

## DALLE BOIS LA MÉTISSE

*Métis (littéralement le conseil, la ruse), dans la mythologie, était une divinité représentant l'Intelligence et la Sagesse, première épouse de Zeus.*

*Mais Zeus voulu se saisir de son intelligence et de sa ruse et la dévora d'amour. Pas grave, depuis sa demeure interne, Métis dicta à Zeus la différence entre le Bien et le Mal.*

*La dalle bois la Métisse, est donc une divinité technique cachée dans le ventre des bâtiments, pour les guider vers la sagesse de la neutralité carbone.*

### **1- Préliminaire**

Le domaine des constructions en bois, notamment au niveau des structures porteuses, est en fort développement pour des raisons d'impact carbone des solutions constructives. On peut signaler l'arrivée de la nouvelle réglementation RE 2020 de type E+/C-, qui joue un rôle de catalyseur vers ces technologies plus propres d'un point de vue environnemental et bilan carbone.

Pour améliorer l'impact carbone des bâtiments, une stratégie découplée est progressivement mise en place avec, d'une part, la performance thermique du bâtiment pour réduire les consommations de carburant pour le chauffage pendant la vie du bâtiment, et d'autre part, des matériaux de construction naturels et renouvelables pour éviter l'utilisation des matériaux de synthèse avec fort dégagement de carbone des usines, dans les aciéries ou dans les cimenteries.

Dans cette nouvelle norme RE 2020 E+/C-, la valeur E+ donne la performance thermique du bâtiment, avec E3 correspondant à des niveaux passifs pour l'isolation, et E4, le maximum, à des bâtiments à énergie positive (BEPOS). C- donne l'impact carbone de la solution, avec C1 et C2, les deux échelons de l'impact CO<sub>2</sub> sur le bilan des systèmes constructifs.

Pour un niveau C2, la production de CO<sub>2</sub> des matériaux de la construction doit être inférieur à 750 kg de CO<sub>2</sub> produit par m<sup>2</sup> de surface habitable pour des logements, ou de surface de plancher pour des bâtiments recevant du public. Pour atteindre cette valeur très ambitieuse, la construction doit faire appel au bois en structures, voire même à la terre, comme par exemple la brique de terre crue. Elle doit également faire appel aux isolants biosourcés, tels que la paille, la ouate de cellulose ou encore la laine de bois.

Mais il devient inconcevable de poursuivre avec des isolants minéraux de synthèse, telle que la laine de verre ou la laine de roche, qui consomme bien trop d'énergie fossile primaire pour sa fabrication industrielle, et pose donc un problème d'élimination en fin de cycle de vie.

Par conséquent, la construction du futur doit non seulement intégrer les matériaux naturels dans ses structures porteuses. Elle doit également faire appel à des bétons de recyclage ou des bétons bas carbone, voire même des bétons de chanvre, avec l'armature métallique réduite par l'usage de fibres végétales pour l'armature et la performance en traction. Ces matériaux sont nécessaires pour les ouvrages en béton armé, indispensables dans la quasi-totalité des constructions, pour les fondations, les dalles de rez-de-chaussée, ou encore les cages d'escalier et cages d'ascenseur.

## **2- Les planchers traditionnels**

Dans le cas des structures porteuses, si les murs porteurs doivent intégrer la performance thermique, les planchers ne revêtent pas spécialement de fonction thermique. Ils offrent plutôt des propriétés acoustiques importantes et des propriétés architecturales exprimées.

Dans le domaine des planchers, l'histoire des constructions nous a laissé des exemples de plafonds bois apparents, notamment les plafonds à la française, qui montrent une solive carrée, avec une alternance d'un vide pour un plein.

S'agissant des plafonds traditionnels, lorsque le bois n'était pas visible, le plafond pouvait être construit en plâtre, en stuc ou encore en staff ; des moulures très travaillées venait souligner la jonction mur-plafond.

D'un point de vue architectural, la rencontre de deux plans orthogonaux est toujours un sujet de traitement où l'on recherche un détail personnalisé. C'est ainsi que sont nées toutes sortes de corniches qui ont constitué le large vocabulaire d'architecture d'intérieur des ouvrages soignés, à l'image des grands hôtels ou des maisons de maîtres.

Ce développement fait à tel point partie des cultures que, lorsque l'on entre dans une pièce, l'on regarde vers le haut pour observer cette jonction. Grâce à ces ajouts, l'expression architecturale s'est développée en cachant les réseaux derrière ces ouvrages ornementaux, à la manière des distributions électriques qui apportent un éclairage indirect, puisque la technique est toujours liée à l'architecture et inversement. C'est ce qu'on appelle une conception intégrée avec les besoins de l'ingénierie.

### **3- Le plancher-plafond au XXe siècle**

Avec l'apogée du béton, les planchers ont été largement mis en œuvre avec des dalles, de 18 à 20 cm d'épaisseur, en béton coulé sur place, intégrant une grande quantité d'acier afin de reprendre les efforts de traction en sous face de dalle. La compression occurrente dans la partie supérieure de la dalle était, quant à elle, reprise par le béton lui-même sans armature.

