

NEMOZ Etudes

Bureau technique spécialisé

Structure & Construction bois

Valorisation des bois locaux dans les ouvrages de structure et de construction des bâtiments

*Étude prospective
sur les territoires de la Sainte-Beaume et de la
Provence Verte*



**RÉGION
SUD**
PROVENCE
ALPES
CÔTE D'AZUR



L'EUROPE INVESTIT DANS LES ZONES RURALES



Projet LEADER – Perspectives pour la valorisation dans la construction des bois du Sud-Var
Bureau d'études techniques structure et construction bois NEMOZ Études

Table des matières

Introduction	2
1. Territoire et ressources en bois d'œuvre.....	3
A. Territoire forestier.....	3
B. Essences et caractéristiques	4
C. Types de bois régionaux et valorisations	12
2. Enjeux constructifs et contexte réglementaire	16
A. Structure - Vérification de la solidité des ouvrages.....	17
B. Durabilité des bois de structure.....	27
3. Stratégie de valorisation et d'utilisations des bois dans les constructions.....	28
A. Enjeux	28
B. Différents axes technologiques :	30
C. Les technologies utilisables pour les parois structurelles.....	33
D. Technologies spécifiques pour l'isolation thermique des murs.....	45
E. Types de projets et articulations avec les ouvrages en maçonnerie	49
Conclusions et perspectives.....	51

Introduction

Le présent rapport présente un travail de prospective pour la valorisation des bois issus des territoires de la Sainte-Baume et de la Provence Verte dans les ouvrages de construction.

L'exploration des perspectives pour l'utilisation des bois locaux dans la construction est menée en trois temps : Tout d'abord les ressources forestières du territoire sont présentées et les caractéristiques des bois présents sont analysées en vue de leur utilisation dans la construction. Ensuite les enjeux techniques et réglementaires pour l'utilisation de ces bois dans la construction sont détaillés. Enfin la dernière partie explore les stratégies constructives envisageables pour la valorisation de ces bois à l'échelle des bâtiments et des ouvrages.

Ce travail commandé par l'association « La vallée du Gapeau en transition » par l'intermédiaire de Loïc Frayssinet été réalisé en 2023 par Samuel Némoz, ingénieur spécialisé en structure et construction bois dans le BET NEMOZ Études (contact : *Samuel.nemoz@yahoo.fr*).

1. Territoire et ressources en bois d'œuvre

A. Territoire forestier

Le territoire pris en compte pour cette étude est celui de la moitié sud du département du Var.

En simplifiant on y repère trois grands contextes géologiques sur lesquels se développent des arbres adaptés au climat méditerranéen.

Les massifs calcaires de la Sainte Baume et des monts Toulonnais

Dans ces zones on trouve des forêts dominées par les pins. Il s'agit principalement des pins d'Alep mais sont aussi présent des pins sylvestres et des pins parasols. On y trouve également des forêts de chênes verts et pubescents dans des peuplement mixtes et homogènes. Les forêts sont parfois jeunes et se sont développées sur des terrains libérés par la déprise agricole. Les aménagements en taillis dominant sur ces zones. On observe également des forêts anciennes avec des arbres de grandes dimensions comme celle se trouvant au nord de la chaîne de la Sainte-Baume.

Massif cristallin des Maures

Sur le massif cristallin des Maures ce sont les forêts dominées par les chênes et notamment le chêne liège qui sont les plus représentées. Les pins sont également présents dans une plus faible proportion. De manière locale on peut y remarquer des châtaigneraies dans le nord du massif sur les communes de Collobrières, La Garde-Freinet, Gonfaron, Les Mayons et Pignans.

Vallées

Dans les vallées où les habitats et l'agriculture sont les plus développés on observe moins de forêts que dans les zones où le relief est marqué. Cependant des arbres de moyennes et grandes dimensions y sont présents notamment dans les haies, les parcs et les jardins. En plus des pins et des chênes, on y retrouve notamment des cyprès constituant les haies ainsi que des peupliers.

B. Essences et caractéristiques

Caractéristiques essentielles pour l'utilisation des bois

Chaque essence d'arbre possède des caractéristiques propres qui la rende plus ou moins adaptée à la réalisation d'ouvrages de constructions. Dans la perspective de valorisation de ces essences locales dans les bâtiments, il est nécessaire de considérer en priorité les caractéristiques essentielles suivantes :

La conformation des arbres

La conformation générale des arbres (dimensions et forme du tronc, nombre et répartition des branches sur le tronc) donne une indication sur les pièces de structures pouvant être obtenues. Il s'agit de caractéristiques majeures pour les possibilités l'utilisation des bois en ouvrages de structure. Ces caractéristiques peuvent être très variables selon les zones géographiques, les forêts et les arbres d'une même essence.

La résistance des bois

La résistance des bois est évidemment une caractéristique essentielle pour le dimensionnement des sections de bois en structure mais également les types d'assemblages. Elle est affectée par la densité des bois, l'orientation de son fil et la présence des nœuds ou de défauts. La possibilité de définir la résistance des bois sciés par classement visuel selon la norme NF B 52-1 donne une indication sur l'utilisation possible en structure en conformité de la réglementation (voir chapitre sur la réglementation pour l'utilisation des bois en structure).

Les durabilités des bois vis-à-vis des agents de dégradations

Les durabilités naturelles ou pouvant être obtenues par traitement vont être des caractéristiques importantes pour les possibilités d'utilisation d'une essence selon la classe d'emploi de l'ouvrage à réaliser. Pour les essences d'utilisation les plus courantes il est possible d'utiliser le classement des essences selon les normes NF EN 350-2 Durabilité du bois massif et FD P 20-651 Durabilité des éléments et ouvrages en bois. Les informations données par ces deux normes sur les essences présentes sur le territoire sont synthétisées dans des tableaux à la fin de ce chapitre.

Les classes d'emploi correspondent aux niveaux d'humidification auquel seront exposés les ouvrages bois et conditionnent les actions de dégradation des champignons et insectes à larves xylophages. Les différentes classes d'emplois sont définies dans le tableau ci-après :

Classe d'emploi 1

Situation dans laquelle le bois est à l'intérieur, entièrement protégé des intempéries et non exposé à l'humidification.

En général dans cette situation les bois ont une humidité d'équilibre moyenne comprise entre 6% et 12%

Les attaques par les insectes à larves xylophages incluant les termites sont possibles.

Classe d'emploi 2

Situation dans laquelle le bois est à l'intérieur ou sous abri, protégé des intempéries mais avec possibilité d'humidification occasionnelle. Le séchage des bois est très rapide

En général dans cette situation les bois ont une humidité d'équilibre moyenne comprise entre 12% et 20%

Les attaques par les insectes à larves xylophages incluant les termites sont possibles.

Classe d'emploi 3a

Situation dans laquelle le bois est à l'extérieur sans contact avec le sol et est soumis à une humidification fréquente sur des périodes courtes.

Le séchage des bois est complet avant une nouvelle période d'humidification

Il est exposé aux intempéries directes sur une conception permettant l'évacuation rapide de l'eau

Les attaques par les insectes à larves xylophages incluant les termites sont possibles.

Classe d'emploi 3b

Situation dans laquelle le bois est à l'extérieur sans contact avec le sol et est soumis à une humidification très fréquente sur des périodes significatives.

Le séchage des bois est complet avant une nouvelle période d'humidification

Il est exposé aux intempéries directes sur une conception ne permettant pas l'évacuation rapide de l'eau

Les attaques par les insectes à larves xylophages incluant les termites sont possibles.

Classe d'emploi 4

Situation dans laquelle le bois est :

- soit en contact avec le sol ou support sujet à humidification récurrente
- soit en contact avec l'eau douce en immersion partielle
- soit dans une exposition à une source d'humidité régulière avec une conception induisant une rétention importante

Les attaques par les insectes à larves xylophages incluant les termites sont possibles.

Classe d'emploi 5

Situation dans laquelle le bois est immergé partiellement ou en totalité dans l'eau de mer

Les parties non immergées peuvent être dégradée par les insectes à larves xylophages

Les principales essences présentes sur le territoire et leurs caractéristiques essentielles pour une utilisation en bois d'œuvre sont détaillées ci-après pour les résineux et les feuillus :

Les conifères :

Pin d'Alep - Pinnus hallepensis Miller

Essence très répandue et répartie sur le territoire.

Arbres aux dimensions variées avec la présence de peuplements jeunes et anciens. Des études ont montré la robustesse de cet arbre aux changements climatiques et sa présence est amenée à se renforcer.

