d'optimiser les fonctions de chaque composant du panneau, les peaux donnent aspect de surface et résistance, l'âme apporte la résistance au cisaillement, la légèreté, la résistance aux chocs. Elle permet également d'intégrer plusieurs fonctions à un seul élément.

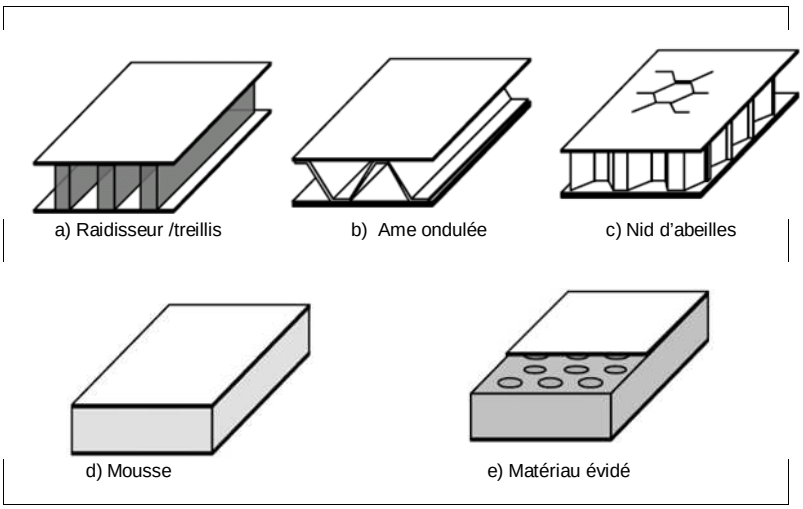
Les panneaux sandwichs isolants sont utilisés depuis longtemps de façon très courante dans le bâtiment notamment en parois ou en toiture.

Les panneaux sandwichs structurels sont quant à eux aujourd'hui surtout utilisés dans les seules hi-tech où le gain de poids est une nécessité vitale, l'aéronautique par exemple.

L'objectif d'un panneau sandwich structurel est d'apporter de la rigidité en même temps que de la légèreté. Par rapport aux matériaux monolithiques traditionnels, ils sont plus rigides et apportent simultanément, selon les âmes mises en œuvre, de nouvelles caractéristiques comme l'isolation thermique et acoustique, la résistance aux chocs et à la fatigue, le tout sans coût supplémentaire ni ajout de matière. Plus légers, leur transport et leur pose en sont ainsi simplifiés. En outre, tout en préservant l'aspect esthétique des matériaux traditionnels, les nouveaux panneaux sandwichs requièrent moins de matière. Autre atout, en termes de développement durable, grâce à leur légèreté, ils présentent un bilan énergétique avantageux à la fabrication et lors de leur mise en œuvre.

A ce titre, les nouvelles exigences environnementales, mais également économiques, contribuent de plus en plus au développement de cette technique. L'arrivée de nouveaux produits plus économiques comme le nid d'abeilles propylène rend désormais cette technique compétitive, ces panneaux sandwichs structuraux ont désormais l'avantage d'être à la fois économiques et écologiques.

D'autres industries de grands volumes ont désormais recours aux panneaux sandwichs comme l'industrie éolienne, les transports routiers ou ferroviaires mais également le bâtiment.



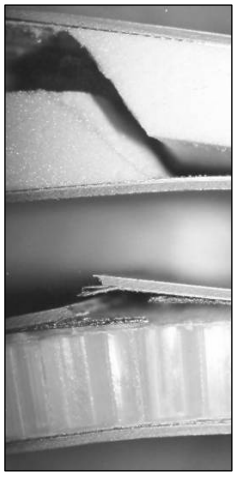


Figure 1 : Différents types de sandwich – **photo 2 : Haut : rupture en cisaillement de l'âme Bas : rupture en traction de la peau sup.**

.

2) Rigidité - Légèreté

Dans un panneau monolithique en flexion, assimilé à une poutre, les contraintes se repartissent selon la figure 2. Elles sont nulles sur la ligne médiane (appelée fibre neutre). Le principe du panneau sandwich est de remplacer la partie médiane par une âme légère qui solidarise intimement les deux peaux extérieures et leur transmet les contraintes de cisaillement (figure 3)