De plus, ces dalles coulées sur le chantier sont compatibles avec tous les réseaux techniques et de fluides telles que l'eau sanitaire et l'eau potable ou encore les pieuvres de l'électricité, noyées dans cette épaisseur de dalle. Il s'agit de la construction traditionnelle, en filière dite humide, qui nous impose de patienter 15 à 20 jours afin que le béton sèche.

La solution la plus économique consiste à peindre la sous-face de la dalle qui constitue le plafond de l'appartement. D'un point de vue du confort acoustique, cette solution est extrêmement pauvre et pénalisable. Elle génère par ailleurs une grande fatigue des occupants qui subissent cette réverbération acoustique abrutissante des sons. Dans le cadre des nouvelles constructions respectant la RE 2020, le confort acoustique doit également être amélioré ; cette solution trop basique n'est alors plus suffisante.

Afin de réaliser des planchers plus écologiques en bois, il est aujourd'hui peu probable de revenir à la construction de plafonds à la française. Les sections de bois seraient trop importantes, avec des problèmes de séchage évidents, et un impact certain sur la ressource industrielle. Il a par conséquent fallu réfléchir à des techniques nouvelles basées sur les matériaux d'aujourd'hui : BMR, bois massif reconstitués et secs ou les bois lamellé-collé. Nous avons développé à ce titre la dalle O'portune, en planches aboutées vissées décalées sur la hauteur, ou en dalle mixte bois béton, avec ces mêmes planches décalées, mais avec l'ajout d'une nappe de béton en partie supérieure pour reprendre les efforts de compression.

Avec l'arrivée des matériaux CLT (Cross Laminated Timber) au début du XXI<sup>e</sup> siècle, des plaques de lamellé-collé d'épaisseur variable de 20 mm à 240 mm, sont disponibles pour la fabrication des murs, et plus particulièrement des planchers, eux aussi réalisables avec de telles plaques pleines de bois collé.

La prédalle industrielle est alors livrée à la longueur à porter, avec une sur-longueur pour la surface d'appui, et par éléments de 120 cm de largeur (ou de 240 cm) comme toute prédalle, afin d'optimiser le transport sur le chantier.

Dans ce cas d'une prédalle en CLT, nous obtenons une surface lisse au plafond, de type planche bois de grande largeur, qui a la possibilité de rester en l'état, naturelle ou avec une lasure, ou bien être habillée d'un faux-plafond rapporté davantage technique (sur l'acoustique aérien, par exemple).

#### **4- L'innovation**

L'innovation de la dalle Métisse repose sur le développement d'une nouvelle solution novatrice qui prend en compte l'ensemble des exigences techniques et architecturales d'une dalle bois d'aujourd'hui, avec sous-face formant plafond laissé visible, notamment :

- La capacité de portance en structure bois, y compris pour des portées libres jusqu'à 15-20 m, donc la capacité à maîtriser les éléments de calcul permettant de garantir une rigidité suffisante pour atteindre les déformations verticales exigées par les normes et les fréquences propres admissibles, soit plus de 8 Hz, dans toutes les configurations.

Et bien évidemment, la capacité à éviter les points faibles structurels pouvant créer des fissures, ou des glissements puis des micro-ruptures suite aux sollicitations ;

- La capacité à offrir un plafond bois nervuré, plus performant qu'une surface lisse, pour le confort acoustique de l'utilisateur ;
- La capacité d'intégrer les réseaux fluides, eau et électricité ;
- La capacité à offrir une architecture plus généreuse au niveau du traitement apparent du raccord intérieur mur-dalle ;
- L'efficacité économique, obtenue en utilisant en quantité optimisée des matériaux bois disponibles sur le marché de la matière première. Cette approche est résumée par un slogan : « Plus d'ingénierie, moins de matière » au service d'un bilan environnemental optimal.

A partir de la dalle O'portune en planches assemblées par vissage, l'idée a consisté à développer une solution générique intégrant un système porteur différent, en principe interdit en conception structurale parce que trop fragile et trop défavorable, ou encore trop fissile pour le bois.