Arbres souvent peu droits. Certains arbres ayant grandi dans des forêts peu denses peuvent présenter de nombreuses branches sur toute la hauteur du tronc.

Essence non présente dans les normes FD P20-651 et NF EN 350-2.

Des essais ont montré que son aubier est imprégnable et qu'avec un traitement approprié cette essence peut être utilisée en classe d'emploi 2 et 3a.

La classe de résistance des pièces sciées peut être définie selon la norme NF B 52-1 depuis 2018.

Pin maritime - pinnus pinaester aiton

Essence moyennement répandue et répartie sur le territoire.

Arbres aux dimensions variées. Certains troncs peuvent atteindre de grandes dimensions.

La rectitude des grumes est très variable et l'aubier peut y être présent sur de fortes épaisseurs

Essence présente dans les normes FD P20-651 et NF EN 350-2.

Sans aubier cette essence peut être utilisée en classe d'emploi 2 avec une longévité supérieure à 100 ans.

Sans aubier cette essence peut être utilisée en classe d'emploi 3a avec une longévité comprise entre 50 et 100 ans.

Avec un traitement adapté cette essence peut être utilisée en classe d'emploi 4 avec une longévité comprise entre 10 et 50 ans.

La classe de résistance des pièces sciées peut être définie selon la norme NF B 52-1.

Pin sylvestre - pinnus sylvestris

Essence présente principalement dans le massif de la Sainte-Beaume

Arbres aux dimensions variées. Certains troncs peuvent atteindre de grandes dimensions.

La rectitude des grumes est très variable et l'aubier peut y être présent sur de fortes épaisseurs

Essence présente dans les normes FD P20-651 et NF EN 350-2.

Sans aubier cette essence peut être utilisée en classe d'emploi 2 avec une longévité supérieure à 100 ans.

Sans aubier cette essence peut être utilisée en classe d'emploi 3a avec une longévité comprise entre 10 et 50 ans.

Avec un traitement adapté cette essence peut être utilisée en classe d'emploi 4 avec une longévité comprise entre 10 et 50 ans.

La classe de résistance des pièces sciées peut être définie selon la norme NF B 52-1.

Cèdres – *Cedrus atlantica et cedrus libani*

Essences adaptées au climat méditerranéen pouvant être présentes en tant qu'arbres d'ornement et en reboisement depuis le XIXème siècle.

Arbres aux dimensions variées. Certains troncs peuvent atteindre de grandes dimensions.

La rectitude des grumes peut être très bonne et l'aubier est facilement discernable sur ces essences.

Essence présente dans les normes FD P20-651.

Sans aubier cette essence peut être utilisée en classe d'emploi 2 avec une longévité supérieure à 100 ans.

Sans aubier cette essence peut être utilisée en classe d'emploi 3a avec une longévité comprise entre 50 et 100 ans.

Avec un traitement adapté cette essence peut être utilisée en classe d'emploi 4 avec une longévité comprise entre 10 et 50 ans.

La classe de résistance des pièces sciées ne peut pas être définie selon la norme NF B 52-1.

Cyprès – *Cupressus sempervirens*

Essence caractéristique de la Provence très utilisée pour la réalisation de haies agricoles.

Certains troncs peuvent atteindre des dimensions moyennes.

La rectitude des grumes peut être très bonne. Suivant le port de l'arbre la présence de nœuds peut être très importantes sur les grumes. Suivant les arbres l'aubier est plus ou moins facilement discernable.

Essence non présente dans les normes FD P20-651 et NF EN 350-2. Elle possède cependant la réputation d'une essence très durable. Une fois purgée d'aubier elle peut par exemple utilisable pour des applications fortement sollicitées comme les lames de terrasse extérieures.

La classe de résistance des pièces sciées ne peut pas être définie selon la norme NF B 52-1.

Les arbres feuillus :

Chêne vert – Quercus Ilex

Essence très présente sur le territoire. Il s'agit généralement d'arbres tortueux ne pouvant produire que de courtes grumes avec de faibles rectitudes. Cette conformation et sa densité importante le destine habituellement à une utilisation en bois énergie.

Essence non présente dans les normes FD P20-651 et NF EN 350-2. En référence aux autres essences de chênes il est probable que la durabilité de son duramen soit élevée.

La classe de résistance des pièces sciées ne peut pas être définie selon la norme NF B 52-1.

Chêne liège – Quercus suber

Essence présente dans le massif des Maures et favorisée pour la production de liège. Comme pour le chêne vert il s'agit généralement d'arbres tortueux ne pouvant produire que de courtes grumes avec de faibles rectitudes. Cette conformation et sa densité importante destine habituellement son bois à une valorisation en énergie.

Essence non présente dans les normes FD P20-651 et NF EN 350-2. En référence aux autres essences de chênes il est probable que la durabilité de son duramen soit élevée.

La classe de résistance des pièces sciées ne peut pas être définie selon la norme NF B 52-1.

Chêne pubescent « blanc de Provence » – Quercus pubescent

Essence adaptée au climat méditerranéen et moyennement répandue sur le territoire du Var. Les arbres peuvent être moins tortueux que les chênes verts et liège. La forme générale des plus beaux arbres peut permettre de produire des grumes de longueurs moyennes.

Essence non présente dans les normes FD P20-651 et NF EN 350-2. En référence aux autres essences de chênes il est probable que la durabilité de son duramen soit élevée.

La classe de résistance des pièces sciées ne peut pas être définie selon la norme NF B 52-1.

Châtaigner - Castanea sativa

Essence adaptée au climat méditerranéen et aux sols non calcaires que l'on retrouve dans le massif des Maures autour de Collobrières. Cet arbre est principalement favorisé pour la production de châtaignes mais son bois peut également être utilisé dans la construction.

Ici encore il a une grande variabilité sur les dimensions et la rectitude des troncs pouvant être utilisés. Son aubier discernable du duramen peut mesurer entre 2 et 5cm d'épaisseur

Essence présente dans les normes FD P20-651 et NF EN 350-2.

Sans aubier cette essence peut être utilisée en classe d'emploi 3a avec une longévité supérieure à 100 ans.

Sans aubier cette essence peut être utilisée en classe d'emploi 3b avec une longévité comprise entre 50 et 100 ans.

La classe de résistance des pièces sciées peut être définie selon la norme NF B 52-1.

Hêtre – Fagus sylvatica

Essence très présente en France et exceptionnellement représentée sur le nord du massif de la Sainte-Baume. Certains arbres de grandes dimensions de cette zone pourraient être valorisés en bois de structure.

Essence présente dans les normes FD P20-651 et NF EN 350-2. Son bois est naturellement peu durable mais il peut être utilisé au moins jusqu' en classe 3 avec un traitement adapté

La classe de résistance des pièces sciées peut être définie selon la norme NF B 52-1.

Autres feuillus

Sont présents sur le territoire de manière dispersée d'autres arbres feuillus de grandes dimensions pouvant parfois produire des grumes valorisables en pièces sciées.

De manière non exhaustive on peut citer le peuplier, le platane, le micocoulier et le tilleul.

Ces quatre essences possèdent des bois non durables mais peuvent être utilisées en classe 2 avec un traitement adapté.

Pour le peuplier la classe de résistance des pièces sciées peut être définie selon la norme NF B 52-1. Pour les autres essences il n'existe pas de référentiel pour évaluer visuellement la résistance des bois.

Essences absentes ou très peu représentées :

Du point de vue de la construction bois, il est à remarquer sur le territoire l'absence ou la quasi-absence des essences de bois aujourd'hui généralement utilisées dans la construction.

Les grands résineux droits : sapin - épicéa - douglas - mélèze

Il n'y a notamment pas sur le territoire de forêts où les grands conifères droits sont représentés. Or les éléments de structures bois couramment utilisés dans les constructions sont très majoritairement issus de sapins, d'épicéas, de pins douglas et plus rarement de mélèzes.

L'utilisation privilégiée de ces bois s'explique par la grande rectitude de leurs troncs et la dimension relativement faible de leurs nœuds qui permettent d'obtenir des éléments structuraux à partir de grumes de plus de 10 mètres de longueurs. La rectitude des grumes facilite également le sciage de ces essences en réduisant le nombre de manipulations nécessaires sur les bancs de sciage et en réduisant les volumes des chutes.

Grands chênes des régions tempérées : Chênes pédonculés et sessiles

Les deux espèces principales de chênes majoritairement utilisées en charpente sont absentes ou très peu représentées sur le territoire.