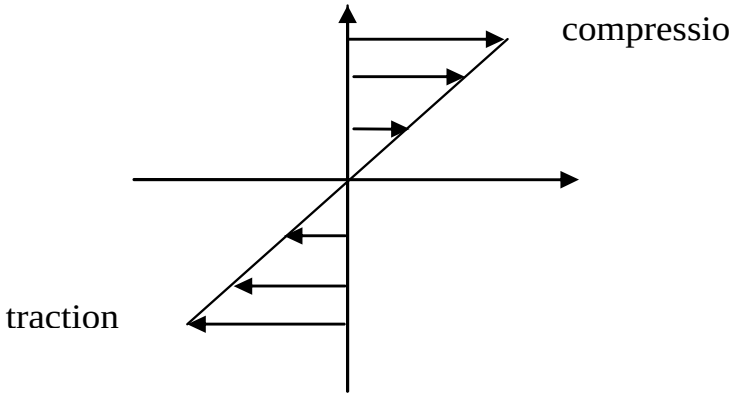


Figure 2 : distribution des contraintes dans un élément monolithique

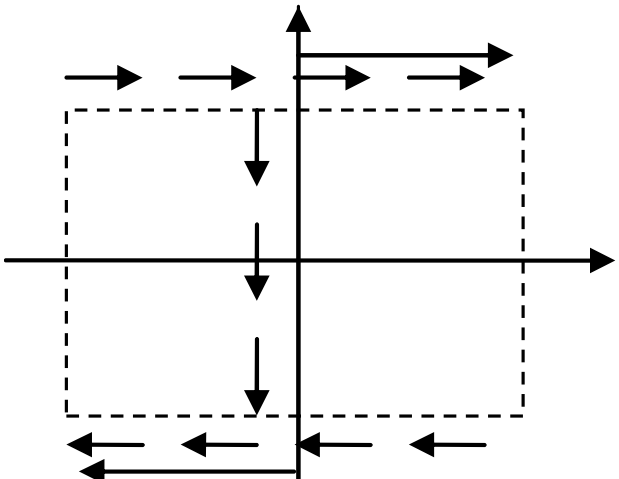
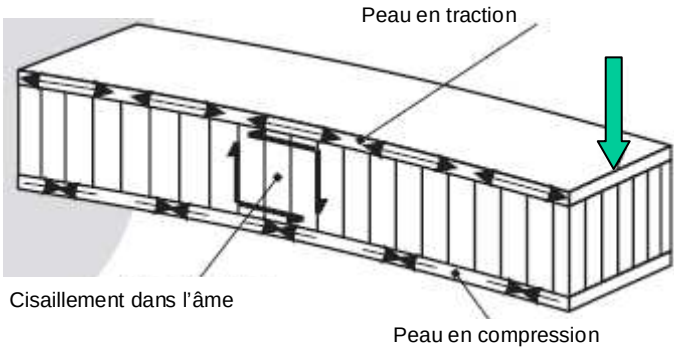


Figure 3: distribution des contraintes dans un panneau sandwich



La poutre IPN est depuis longtemps un exemple de ce principe, la matière dense et résistante est rassemblée sur les 2 branches du I, la partie centrale ne sert qu'à solidariser ces deux éléments avec un minimum de matière.

Dans un panneau sandwich, avoir une âme légère, déformable et de résistance inférieure à celle des peaux, fait que c'est la valeur de la déformation en flexion (flèche) qui dimensionne le panneau. Elle est donnée par les relations suivantes (1), dans le cas d'un panneau monolithique :

(1) $Y = Kg*P*L^3/D$	avec	Kg = constante P = charge L = portée
(1a) D = EI, rigidité	avec	E = module d'Young I = Inertie
Avec pour une section rectangulaire	**(1b) $I = b*h^3/12$**	avec h = épaisseur b = largeur

Dans ces relations seul le dénominateur, appelé rigidité, est une variable sur laquelle il est possible d'agir. Pour diminuer la déformation, il faut donc l'augmenter, soit en augmentant le module d'Young, soit en augmentant l'épaisseur. La première solution n'est pas économique car elle suppose l'emploi de matériaux chers et lourds. La deuxième qui consiste à augmenter l'épaisseur nécessite l'utilisation d'un matériau léger à positionner entre les 2 peaux. Ces relations qui conduisent naturellement au concept de panneau sandwich deviennent (2):.

(2) $Y = Y_1 + Y_2$

(2a) $Y_1 = Kg*P*L^3/D$	avec	Kg = constante P = charge L = portée

(2b) $Y_2 = Ks*P*L/b(c+f)G_c$

Gc = module de Coulomb de l'âme

(2c) h = c+2*f

h = épaisseur sandwich
c = épaisseur âme
f = épaisseur peaux

dans ce cas **(2d) D= «E»I** avec **(2e) «E»=E_f*(1-c^3/h^3)**

La flèche du sandwich Y est la somme d'une composante Y1 due à sa rigidité en flexion et d'une composante Y2 due à la déformation par cisaillement de l'âme.