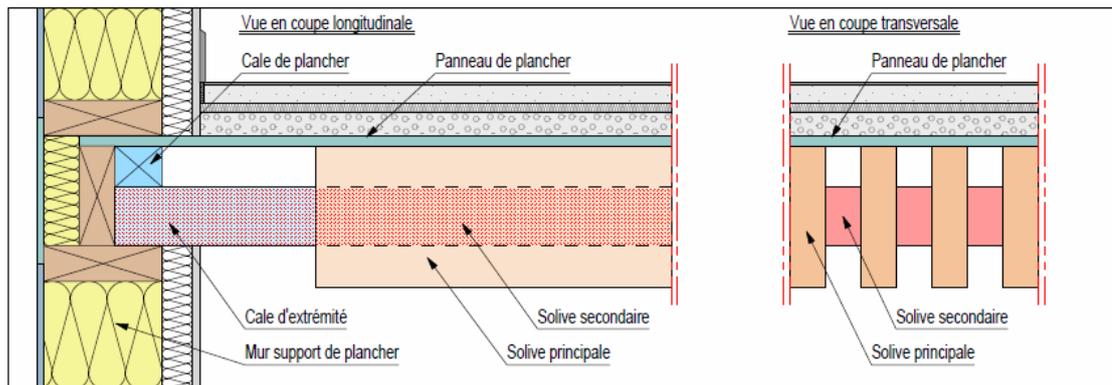
Nous allons rester dans la thématique des planchers massifs, avec une association pleine de planches unitaires, additionnées transversalement jusqu'à remplir toute la surface de la dalle. Ce jeu de planches est assemblé par clouage, vissage ou encore collage, avec les technologies connues.

En premier lieu, la portance ou la rigidité du plancher va être apportée par une solive primaire de hauteur statique suffisante pour permettre la rigidité, de l'ordre d'une hauteur égale à la portée divisée par 25. Cette solive, qui donnera la capacité en flexion de la dalle, ne posera en revanche pas sur l'appui mural.

Il est a priori impossible de mettre en œuvre cette solution. C'est la raison pour laquelle elle n'a pas été développée. Impossible parce que si la solive ne porte plus elle-même sur le mur support, il sera nécessaire qu'elle reçoive, à un endroit ou à un autre, les efforts d'une autre structure associée, qui elle portera sur le mur et transmettra la réaction d'appui d'effort tranchant généré par le mur. Cette solution imposant ce transfert de charges n'est par conséquent pas économique puisqu'elle s'avère trop complexe. Pourquoi faire compliqué lorsqu'on peut faire simple !

Si la solive majeure ne porte donc pas sur l'appui, une autre membrure va devoir venir sur cet appui. Il s'agira de **la solive secondaire**, mais de hauteur statique très inférieure à la solive primaire, donc sans apport pour la rigidité globale du plancher.

Avec ce système de solives combinées par une suite transversale, la solive primaire s'arrêtera à plusieurs cm de l'appui, ou plusieurs dizaines de cm, selon la **fig 1**.



**Figure 1 : Concept**

Lorsqu'on calcule ce type de solivage primaire-secondaire, les efforts de flexion sont maximum en haut (compression) et bas (traction) de la solive primaire, et contraignent donc cette solive primaire à transférer l'ensemble de ces efforts à la solive secondaire afin qu'ils descendent sur le mur. Ce transfert est possible en vissant, collant ou clouant les deux types de solives entre elles. Pour la fonctionnalité du plancher, un panneau de type OSB ou équivalent, est posé sur le chant supérieur des solives primaires.

Le calcul des fissures en tête des solives primaires est en général critique et des renforts doivent être apportés, sous peine de voir des fissures et donc des ruptures fragiles apparaître sans prévenir. Pour traiter ce sujet purement structurel, il sera possible de poser des vis de frettage, tel que le permet l'Eurocode 5.

Le sujet de l'innovation repose donc sur cette dalle massive comportant au moins une solive primaire ayant la capacité d'être suffisamment rigide en flexion pour garantir la déformée du plancher et sa fréquence vibratoire supérieure à 8 Hz.

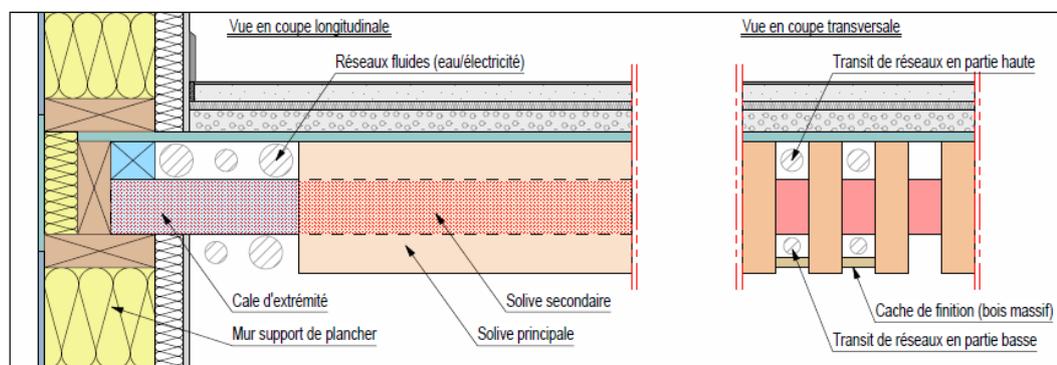
Lorsque la structure de l'invention est dimensionnée pour reprendre la déformée et la fréquence du plancher, il ne reste plus qu'à garantir le transfert d'effort de la solive primaire à la solive secondaire, et notamment l'effort tranchant reposant sur réaction d'appui sur le support.