Il s'agit du chêne pédonculé « blanc » – *quercus robur* et du chêne rouvre ou sessile – *quercus petrae*.

Ces deux espèces répandues dans les forêts tempérées françaises ont été favorisées par l'homme pour les usages qu'il pouvait en faire et notamment pour l'utilisation de son bois comme matériau de structure. En plus de pouvoir produire des troncs de grandes dimensions relativement rectilignes, ces arbres produisent un bois dense et dur adapté à réalisation de pièces de structures et de leurs assemblages. Enfin leurs bois purgés d'aubier sont résistants aux attaques des champignons et des insectes xylophages dans contextes abrités mais aussi exposés aux intempéries.

L'absence de ces deux types d'arbres sur le territoire implique d'adapter les techniques constructives habituellement employées en construction bois ou à en utiliser d'autres plus adaptées aux caractéristiques des ressources locales.

Tableau de synthèse des caractéristiques de durabilité des essences selon FD P20-651

FD P20-651 Durabilité des éléments et ouvrages en bois									
ESSENCES	Bois non traité purgé d'aubier						Bois traité avec aubier		
	Durabilité champignons et classes d'emploi					Durabilité insectes		Classes d'emplois possibles avec durabilité L1	Termites
	1	2	3a	3b	4	Xylophages	Termites		
Pin d'Alep	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Pin maritime	L3	L3	L2	L1	N	Oui	Non	3b - 4	Oui
Pin sylvestre	L3	L3	L1	L1	N	Oui	Non	3b - 4	Oui
Cèdre	L3	L3	L2	L1	N	Oui	Non	3b - 4	Oui
Cyprés	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Chêne vert	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Chêne pubescent	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Chêne liège	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Chêne pédonculé	L3	L3	L3	L2	L1	Oui	Non	2 - 3a	Oui
Châtaigner	L3	L3	L3	L2	L1	Oui	Non	2 - 3a	Oui
Hêtre	L3	L2	N	N	N	Non	Non	2 à 4	Oui
Peuplier blanc	L3	L2	L1	N	N	Non	Non	2 - 3a	Oui
Micocoulier	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Platane	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Tilleul	x	x	x	x	x	x	x	x	x

x: Essence non mentionnée dans la norme

N: Longévité incertaine et inférieure à 30 ans

L1: Longévité entre 10 et 50 ans

L2: Longévité entre 50 et 100 ans

L3: Longévité supérieure à 100 ans

Tableau de synthèse des caractéristiques de durabilité des essences selon NF EN 350-2

NF EN 350-2 Durabilité naturelle du bois massif							
ESSENCES	Dimension de l'aubier	Durabilité champignons		Durabilité insectes		Imprégnabilité	
		Duramen	Aubier	Xylophages	Termites	Duramen	Aubier
Pin d'Alep	x	x	Non durable	x	Non durable	x	x
Pin maritime	>10cm	Moyenne à faible	Non durable	Non durable	Non durable	Nulle	Imprégnable
Pin sylvestre	2cm à 10cm	Moyenne à faible	Non durable	Non durable	Non durable	Nulle à faible	Imprégnable
Cèdre	x	x	Non durable	x	Non durable	x	x
Cyprés	x	x	Non durable	x	Non durable	x	x
Chêne vert	x	x	Non durable	x	Non durable	x	x
Chêne pubescent	x	x	Non durable	x	Non durable	x	x
Chêne liège	x	x	Non durable	x	Non durable	x	x
Chêne pédonculé	2cm à 5cm	Durable	Non durable	Non durable	Non durable	Faible à moyenne	Imprégnable
Châtaigner	2cm à 5cm	Durable	Non durable	Non durable	Non durable	Non imprégnable	Moyenne
Hêtre	Aubier non discernable	Non durable	Non durable	Non durable	Non durable	Imprégnable	Imprégnable
Peuplier blanc	Aubier non discernable	Non durable	Non durable	Non durable	Non durable	Variable	Variable
Micocoulier	x	x	Non durable	x	Non durable	x	x
Platane	x	x	Non durable	x	Non durable	x	x
Tilleul	Aubier non discernable	Non durable	Non durable	Non durable	Non durable	Imprégnable	Imprégnable

x: Essence non mentionnée dans la norme

C. Types de bois régionaux et valorisations

Les caractéristiques des essences présentes sur le territoire, les modes de sylvicultures développés et l'historique des pratiques font qu'aujourd'hui une très faible part des arbres abattus sont valorisés pour la construction.

La construction bois utilise aujourd'hui principalement des résineux de grandes dimensions permettant un sciage plus simple et plus rentable que celui des arbres aux troncs courts et tortueux.

Les bois majoritairement abattus dans le Var sont de faibles diamètres (10-20cm) et de faible rectitude. Les arbres aux diamètres plus importants sont également de faible rectitude. De plus la plupart des arbres sont issus de forêts non gérées pour la production de bois d'œuvre et peuvent présenter des nœuds nombreux et de dimensions importantes.

En conséquence de ces caractéristiques, les utilisations les plus courantes des bois sont la valorisation énergétique et la trituration car elles n'imposent aucun critère sur la dimension et la rectitude des bois.

La valorisation énergétique des bois

Le bois de chauffage :

Ce sont les bois utilisés pour le chauffage des logements sous la forme de bûches, transformés en pellets ou en plaquettes forestières. Il s'agissait avant l'industrialisation d'une des sources majeures d'énergie du territoire qui était utilisée pour le chauffage et la production des matériaux (chaux, plâtre, terre cuite, métaux...).

La production d'électricité

Deux centrales électriques à Brignoles et à Gardanne produisent de l'électricité à partir de la combustion des bois régionaux. Les mises en fonctionnement des deux centrales sont récentes (2016 à Brignoles et 2018 à Gardanne) et leurs approvisionnements concernent des volumes de bois importants à l'échelle de la production du territoire.

Il est à noter qu'une part des bois valorisés en énergie pourraient être utilisés en bois d'œuvre. Des processus de récupération développés à ces niveaux pourraient permettre de mieux valoriser les arbres de grandes dimensions.

La valorisation en bois d'industrie

La production de pâte à papier

L'usine de pâte à papier à Tarascon produit de la pâte à papier pour l'essentiel à partir des bois de la région dans un rayon de 250km. La mise en fonctionnement de l'usine date de 1951 et du fait des volumes importants de bois transformé elle a impacté de manière conséquente la filière régionale en fournissant un débouché quasi-unique aux arbres abattus.

Il est à noter que les bois d'industrie désignent également les bois déchiquetés ou défibrés utilisés pour la fabrication de panneaux de construction. Il n'y a aujourd'hui pas d'usines fabriquant des panneaux de construction dans la région.

La valorisation en bois d'emballage

La fabrication de palettes et de caisses est un débouché possible pour les bois de faibles longueurs présentant une quantité non négligeable de nœuds. Ce débouché permet de valoriser les troncs de diamètres supérieurs à 22 centimètres.

Les planches de qualités palettes peuvent dans une certaine mesure être utilisées dans la construction pour réaliser des ouvrages sans grand enjeux structurels comme la réalisation de voligeage de toiture, de plancher ou la fermeture de caissons d'ossature bois.

La valorisation en bois d'œuvre :

Les bois de construction sciés

Les bois utilisés en construction sont aujourd'hui très majoritairement sciés.

Les produits de sciage peuvent par la suite être combinés en produits collés de plus grande dimension comme les poutres lamellées collées ou les panneaux lamellés-croisés.

L'étape de sciage réalisée à partir des grumes issues d'exploitation forestières peut se faire dans des installations fixes ou mobiles adaptées aux ressources qu'elles traitent.

Les scieries fixes

Les installations de sciage fixes peuvent être déployées à différentes échelles. Elles se composent généralement d'un parc à grumes où la matière première est stockée, d'un banc ou d'une ligne de sciage assurant la découpe et d'un parc de sciage où sont entreposés les produits de sciage. A ces composants essentiels peuvent s'ajouter des équipements complémentaires pour le séchage artificiel et le traitement des bois. Enfin certaines grandes scieries peuvent également réaliser d'autres étapes de transformation des bois comme le rabotage, l'aboutage et l'usinage de pièces de construction.

La nature et la dimension des équipements peuvent considérablement varier en fonction des grumes à transformer, des produits à obtenir et des volumes traités.

La scie à grumes permet de réaliser le sciage de plusieurs sections par exemple dans le cas d'un débit sur liste. Les lignes de sciages peuvent être optimisées pour traiter un type particulier de grumes.