Comme le terme Y1 varie en fonction du cube de la portée, il augmente fortement avec la portée, contrairement au terme Y2 qui proportionnellement devient faible pour ces portées importantes. Le panneau sandwich est de ce fait plutôt adapté aux grands éléments reposant sur des appuis éloignés.

3) Problématique du panneau sandwich structurel

La solution de base d'un élément constructif est actuellement une peau monolithique qui apporte l'esthétique et les propriétés de surface requise par l'application, et une structure porteuse qui permet de satisfaire aux efforts que l'élément subit. La figure 4 schématise cet élément

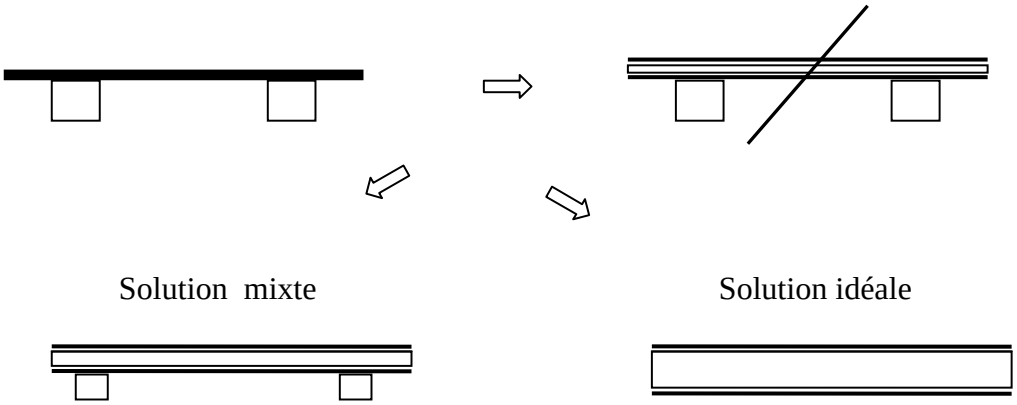


Figure 4

Pour passer à la solution sandwich, une première démarche (la plus facile), consiste à garder la structure porteuse qui est déjà calculée et optimisée, et à remplacer la peau monolithique.

Cette solution simple n'est satisfaisante ni techniquement ni économiquement car elle n'est pas optimisée :

- Techniquement, le panneau sandwich envisagé dans cette solution sera relativement mince et donc peu rigide car posé sur une ossature. Le gain de poids sera également faible car seule

une petite proportion du produit lourd de la partie monolithique aura été remplacé par une âme légère.

- Economiquement, cette solution sera onéreuse car il n'y aura pas de gain sur l'ossature.

La bonne solution est de concevoir un système nouveau avec un panneau sandwich plus rigide donc plus épais et une ossature allégée avec des entraxes support plus éloignés. Cette solution optimisée sera plus légère et de ce fait plus économique.

4) autres propriétés

Alors que les propriétés mécaniques d'un panneau sandwich dépendent d'une part du module d'élasticité des peaux et d'autre part de l'épaisseur et de la tenue au cisaillement de l'âme, d'autres propriétés complémentaires vont dépendre, soit des peaux, soit de l'âme soit du couple formé par les deux. On peut citer:

L'esthétique apportée par les peaux
L'abrasion et la dureté de surface où n'intervient que la peau
Le poinçonnement où celui de la peau à une grande influence
La compression où le rôle de l'âme est prépondérant
L'isolation thermique et l'isolation acoustique apportées par l'âme
Le choc où la peau et l'âme jouent un rôle équivalent

Exemples de caractéristiques mécaniques et physiques apportées par un panneau sandwich structurel :

4.1 Rigidité et poids

4.1.1) influence des peaux

Le tableau 1 présente l'évolution de la charge à appliquer sur un panneau sandwich à âme de 20mm, en fonction de peaux de modules d'Young **E** différents :

peaux		**Polyester Verre**	**Epoxy Carbone**	**Alu**	**Acier**
E	MPa	10 000	100 000	70 000	200 000
Charge	daN/m²	75	350	315	481

Tableau 1 : charge répartie en daN/m² par ml de largeur ; portée 1 m, flèche 1/200
Peaux de 1mm ; âme de 20 mm, G=8Mpa

La charge à appliquer pour obtenir une déformation du 1/200 augmente avec le module d'Young des peaux, néanmoins l'influence du cisaillement de l'âme fait qu'il n'y a pas proportionnalité.