Cette réaction d'appui est forcément induite dans la solive secondaire, puisqu'elle seule porte sur le support. Le transfert des efforts de la réaction d'appui va ensuite se faire de la solive secondaire à la solive primaire.

Malheureusement, plus la solive primaire s'éloignera de l'appui, plus l'effort tranchant transmis sur la solive primaire sera difficile à transférer sans fissuration, donc sans renfort.

Nous allons par conséquent innover en concevant ces renforts, dès que nécessaire, comme **des cales additionnelles**. Nous utiliserons ces cales pour remplir les fonctions recherchées, à savoir :

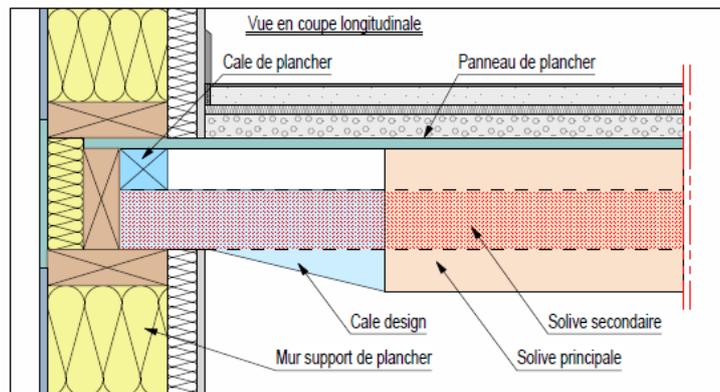
- Permettre le déploiement des réseaux en X (sur la longueur de la dalle) et en Y (sur la largeur de la dalle), selon schéma de la **fig 2**, avec des appuis ponctuels pour terminer le plancher avec le panneau OSB de plancher ;



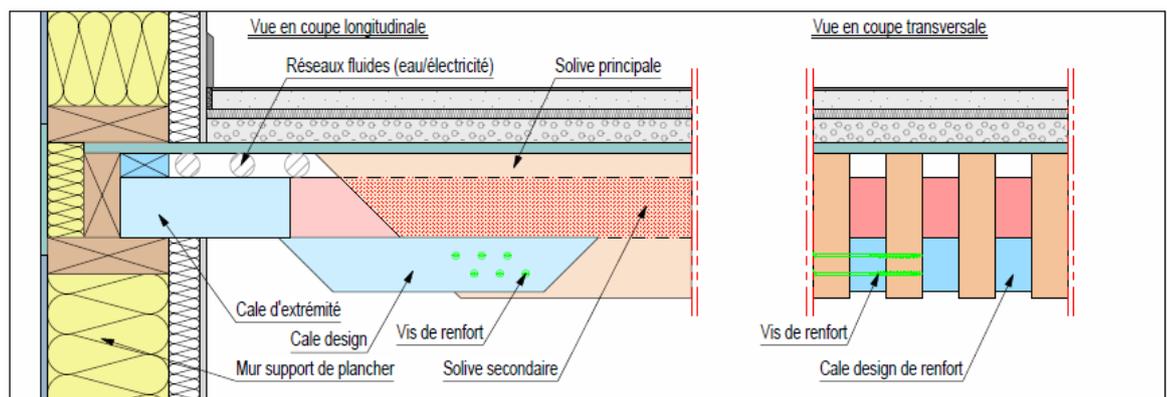
**Figure 2 : Intégration des réseaux**

- Renforcer la solive primaire à l'entrée de l'effort transmis par la solive secondaire pour ne pas faire fissurer la solive primaire en tête, en introduisant cette **cale additionnelle** ;
- Créer un design libre, avec des formes linéaires ou non linéaires, en aile d'avion, selon **fig 3**, ou en retombée partielle, **fig 4**, ou autres formes, par exemple **fig 5**, ou encore en intégrant des matériaux ou des essences différentes ;

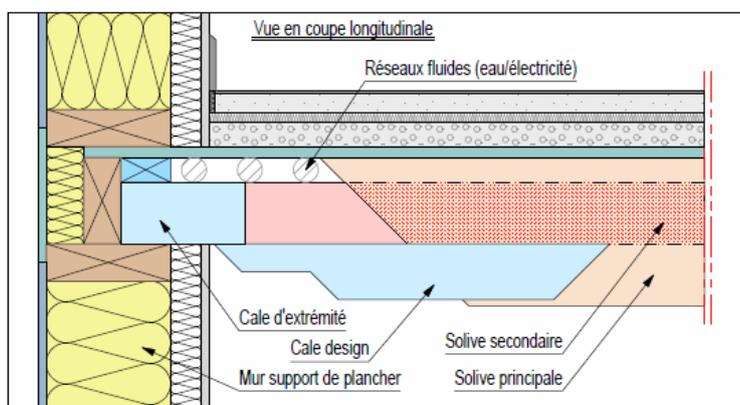
- Mélanger des essences, notamment en introduisant des bois feuillus, de couleur et d'expression naturelle différentes, notamment le hêtre, le chêne, le frêne, le peuplier ou encore des merisiers ou autres arbres fruitiers, pour varier l'animation architecturale grâce au jeu des teintes naturelles.