Aujourd'hui les scieries fixes sont très peu présentes sur le territoire de l'étude (deux entreprises référencées par Fibois Sud à Barjols et aux Arcs). Le développement de cette étape de transformation est a priori un préalable nécessaire à la valorisation des bois locaux. Des installations spécifiques de sciage pourraient notamment être développées pour traiter les pins très représentés sur le territoire.

Les scieries mobiles

Les scieries mobiles sont composées d'une scie à grumes pouvant être transportée et souvent d'un engin permettant la manutention des grumes. Ce type d'équipement peut être déplacé à proximité de la zone d'exploitation des bois ou encore du chantier de construction ce qui permet de réduire les distances parcourues par les bois.

Par sa dimension réduite et sa mobilité, ce type de système est le plus souple et permet de s'adapter à une ressource forestière variée ce qui semble très adapté dans le contexte du sud Var. Des entreprises utilisant ce système sont déjà présentes sur le territoire et valorisent ainsi avec succès en construction les bois locaux.

Les produits de sciages des pins

Les pins d'Alep sont très représentés dans la région PACA. Il s'agit de l'essence qui présente la possibilité d'approvisionnement locale la plus régulière. La filière fait d'importants efforts pour se structurer et valoriser cette essence pouvant être utilisée comme bois de structure. A partir de la collecte d'informations auprès des différents acteurs forestiers et scieurs, les dimensions des différents produits obtenables de manières courantes ont été établis.

Les pins d'Alep étant souvent de plus petites dimensions que les pins sylvestres et maritimes, leurs caractéristiques peuvent être estimées comme des valeurs limites pour les pins sur cette zone.

Grumes :

Pour le pin d'Alep, l'Office National des Forêts classe aujourd'hui les pins pouvant être sciés selon les catégories aux caractéristiques principales suivantes :

Bois d'œuvre structure :

Diamètre médian du tronc supérieur à 32cm et courbure inférieure à 1cm/m
Absence de grosses branches, de couronnes de nœuds et d'autres défauts

Bois d'œuvre palette :

Diamètre médian du tronc supérieur à 22cm
Absence de courbure forte, de très gros nœud, d'infestation d'insectes et de pourriture

Les grumes déclassées de ces catégories sont valorisables en bois d'industrie ou énergie.

Produits sciés :

Les retours collectés auprès des scieurs de la région PACA font état des caractéristiques suivantes pour les produits pouvant être couramment obtenus :

Longueur des pièces sciées :

Plage de longueur de 2 à 4m, plus faciles à obtenir sur la plage de 2.5-3m.
Des longueurs plus grandes pourraient être produites de manière exceptionnelle.

Sections des pièces sciées :

Montants d'ossature : Sections 45/120mm et 45/145mm
Chevrons : 60/80mm et 45/145mm
Pièce de charpente : Sections 120/120mm, 150/150mm et 150/200mm
Solives : Sections 60/150mm et 80/200mm

Les rendements de sciage sont variables suivant la qualité des grumes mais ils sont notablement plus faibles que pour les sapin, épicéa et douglas couramment sciés. La scierie de Val Durance fait par exemple état de rendement de 30% sur le pin d'Alep contre 70% pour des douglas. Du fait de la dimension réduite des grumes les opérations de manipulation sur les bancs de sciages sont plus nombreuses pour une même quantité de bois produite.

Les bois sont souvent plus lourds ce qui entraîne une manipulation plus contraignante pour les opérateurs. Enfin le pin d'Alep est plus chargé en résine que les autres essences couramment sciées ce qui nécessite un entretien des machines spécifique.

Les bois de construction non sciés :

Du fait de la généralisation du sciage les autres modes d'utilisation du bois dans la construction sont aujourd'hui faiblement représentés. Il est à noter qu'il est cependant possible d'utiliser des bois sous d'autres formes :

Bois équarris à la hache :

L'équarrissage des bois utilisés en charpente traditionnelle nécessite un savoir-faire particulier et ajoute une part de main d'œuvre par rapport à l'utilisation de pièces sciées. Un de ses intérêts est de conserver le fil du bois et pouvoir valoriser des troncs courbes dans des charpentes adaptées.

Bois ronds taillés :

Les bois ronds sont des grumes taillées permettant d'obtenir des pièces cylindriques. Ces produits sont généralement traités et utilisés en aménagements extérieurs sous la forme de piquets, rambardes routières ou poteaux électriques.

Du fait de la faible présence de tronc fin et droits, la ressource locale ne semble pas adaptée à cette technique mis-à-part pour des pièces de faibles longueurs.

Bois ronds écorcés :

Des bois ronds simplement écorcés peuvent être mis en œuvre moyennant un traitement adapté (l'aubier est intégralement présent sur ces pièces). Ces bois peuvent être utilisés pour des pièces structurelles simples comme des pannes ou des sommiers de plancher.

Les techniques de construction en fustes qui utilisent intégralement ces bois pour réaliser les murs nécessitent des bois longs et droits et ne semblent donc pas adaptés à la ressource locale.

2. Enjeux constructifs et contexte réglementaire

La réalisation d'ouvrages de construction s'inscrit aujourd'hui dans un cadre normatif national et européen permettant aux différents acteurs de s'organiser en définissant les exigences à atteindre, des règles de moyens pour y parvenir et des méthodes pour justifier les performances des ouvrages. Son organisation est complexe et les documents qui le constitue se font mutuellement référence ce qui peut rendre sa compréhension difficile.

Pour les ouvrages de construction bois sont notamment essentiels :

- Les règles traitant du dimensionnement et de la justification des structures
- Les règles traitant de la durabilité des ouvrages en bois
- Les règles propres aux ouvrages à réaliser qui sont généralement précisées dans les documents techniques unifiés, les règles et guides de recommandations professionnels

Ce cadre sert de référence et le respect des règles qu'il propose est généralement la condition fixée par les assureurs aux professionnels de la construction pour la prise en charge des ouvrages. Dans certaines situations les assureurs peuvent accepter d'assurer un ouvrage ne respectant pas ces règles mais cela nécessite une démarche personnalisée et une justification appropriée qui sont rarement déployées pour les ouvrages courants.

La construction dans un cadre privé d'ouvrages modestes (auto-construction) où encore dans le cadre d'une relation de confiance entre un constructeur et un maître d'ouvrage privé peuvent permettre aux démarches pionnières de s'affranchir de ces règles et d'expérimenter d'autres techniques. Ce genre de situations hors du cadre peuvent s'avérer risquées et doivent être abordées par les acteurs avec la plus grande prudence dans leurs différents aspects pour éviter les déconvenues.

Les règles de constructions codifiées dans les documents normatifs sont établies à partir des expériences réussies réalisés sur des ouvrages précurseurs. Ils permettent aux constructeurs de s'appuyer sur des moyens éprouvés convenant aux ouvrages courants. Leur utilisation est parfois contraignante mais elle permet d'accéder à une sorte d'état de l'art des techniques dans leurs domaines d'applications.

Il reste important d'avoir à l'esprit que l'établissement des règles de construction est un processus long et complexe de concertation entre les acteurs et que celui-ci peut rencontrer plusieurs limites dans son application à des cas particuliers. Tout d'abord la situation rencontrée peut ne pas être traitée dans la norme parce qu'elle est inédite ou trop spécifique à une situation donnée. Ensuite l'évolution des techniques est généralement plus rapide que celle des normes. Il en résulte que de nombreuses techniques récentes peuvent ne pas être traitées par manque de recul ou à cause du décalage avec lequel la norme intégrera ces techniques. Enfin dans certaines conditions les normes peuvent exiger des ouvrages des performances supérieures à ce que les acteurs ont l'habitude d'intégrer. Cela est notamment le cas en structure où le niveau de sécurité précisé par les règlements est parfois supérieur à celui des ouvrages anciens ou couramment réalisés sans l'application des règlements. Un exemple de ce type de situation est l'application des règles parasismiques imposées par la réglementation aux constructions neuves dans une zone où les séismes peu fréquents n'ont pas été pris en compte par les anciens constructeurs. Cela peut conduire à des décalages importants entre les exigences appliquées aux nouvelles structures par rapport aux anciennes. Il faut conserver à l'esprit qu'en cas de défaillance pour un ouvrage de construction neuve se sont les règles en vigueur qui définissent le niveau de sécurité à obtenir et les moyens de le vérifier.