4.1.2) influence de l'épaisseur de l'âme

Le tableau 2 présente l'évolution de la charge à appliquer sur un panneau sandwich de peaux verre/polyester de 1mm, de module 10 000 MPa, en fonction de l'épaisseur de l'âme (module 8 MPa) qui caractérise son Inertie **I**:

Ep âme	**mm**	**10**	**20**	**40**	**80**
Charge	daN/m²	22	75	259	849
Poids	daN	4,7	5,6	7,4	10,3

Tableau 2 : charge répartie en daN/m² par ml de largeur; portée 1 m, flèche 1/200
Peaux verre/polyester de 1mm; module 10 000 MPa

Pour des peaux données, la charge à appliquer, pour une déformation du 1/200 est cette fois-ci en fonction de l'épaisseur, nettement supérieure à la simple proportionnalité précédemment observée vis-à-vis du module d'Young. Quand l'épaisseur passe de 10 mm à 80 mm, la charge est multipliée par 38 alors que le poids n'est que doublé.

4.2 autres caractéristiques

4.2.1 Isolation thermique

Le fait d'introduire dans le panneau une âme légère apporte les caractéristiques suivantes présentées dans le tableau 3 pour plusieurs matériaux d'utilisation courante :

Polystyrène expansé	Mousse PVC	Nid d'abeilles PP	Bois	Polyester
0,5	0.5	0.3	0.1	0.01

Tableau 3 : Résistance Thermique pour une épaisseur de 20 mm (en m²°C/W)

La solution sandwich structurelle réalisée est aussi ou pratiquement aussi isolante qu'une solution purement isolante utilisant un isolant thermique comme le polystyrène, et 30 fois plus isolante qu'un matériau comme le polyester, ou 3 fois plus isolante que du bois.

4.2.2 Isolation acoustique

L'isolation acoustique est beaucoup plus difficile à aborder de façon théorique que l'isolation thermique. Alors que l'isolation thermique se calcule facilement en fonction de l'épaisseur et des constituants du panneau, l'isolation acoustique se mesure et dépend de nombreux paramètres comme les fréquences acoustiques, les dimensions des panneaux, leurs modes de fixations …

Un panneau sandwich est favorable à l'isolation acoustique car il permet de jouer sur les fréquences de résonance. Selon les âmes, l'absorption des vibrations qui créent le bruit sera favorisée si celles-ci possèdent un bas module d'élasticité.

4.2.3 Esthétique et mise en œuvre

Un aspect non négligeable, mais également non chiffrable, de la solution sandwich est l'esthétique. Contrairement aux solutions traditionnelles qui utilisent des nervures pour les rigidifier, la solution sandwich autorise des lignes plus fluides et plus cosmétiques. La possibilité de panneaux de grandes dimensions est également un facteur favorable à l'esthétique, notamment dans l'industrie du Bâtiment.

Dans ce cas les nouvelles technologies de mise en œuvre par RTM et ses variantes sont d'autant plus économiques et plus faciles à mettre en œuvre que le moule est simple. Le surcoût de mise en place d'une âme est également très nettement diminué par rapport aux solutions traditionnelles.

5) Conclusions

La solution sandwich structurelle permet de réaliser des éléments structurels qui associent simultanément de nombreuses propriétés mécaniques et physiques qu'il est habituellement nécessaire de réaliser avec différents produits complémentaires. La solution sandwich permet d'intégrer dans une seule opération plusieurs fonctions, ce qui la rend économiquement compétitive.

Le concept sandwich, pour être optimisé, doit cependant toujours être étudié à l'origine pour prendre en compte tous ses aspects.

Si le Bâtiment avec ses panneaux de grandes dimensions offre les débouchés les plus variés en éléments de façades, portes ou décoration intérieure, d'autres industries utilisent ce type de panneaux : la carrosserie industrielle où le remplacement du contre-plaqué apporte la légèreté ; la construction nautique de plaisance où la durabilité et isolation acoustique sont privilégiées et enfin tous les biens d'équipement réalisés en polyester renforcé verre où la liberté de formes est particulièrement appréciée.

Dans le cas de l'Automobile l'association d'une âme polypropylène se fait plutôt avec des peaux thermoplastiques, qui permettent des cadences de fabrication plus élevées. Là aussi, la recherche de confort acoustique, de l'allègement pour diminuer les rejets de CO_2 ainsi que les nouvelles exigences en matière de recyclage privilégient ce type de solution.

Dans tous les cas la solution sandwich structurelle, de par sa légèreté, permet d'économiser de la matière. Avec la raréfaction des matières premières et l'augmentation de leur prix , cette technique s'inscrit parfaitement dans l'optique de « développement durable » indispensable à la sauvegarde de notre planète.