**Figure 3 : Corniche design**



**Figure 4 : Cale design renfort de la solive primaire**

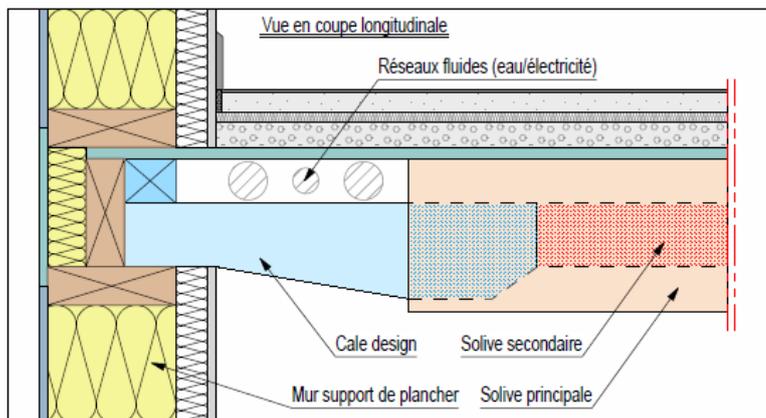


**Figure 5 : Cale design renfort de la solive primaire**

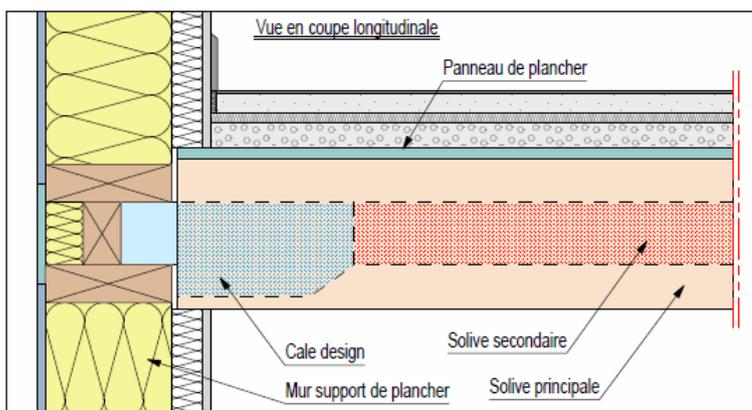
Cette cale additionnelle étant de volume réduit, l'impact financier sur le prix du plancher au m<sup>2</sup> sera peu significatif, donc intéressant d'un point de vue économique. Une nouvelle essence pourra notamment être introduite en fonction de la ressource locale disponible, en circuit court, gage d'économie et d'un bilan environnemental efficace.

Nous allons par conséquent ajouter une cale, considérée comme un élément additionnel, qui facilitera le transfert de ces efforts tout en créant une corniche négative. Ce détail de raccord mur plafond est donc un élément totalement innovant.

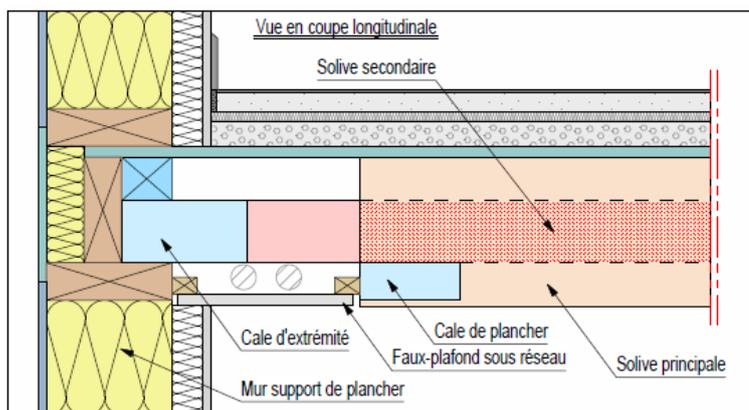
Dans une autre configuration, c'est la tête de la solive secondaire qui recevra la cale additionnelle, exemple sur la **fig. 6** et **fig. 7**. La corniche négative ainsi créée peut recevoir des réseaux, apparents ou cachés par une plaque de finition, de type faux-plafond habituel, selon **fig. 8**.