A. Structure - Vérification de la solidité des ouvrages

Le dimensionnement et la vérification des éléments en bois participant à la solidité des ouvrages de construction se réalise aujourd'hui dans les cadres réglementaires européens et français.

Les charges auxquels doivent résister les ouvrages sont définies au niveau européen par les Eurocodes structuraux (EN 1990, 1991...) et précisées par les annexes nationales. Sont définies notamment les charges d'exploitations, les charges climatiques (neige, vent...) et les sollicitations accidentelles (incendie, séisme).

Les méthodes et les critères de vérifications sont également définies au niveau européen par l'Eurocode 5 pour les structures en bois. Les vérifications concernant les effets des séismes sont traitées dans un Eurocode spécifique (EN 1998). Comme pour les charges, ces spécifications sont complétées de précisions pour chaque pays dans les annexes nationales des Eurocodes.

En plus des critères de vérifications imposés par les Eurocodes, les différents documents nationaux encadrant la réalisation des ouvrages de construction précisent les exigences de solidité et de rigidités propres à chaque ouvrage. Il s'agit des Documents Techniques Unifiés (DTU) mais aussi des règles professionnelles et guides de recommandations.

Valoriser les bois locaux sur leur territoire en ouvrages de structure implique de concevoir et de dimensionner des structures adaptées aux actions locales (charges climatiques, sismiques) avec les matériaux disponibles. Cela nécessite donc de connaître les charges provoquées localement par le vent, la neige et le séisme mais également de pouvoir évaluer de manière fiable les matériaux pouvant être utilisés. Les parties suivantes donnent les éléments d'analyse pour l'utilisation de bois locaux dans le sud du département du Var.

1. Contexte local de charges réglementaires (charges climatiques et séisme)

Les charges de vent :

Le département du Var se trouve classé en zone 2 ce qui conduit à un niveau de sollicitation moyen par rapport au territoire français.

Les charges de neige :

Deux zones de neige sont présentes sur le territoire du sud Var. Dans le sud et le nord sont à utiliser une charge caractéristique faible A2 (45 daN/m² à moins de 200 m d'altitude). La zone centrale de Saint Maximin à Saint Maxime présente une charge sensiblement plus élevée de de catégorie C2 (65 daN/m² à moins de 200m d'altitude).

Ces charges augmentent à partir de 200m sur les zones plus élevées du territoire.

Il est également à noter que des chutes de neige exceptionnelles doivent également être prises en compte sur la totalité du département. Il s'agit d'une valeur de charge plus élevée que pour la neige caractéristique mais avec une plus faible probabilité d'occurrence entraînant des exigences moins élevées pour la vérification des structures.

Les charges sismiques :

Le sud du Var se trouve classé en zone sismique faible 2 à partir de Draguignan.

La réglementation différencie les constructions en fonction de leur catégorie d'importance et impose la prise en compte des risques sismiques à partir de seuils différents selon les zones.

En zone de risque faible 2, il n'est pas imposé la prise en compte du risque sismique pour les bâtiments de catégorie d'importance I et II mais des vérifications sont imposées à partir de la catégorie III.

En pratique la prise en compte du risque sismique peut entraîner des conséquences importantes sur la conception et le dimensionnement des ouvrages en bois.

En zone de sismicité 2 peu de constructions sont concernées et on peut noter pour les cas courants :

- Aucune prise en compte du risque sismique n'est imposée pour la construction d'habitations individuelles et collectives de hauteur inférieures à 28m (catégorie d'importance II).
- La construction d'établissements scolaires et de bâtiments pouvant accueillir plus de 300 personnes doivent en revanche prendre en compte ce risque dans leur conception (catégorie d'importance III).
- Enfin aucune exigence n'est présente dans cette zone pour la transformation de constructions existantes en dessous de la catégorie d'importance IV.

Catégories d'importances sismiques des constructions

Définitions selon l'arrêté du 22 octobre 2010

Catégorie d'importance I

Bâtiments dans lesquels il n'y a aucune activité humaine nécessitant un séjour de longue durée

Catégorie d'importance II

Habitation individuelle

ERP de catégorie 4 et 5

Habitations collectives de hauteur inférieure à 28m

Bureaux ou établissements commerciaux non ERP, $h \leq 28m$, occupation simultanée max 300 personnes

Bâtiments industriels pouvant accueillir au plus 300 personnes

Parcs de stationnement ouverts au public

Catégorie d'importance III

ERP de catégorie 1, 2 et 3

Habitation collectives et bureaux, $h > 28m$

Bâtiment pouvant accueillir plus de 300 personnes

Établissement sanitaires et sociaux

Centre de production collective d'énergie

Établissements scolaires

Catégorie d'importance IV

Bâtiments indispensables à la sécurité civile, la défense nationale et le maintien de l'ordre public

Bâtiments assurant le maintien des communications

Bâtiments assurant la distribution de l'eau potable et de l'énergie

Bâtiments assurant le contrôle de la sécurité aérienne

Établissements de santé nécessaires à la gestion de crise

Centres météorologiques

2. Définition des caractéristiques mécaniques des bois locaux pour leur emploi en structure

Pour utiliser des bois dans le cadre réglementaire, il est nécessaire d'évaluer leurs propriétés mécaniques (résistances, rigidités, masse...).

Cette évaluation peut se faire par classement visuel des éléments sciés vis-à-vis de différents critères affectant leurs caractéristiques (densité des cernes d'accroissement, dimensions des nœuds, présences de défauts...). Elle peut également être réalisée sur les éléments de manière plus précise par des machines pouvant utiliser différentes technologies d'analyse (flexion dynamique, vibration, ultrasons, rayons X).

Le classement par machine des bois permet de mieux valoriser les bois de hautes caractéristiques mécaniques mais il est également plus coûteux à mettre en place et il est surtout utilisé dans les grandes unités de sciages absentes du territoire de l'étude.

Dans un contexte de transformation des bois par des petites scieries fixes ou mobiles, c'est le classement visuel des bois sciés qui sera essentiellement utilisé. Il sera réalisé par les scieurs et les charpentiers lors de la transformation des grumes en ouvrages structurels.

La norme NF B 52-001 encadre ce classement visuel des bois sciés de certaines essences en précisant les critères minimaux pour chaque classe visuelle. Elle précise également dans ses annexes la correspondance avec les classes mécaniques de la NF EN 338 qui définit les caractéristiques minimales attendues et utilisables pour les étapes de vérification.

Il est à noter que cette norme n'intègre que certaines essences présentes sur le territoire :

Essences incluses dans la NF B 52-1 :

- Pin sylvestre
- Pin maritime
- Pin d'Alep (ajouté en 2018)
- Châtaigner
- Peuplier
- Chêne blanc ou pédonculé (*quercus robur*)

Essences non incluses dans la NF B 52-1 :

- Chêne vert (*quercus ilex*)
- Chêne pubescent (*quercus pubescent*)
- Chêne liège (*quercus suber*)
- Cyprès
- Cèdres
- Pin parasol

Cela implique que ces dernières essences ne permettent pas de réaliser des structures justifiées selon ce contexte réglementaire.

A terme et moyennant des travaux de recherche et de certifications il serait possible d'ajouter des essences. Le pin d'Alep a notamment été ajouté en 2018 à cette norme à la suite d'un travail de longue haleine de la filière bois PACA.

Il pourrait notamment être intéressant de classer les chênes méditerranéens qui sont présent sur de grandes surfaces et qui sont aujourd'hui surtout valorisés en bois-énergie. Les cyprès fortement présents dans les haies agricoles et dont le bois est résistant aux intempéries pourraient être également ainsi valorisés en ouvrages de charpente et de platelages extérieurs.

Critères de classement visuels des bois

Les critères de classements des essences locales sont présentés sur les pages suivantes sur les tableaux extraits de la norme NF B 52-1 pour les pins, le châtaigner et le peuplier.

Dans le contexte de bois ayant poussés lentement en climat méditerranéen, les critères sur la largeur des cernes d'accroissement sont rarement discriminants. En revanche les critères portant sur les diamètres des nœuds le sont souvent pour l'affectation des bois.

Concernant les critères portant sur les fentes et les déformations des pièces, leur évaluation est fiable à la construction principalement pour les bois mis en œuvre déjà séchés à une humidité proche de leur point d'équilibre dans le bâtiment. Pour les bois mis en œuvre à une humidité différente, il convient de manière prudente à ne pas classer les bois dans une classe imposant des critères trop stricts sur ces points. En conséquence pour les bois de pins mis en œuvre non séchés il n'apparaît pas sécuritaire d'aller au-delà de la classe ST-III.