**Figure 6 : Cale devenant tête de la solive secondaire**



**Figure 7 : Cale sans espace pour les réseaux**

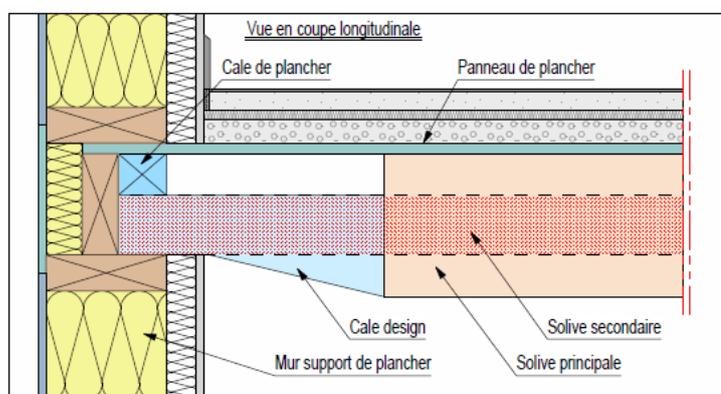


**Figure 8 : Faux-plafond dans réseaux**

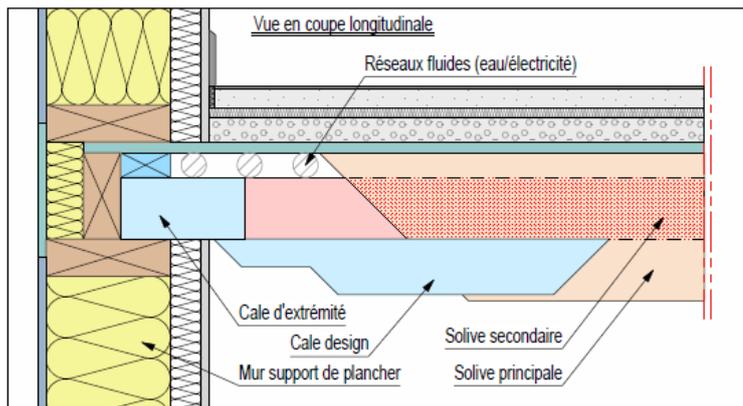
Cette cale peut être prévue en bois feuillu pour limiter la fissibilité, et donc transférer les efforts sans risque d'endommager la solive primaire.

Nous pourrions parvenir à ce résultat avec seulement la solive primaire et/ou la solive secondaire en bois feuillu (qui ne fissure pas facilement). Cette solution ne serait en revanche pas compétitive si l'on tient compte de l'écart de prix entre le feuillu de type hêtre, chêne, ou encore frêne, et le traditionnel résineux de type épicéa, sapin ou encore douglas. Il devient donc indispensable de réduire le volume de cette cale additionnelle, sur une première structure en essence de résineux classiques disponibles sur le marché.

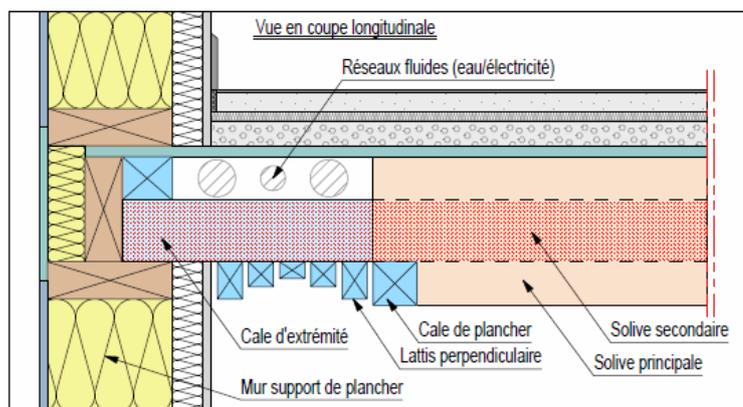
Pour souligner l'aspect architectural, la cale en bois dur peut être façonnée avec des angles et/ou des formes architectoniques, intégrées à des coupes symétriques, parallèles ou transversales, selon la **fig. 3**, **fig. 5**, ou **fig. 9**.



**Figure 3 : Corniche design**

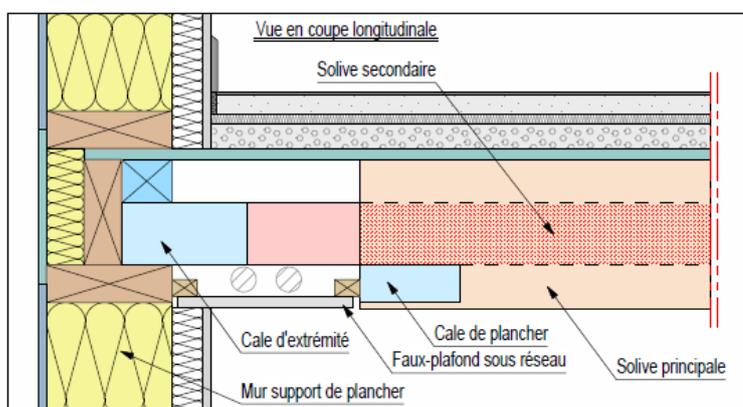


**Figure 5 : Cale design renfort de la solive principale**



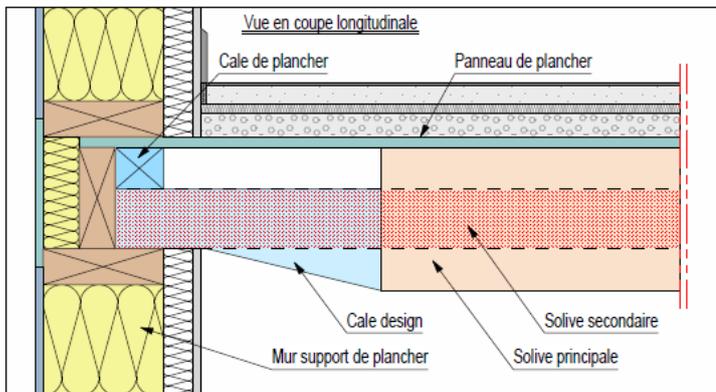
**Figure 9 : Avec cales transversales et lattis perpendiculaires**

Dans une autre expression architectonique, les réseaux sont intégrés dans le dégagement opéré par la cale de bois dur. Pour rendre ensuite les réseaux invisibles, un cache peut venir fermer la zone réseau, selon la **fig. 8**. Il peut s'agir d'une plaque de bois massif ou collé, ou encore d'une plaque d'un matériau acoustique, tel que le panneau Rockfon®, ou même une grille de ventilation couplée à un faux-plafond plus traditionnel.

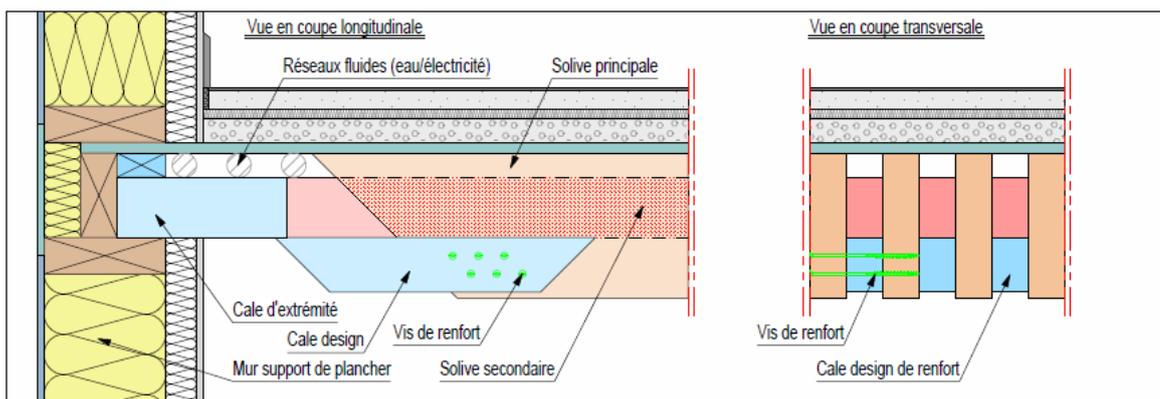


**Figure 8 : Faux-plafond dans réseaux**

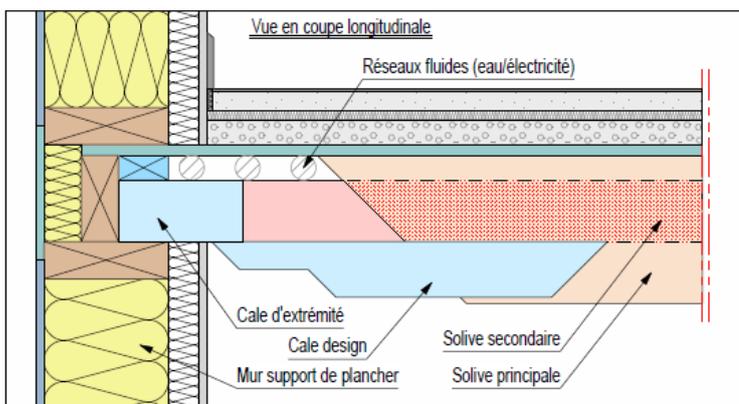
Cette solution peut être inversée au niveau du dégagement sur la solive secondaire, avec les réseaux posés sur le dégagement supérieur formé par le retrait de la solive primaire, selon **fig 3, 4, 5, 6** et **8**. Ces solutions rendent les réseaux moins accessibles que lorsqu'ils sont situés en partie inférieure de la solive secondaire.