La flache est sur pièce sciée le vestige de la face extérieure de la grume qui peut apparaître sur une ou plusieurs de ses arêtes.

De manière pratique la dimension des troncs et leur rectitude est le critère le plus influant sur la possibilité d'obtenir des pièces des structures à partir de grumes. Les tolérances appliquées sur les critères de flaches permettent d'augmenter la dimension des pièces pouvant être obtenues à partir d'une même grume.

Enfin la présence de flache implique la présence d'aubier sur la pièce et induit la nécessité d'un traitement pour satisfaire aux critères de durabilités.

Critères de classement visuel des pins - NF B52-1
Sections $\leq 16\ 000\ \text{mm}^2$ soit $100 \times 160\ \text{mm}^2$

Critères \ Classes	ST-I ⁵⁾	ST-II ⁶⁾	ST-III	ST-IV
Largeur des cernes d'accroissement	$\leq 6\ \text{mm}$	$\leq 8\ \text{mm}$ Pin maritime $\leq 5\ \text{mm}$	$\leq 10\ \text{mm}$	$\leq 10\ \text{mm}$
Diamètre des nœuds - Sur la face ¹⁾	$\varnothing \leq 1/10$ de l et $\varnothing \leq 15\ \text{mm}$	$\varnothing \leq 1/3$ de l et $\varnothing \leq 50\ \text{mm}$	$\varnothing \leq 2/3$ de l et $\varnothing \leq 80\ \text{mm}$	$\varnothing \leq 4/5$ de l et $\varnothing \leq 150\ \text{mm}$
- Sur la rive ²⁾	$\varnothing \leq 1/3$ de e et $\varnothing \leq 15\ \text{mm}$	$\varnothing \leq 1/2$ de e et $\varnothing \leq 30\ \text{mm}$	$\leq 1/2$ de e et $\varnothing \leq 30\ \text{mm}$	$\varnothing \leq 4/5$ de e et $\varnothing \leq 50\ \text{mm}$
Fentes ^{3) 4)} - Traversantes - Non traversantes	Longueur \leq deux fois la largeur de la pièce Longueur \leq moitié de la longueur de la pièce		Longueur $\leq 600\ \text{mm}$ Non limitée	
Grosse poche de résine	Non admise	Admise si $< 80\ \text{mm}$		
Entre écorce	Non admise			
Pente de fil (en fraction) - Locale - Générale	1 : 10 (10 %) 1 : 14 (7 %)	1 : 4 (25 %) 1 : 6 (17 %)		
Flaches - Longueur - Largeur	Non admises Non admises	$< 1/3$ de la longueur de la pièce et $< 100\ \text{cm}$ $< 1/3$ de l'épaisseur de la rive		
Altérations biologiques - Bleu - Piqûres noires - Echauffure	Admis Admises si elles apparaissent sur une seule face Non admise			
- Traces de gui	Excluses		Admises	
Déformation maximale en mm pour une longueur de 2 m - De face - De rive - Gauchissement	$< 10\ \text{mm}$ $< 8\ \text{mm}$ 1 mm /25 mm large		$< 20\ \text{mm}$ $< 12\ \text{mm}$ 2 mm /25 mm large	
Tuilage	Pas de restriction			
1) l : largeur de la pièce. 2) e : épaisseur de la rive. 3) la longueur des fentes est reliée à l'humidité et par conséquent les limites données au tableau 3a sont seulement applicables au moment du classement. 4) Pour les pièces classées « humide », le critère « fente » est difficilement prédictible (voir note 2 de l'avant-propos). 5) Pour le pin maritime, les pièces ST-I sont reclassées en ST-II. 6) Pour le pin maritime, hauteur de prélèvement dans l'arbre inférieure à 12 m à partir du sol.				

Critères de classement visuel des pins - NF B52-1
Sections > 16 000 mm² soit 100x160mm²

Classes Critères	ST-II ⁵⁾	ST-III	ST-IV
Largeur des cernes d'accroissement	≤ 8 mm	≤ 10 mm	≤ 10 mm
Diamètre des noeuds - Sur la face ¹⁾ - Sur la rive ²⁾	$\varnothing \leq 1/3$ de l et $\varnothing \leq 70$ mm $\varnothing \leq 1/2$ de e et $\varnothing \leq 50$ mm	$\varnothing \leq 2/3$ de l et $\varnothing \leq 100$ mm $\varnothing \leq 3/5$ de e et $\varnothing \leq 60$ mm	$\varnothing \leq 4/5$ de l et $\varnothing \leq 150$ mm $\varnothing \leq 3/5$ de e et $\varnothing \leq 60$ mm
Fentes ^{3) 4)} - Traversantes - Non traversantes	longueur ≤ deux fois la largeur de la pièce longueur ≤ moitié de la longueur de la pièce	Longueur ≤ 600 mm Non limitée	
Grosse poche de résine	Admise si < 80 mm		
Entre-écorce	Non admise		
Pente de fil (en fraction) - Locale - Générale	1:4 (25 %) 1:6 (17 %)		
Flaches - Longueur - Largeur	< 1/3 de la longueur de la pièce et < 100 cm < 1/3 de l'épaisseur de la rive		
Altérations biologiques - Bleu - Piqûres noires - Echauffure - Traces de gui	Admis Admises si elles apparaissent sur une seule face Non admise		
	Exclues	Admises	
Déformation maximale en mm pour une longueur de 2 m - De face - De rive - Gauchissement	< 10 mm < 8 mm 1 mm/25 mm large	< 20 mm < 12 mm 2 mm/25 mm large	
Tuilage	Pas de restriction		
<p>1) l : largeur de la pièce. 2) e : épaisseur de la rive. 3) La longueur des fentes est liée à la teneur en humidité, pour cette raison les limites indiquées ne sont applicables qu'au moment du classement. 4) Pour les pièces classées « humide », le critère « fente » est difficilement prédictible (voir note 2 de l'avant-propos). 5) Pour le pin maritime, hauteur de prélèvement dans l'arbre inférieure à 12 m à partir du sol.</p>			

Critères de classement visuel du châtaigner - NF B52-1
Sections $\leq 10\ 000\ \text{mm}^2$ et $> 10\ 000\ \text{mm}^2$ soit $100 \times 100 \text{mm}^2$

Critères	Section	$\leq 10\ 000\ \text{mm}^2$	$> 10\ 000\ \text{mm}^2$	$\leq 10\ 000\ \text{mm}^2$	$> 10\ 000\ \text{mm}^2$
	Classe visuelle	STII	STII	STIII	STIII
Largeur des cernes		$\leq 4\ \text{mm}$	$\leq 8\ \text{mm}$	$\leq 8\ \text{mm}$	$\leq 10\ \text{mm}$
Diamètre des nœuds	Sains, adhérents sur la face, noirs ou pourris ou avec entre écorce	$\varnothing < 65\ \text{mm}$ $\varnothing < 2/3 l$	$\varnothing < 80\ \text{mm}$ $\varnothing < 2/3 l$	$\varnothing < 80\ \text{mm}$ $\varnothing < 4/5 l$	
	Sains, adhérents sur la rive, noirs ou pourris ou avec entre écorce	$\varnothing < 60\ \text{mm}$ $\varnothing < 4/5 e$		$\varnothing < 60\ \text{mm}$ $\varnothing < 4/5 e$	
Pente de fil	Locale	1 : 4 (25 %)			
	Générale	1 : 5 (20 %)			
Déformations pour une longueur de 2 m	Flèche de face	$< 10\ \text{mm}$		$< 20\ \text{mm}$	
	Flèche de rive	$< 8\ \text{mm}$		$< 12\ \text{mm}$	
	Gauchissement	1 mm / 25 mm de largeur		2 mm / 25 mm de largeur	
	Tuilage	Pas de restriction			
Fentes	Gélivure	Exclues			
	Gerces	Permisses			
	Roulure sur section	Exclue	$< 1/2$ de la circonférence du cerne		
	Fentes de face ou de rive non traversantes	Exclue		$< 1/2$ de la longueur	
Flaches		Moins de 10 % de la largeur de la face et de la rive sur moins de 25 % de la longueur		Moins de 10 % de la largeur de la face et de la rive sur moins de 35 % de la longueur	
Coloration et altérations	Cœur brun	Permis			
	Pourriture	Exclue			
	Aubier jaunâtre	Permis si tâches peu nombreuses			
Attaques d'insectes		Tolérées si ponctuelles			

Critères de classement visuel du peuplier - NF B52-1
Sections ≤ 20 000 mm² soit 100x200mm²

Critères \ Classes	ST-II	ST-III
Largeur des cernes d'accroissement	≤ 14 mm	≤ 16 mm
Diamètre des noeuds - Sur la face ¹⁾	∅ ≤ 1/3 de l et ∅ ≤ 50 mm	∅ ≤ 3/4 de l et ∅ ≤ 100 mm
- Sur la rive ²⁾	∅ ≤ 2/3 de l et ∅ ≤ 40 mm	
Fentes ^{3) 4)} - Traversantes - Non traversantes	Longueur ≤ deux fois la largeur de la pièce Longueur ≤ moitié de la longueur de la pièce	longueur ≤ 600 mm Non limitée
Entre-écorce	Non admise	
Pente de fil (en fraction) - Locale - Générale	1:4 (25 %) 1:6 (17 %)	
Flaches - Longueur - Largeur	< 1/3 de la longueur de la pièce et < 100 cm < 1/3 de l'épaisseur de la rive	
Altérations biologiques - Bleu - traces de gui - Piqûres noires - Echauffure	Admis Admises si elles apparaissent sur une seule face Non admise	
Déformation maximale en mm pour une longueur de 2m - Flache de face - Flache de rive - Gauchissement	< 10 mm < 8 mm 1 mm/25 mm large	< 20 mm < 12 mm 2 mm/25 mm large
Tuilage	Pas de restrictions	
1) l : largeur de la pièce. 2) e : épaisseur de la rive. 3) La longueur des fentes est liée à la teneur en humidité, pour cette raison les limites indiquées ne sont applicables qu'au moment du classement. 4) Pour les pièces classées « humide », le critère « fente » est difficilement prédictible (voir note 2 de l'avant-propos).		

Caractéristiques mécaniques des bois

Les bois sciés classés visuellement sont ensuite affectés à une classe de résistance mécanique. Pour chacune d'entre elles la norme NF EN 338 précise les caractéristiques mécaniques utilisables pour le dimensionnement ou la vérification des structures.

Classe de résistance mécanique selon EN 338	Classe visuelle
C 30	ST-I
C 24	ST-II
C 18	ST-III

Correspondances des classes de résistances mécaniques et visuelles selon EN 1912

Caractéristiques Mécanique	C 30	C 24	C 18
	Contraintes admissibles (MPa)		
Flexion parallèle	13,2	10,5	8,0
Compression parallèle	11,0	9,0	8,0
Traction axiale	8,0	6,0	5,0
Cisaillement longitudinal	1,3	1,1	0,8
Compression transversale	2,5	2,3	2,0
Traction transversale	0,15	0,15	1,15
	Module conventionnels de déformation (MPa)		
Cisaillement	750	690	550
Longitudinal, effort tranchant inclus	12 000	11 000	10 000

Caractéristiques mécaniques selon NF EN 338

Dans de nombreux ouvrages courants il faut relativiser l'intérêt d'utiliser des bois présentant une classe de résistance supérieure à ST-III C18. En effet cette classe est souvent suffisante pour la réalisation de murs à ossature bois et charpentes assemblées traditionnelles.

Pour les ouvrages dimensionnés en flexion comme les pannes, les solives et les sommiers des bois de classes ST-III sont également adaptés mais des bois de classes supérieures peuvent y être valorisés en nécessitant des sections plus faibles.

B. Durabilité des bois de structure

Protection contre les champignons et les insectes à larves xylophages

Sur l'ensemble du territoire les bois participant à la solidité des structures des bâtiments neufs doivent être protégés contre les insectes à larves xylophages et les champignons. L'exposition à l'humidité est le premier facteur favorisant les attaques par ces agents de dégradation.

Les DTU des différents ouvrages pouvant être réalisés en bois précisent les classes d'emploi auxquelles les bois doivent être adaptés pour être protégés contre les agents de dégradation.

Cette protection peut être obtenue par la **durabilité naturelle** de certaines essences valables pour la classe d'emploi considérée. Comme l'aubier des essences locales n'est pas durable cette méthode de protection n'est possible que pour les essences possédant un aubier différencié pouvant être retiré. Suivant les arbres cela peut conduire à une perte importante de la quantité de bois utilisable et à une forte réduction des bois utilisables en structure.

Afin d'augmenter la quantité de bois valorisée en utilisant des pièces non purgées d'aubier ou d'utiliser des essences ne présentant pas une durabilité naturelle adaptée à la classe d'emploi, il est possible d'augmenter la durabilité des bois par application de traitements adaptés. On parle alors de **durabilité conférée**.

Protection des bois de structure contre les termites

Depuis novembre 2007 la loi impose dans certains départements ou certaines communes des mesures de protection des bâtiments avant construction pour prévenir des infestations de termites. Dans le sud du Var l'essentiel des communes présentent des cas de constructions infestées ces dernières années et sont concernées par des mesures de protections imposées par arrêté préfectoral. La liste des communes concernées dans le Var est accessible sur le site de l'Office National des Termites.

Ces mesures imposent l'utilisation de bois résistants aux attaques des termites pour la réalisation des structures participant à la stabilité des constructions. Sont à compter dans cette catégorie les ouvrages de charpente, de planchers bois, de poteaux et de murs.

En pratique comme aucune essence locale ou métropolitaine n'est résistante aux termites, cela impose aux constructeurs d'utiliser des bois traités pour obtenir une **durabilité conférée** contre les termites.

Une exception est possible dans les contextes où les bois de structures sont mis en œuvre de manière à être totalement contrôlable visuellement et remplaçable en cas d'attaque de termites. Cela peut être possible pour des poteaux, des poutres, des solives et des charpentes visibles et remplaçable. En revanche cette exception n'est pas praticable pour les éléments de structures inclus dans les parois isolées comme les montants, les chevrons et les solives noyés dans des parois isolées.

3. Stratégie de valorisation et d'utilisations des bois dans les constructions

A. Enjeux

L'utilisation des bois locaux dans les constructions peut présenter un certain nombre de contraintes par rapport aux bois importés sur le territoire par les réseaux commerciaux classiques. Cependant elle présente également des avantages qui peuvent motiver les acteurs à l'usage de ces ressources.

Il y a tout d'abord un fort intérêt à utiliser cette ressource dans le cadre d'actions visant à réduire l'impact sur le climat des projets de construction. A performances égales, les ouvrages en bois sont très généralement moins impactant sur le climat que les ouvrages en acier ou en béton. Ce bilan favorable est accentué si la ressource utilisée est locale, ce qui diminue les émissions de gaz à effet de serre par rapport à des produits importés. De plus par rapport à une valorisation en bois énergie ou en bois d'industrie, l'utilisation dans les constructions permet de piéger dans le bâti le carbone capté lors de la croissance des arbres et qui aurait autrement été relâché dans l'atmosphère lors de la combustion du bois. Ce point est d'autant plus valable que les ouvrages en bois réalisés ont une durée de vie longue. Il faut dans cette optique privilégier la valorisation des bois en ouvrages de structures abritées (charpente, structure des planchers et des murs) qui ont une grande durée de vie (pratiquement sans limite si les bâtiments sont convenablement entretenus) aux utilisations exposées (structures extérieures, bardages et terrasses) où les bois devront être remplacés régulièrement dans durée de vie du projet. Cette affectation à privilégier est d'autant plus importante pour maximiser les effets de stockage du carbone que l'on se trouve dans un contexte où la ressource en bois de bonne qualité est limitée et ne permettra pas de remplacer tous les ouvrages aujourd'hui réalisés avec d'autres matériaux.

La valorisation de bois locaux présente également l'intérêt socio-économique de créer d'une plus grande quantité de richesse et de la redistribuer entre plus d'acteurs du territoire que par une valorisation énergétique ou en bois d'industrie. Les étapes supplémentaires pour valoriser les arbres en bois d'œuvre peuvent être rémunérées par le surcroît de valeur de bois de construction par rapport au bois énergie. L'évolution à la hausse des prix de l'énergie et des coûts de transport vont dans le sens d'un renforcement de cet avantage.

Les étapes qui vont de l'entretien des forêts, des étapes d'abattage, de sciage à la mise en œuvre sur chantier peuvent permettre la création ou le maintien d'emplois locaux. La présence d'une filière de production de matériaux de construction sur le territoire renforce sa résilience aux tensions sur les approvisionnements en ressources lointaines comme les aciers et les combustibles fossiles nécessaires à la cuisson du ciment et des produits en terre cuite.