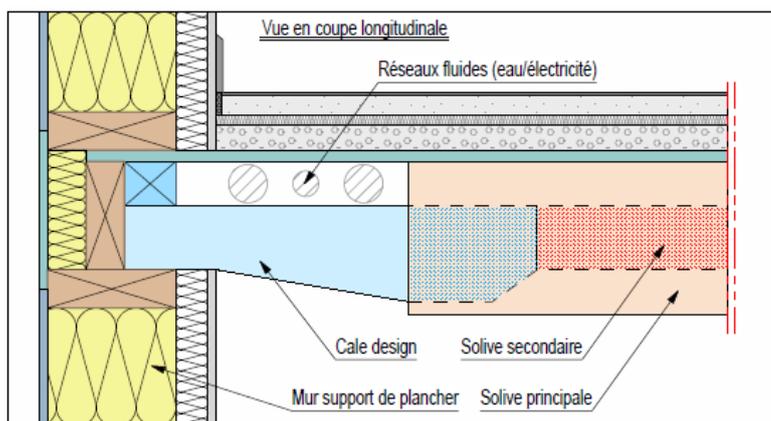
**Figure 3 : Corniche design**



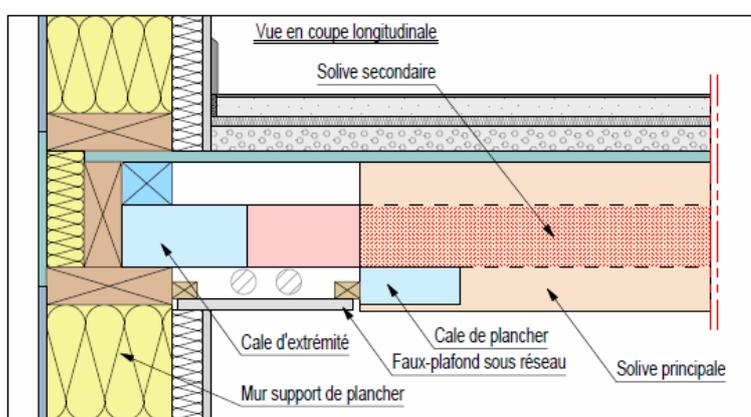
**Figure 4 : Cale design renfort de la solive primaire**



**Figure 5 : Cale design renfort de la solive primaire**



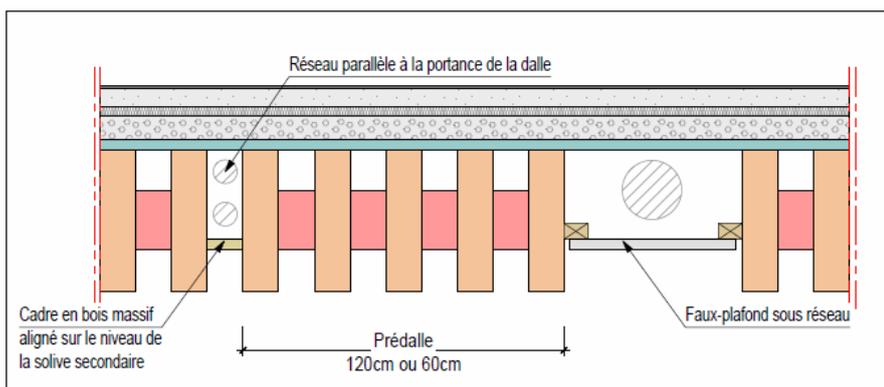
**Figure 6 : Cale devenant tête de la solive secondaire**



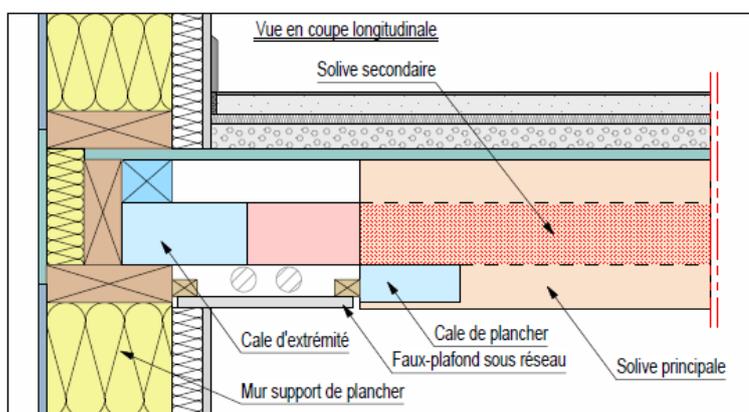
**Figure 8 : Faux-plafond dans réseaux**

La cale additionnelle développée en corniche inférieure peut être préfabriquée au moyen de fixations invisibles. Elle peut également être démontable pour faciliter l'entretien des réseaux, ou pour l'addition de nouveaux réseaux en cas de changement de destination de l'ouvrage. Il peut s'agir de bureaux convertis en logements, ou des logements en bureaux ou encore en ERP (Ecole, Ephaad, dispensaires, centres de loisirs, etc).

Nous constatons que ce type de plancher offre à la fois une capacité à intégrer des réseaux sur l'axe X, la longueur du plancher, notamment au niveau des joints de module de prédalle, **fig 10**, que sur l'axe Y au niveau de la cale additionnelle démontable, **fig 8**.



**Figure 10 : Passage de réseau**



**Figure 8 : Faux-plafond dans réseaux**