Enfin l'utilisation de matériaux locaux avec leurs atouts et faiblesses permet la création de bâtiments avec une architecture régionale unique car liée aux ressources de leur territoire. Ce type d'architecture est généralement un objet de fierté pour l'ensemble des acteurs qui y contribuent et des habitants.

Adaptation des techniques et des usages aux caractéristiques des ressources

Comme il a été vu dans la partie relative à la valorisation des arbres en bois d'œuvre, la longueur des pièces droites et sciées est directement fonction de la longueur des troncs disponibles et de leur rectitude. De ce point de vue une des caractéristiques essentielles de la ressource forestière locale est de produire des troncs relativement peu longs et droits. Il est également à considérer que si la présence de quelques grands arbres peut permettre la production de grandes pièces de charpente, leur exploitation amène généralement l'abatage de beaucoup d'arbres de dimensions plus petites. Dans une idée de valorisation maximale des bois dans la construction, les systèmes constructifs doivent dans l'idéal permettre la valorisation de la part la plus importante de la ressource dans sa diversité de qualité. Il faut donc prévoir l'utilisation d'une grande quantité de bois de faibles dimensions en combinaison de quelques grandes pièces.

Parmi les essences disponibles localement seuls les pins sont pour l'essentiels utilisables en structure dans le cadre réglementaire actuel. Leur potentiel est donc à explorer en priorité pour des projets réalisés à court terme.

Les chênes présents en grand nombre sur le territoire ne sont actuellement pas classés pour un usage en structure et ils présentent très souvent des troncs courts et tortueux. Ces caractéristiques donnent les deux axes à développer pour permettre leur utilisation :

Des campagnes d'essais et des travaux de recherches pourraient permettre d'intégrer à la norme de classement visuel des sciages les bois des chênes pubescents, verts et liège.

Il pourrait ensuite ou parallèlement être développé par la filière locale des techniques de construction tirant partie de ces bois de faible longueur et rectitude. Il s'agit néanmoins d'une démarche longue. Celle-ci pourrait potentiellement être construite avec d'autres acteurs nationaux de la construction bois disposant des mêmes types d'arbres à valoriser.

L'usage des bois le plus durable à favoriser est l'utilisation en situation abritée en classe d'emploi 1 et 2. Dans ces conditions les bois locaux sont durables s'ils sont purgés de l'aubier ou si celui-ci est traité. Cela concerne les ouvrages de structures de charpente, planchers et murs mais également la réalisation d'ouvrages d'enveloppe isolées des bâtiments où de nombreuses petites sections de bois sont nécessaires en complément des isolants. Ces usages où de petits bois courts sont nécessaires avec de faibles enjeux structurels paraissent particulièrement adaptés aux bois locaux de faibles dimensions. Les bois peuvent également être valorisés en parement intérieurs dans les lambris et voligeages essentiellement contraints par des critères esthétiques. Il peut également être imaginé d'utiliser les chênes durs locaux en parquet mais cela reste à expérimenter avec la ressource locale.

Il peut également être envisagé d'utiliser en extérieur certains bois naturellement durables purgés d'aubier ou encore avec un traitement adapté. Ces usages possibles en bardage, lames de terrasse ou pergola valorisent néanmoins la ressource avec moins de pertinence dans une stratégie d'utilisation des bâtiments comme stockage de carbone. Dans cette optique, il paraît le plus efficace de les utiliser surtout dans des cas où des alternatives peu impactantes ne peuvent être employées comme des parements enduits pour les murs ou des empierrements pour les sols.

B. Différents axes technologiques :

On peut distinguer trois axes principaux pour la valorisation des bois en ouvrage de construction en fonction des techniques de transformations employées. Il s'agit des techniques traditionnelles, des techniques d'assemblages des bois sciés et des bois assemblés par collage.

La valorisation par techniques traditionnelles

Dans les techniques de constructions préindustrielles, les bois étaient utilisés sans traitements et le sciage des bois était minimisé. La plupart des pièces étaient transformées par un équarrissage à la hache qui permettait de réduire la part d'aubier dans les pièces et de faciliter leurs assemblages. Ces techniques permettaient pour certains usages d'utiliser des pièces non rectilignes.

Pour certains bois des techniques particulières étaient employées pour favoriser leur durabilité. Il pouvait s'agir de la coupe du bois selon le calendrier lunaire, du stockage des bois dans l'eau pour les laver de leurs sèves et du séchage à l'air libre de long terme avec la purge des pièces dégradées avant la mise en œuvre. Les résultats en termes de durabilité peuvent être très variables selon les situations mais de bons résultats sont attestés pour certains ouvrages d'une grande longévité.

Du fait de l'utilisation de pièces massives, les pièces étaient exceptionnellement taillées sèches. Cela avait pour conséquence d'entraîner le retrait et des déformations importantes des ouvrages réalisés. Les charpentiers tenaient généralement compte de cela et anticipaient les futures déformations du bois dans la conception et la réalisation de leurs ouvrages.

Ces techniques nécessitent généralement plus de temps de travail qualifié que les techniques industrielles. Le niveau de qualité des ouvrages réalisés dépend très fortement du savoir du compagnon qui le réalise. Ce savoir-faire nécessite un temps relativement long pour son apprentissage.

La valorisation par assemblages de section sciées

Les bois utilisés aujourd'hui dans la construction le sont très largement sous la forme de produits sciés.

Cette étape de transformation présente de multiples intérêts qui expliquent sa généralisation pour la construction :

- La réduction des sections permet un séchage plus rapide et la mise en œuvre de pièces plus stables
- Une meilleure valorisation du volume de bois avec la possibilité de purger ses défauts
- La simplification de la géométrie des ouvrages en produisant des éléments rectilignes
- La simplification des assemblages des éléments par la présence de faces planes sur les sections

Ces sections sciées sous la forme de planches, liteaux, chevrons, solives, poutres et poteaux sont ensuite assemblées avec les assemblages métalliques que sont les clous, vis, broches et boulons pour former les ouvrages de construction couramment rencontrés aujourd'hui.

Il est à noter que des structures de grandes dimensions comme des fermes triangulées et des poutres treillis peuvent être réalisées avec ces techniques d'assemblages. Ces techniques peuvent réussir dans une certaine mesure à combiner de petites pièces de structure pour franchir de grandes portées.

Ces techniques d'assemblages permettent également de reconstituer des montants ou des poutrelles en treillis cloués avec de petites sections. Du fait de l'augmentation de la dimension des pièces les ouvrages obtenus peuvent avoir des résistances et rigidités bien supérieures aux pièces qui les composent. Ces ouvrages restent cependant sensibles au fluage et sont surtout adaptés à la reprise des charges de court terme.

Les bois sciés sont dans leur grande majorité traités pour permettre l'utilisation de l'aubier et ainsi maximiser la quantité de bois valorisée à partir des grumes.

Si ces techniques nécessitent un certain savoir-faire à la mise en œuvre, elle nécessite également des moyens d'études notables pour la conception des structures et de leurs assemblages.

La valorisation par collage

L'usage de colle permet à partir de produits sciés de produire des éléments structurels en bois de plus grandes dimensions et aux caractéristiques mécaniques plus maîtrisées. Parmi ces produits on trouve les poutres en bois lamellés collés très utilisées aujourd'hui mais également les panneaux contrecollés utilisés en murs et en plancher.

Si les bois collés peuvent permettre de réaliser des éléments qui ne seraient pas disponibles en bois massif, ils présentent également l'intérêt d'une plus grande stabilité (les planches qui les composent sont usuellement séchées avant le collage). Ils sont également souvent rabotés et permettent une mise en œuvre plus aisée.

Ces étapes supplémentaires par rapport au bois massif augmentent le bilan environnemental des structures qui est ainsi sensiblement plus élevé.

Les bois de faibles dimensions étant très présents sur le territoire et leur taille étant une contrainte majeure pour leur mise en œuvre, la création de produits collés de plus grandes dimensions semble une piste intéressante pour leur valorisation.

Pour développer cette solution, il serait nécessaire de mettre au point et de certifier les techniques de collage des essences locales qui ne sont pas aujourd'hui utilisées par les fabricants de bois lamellé-collé. En effet seul le pin sylvestre est couramment utilisé. Des travaux menés par Fibois Sud sont en cours pour développer les techniques de collage du pin d'Alep et on peut espérer qu'à terme celui-ci soit également utilisable pour la réalisation de poutres en bois lamellé-collé. Pour les autres essences les travaux pourraient être amorcés mais leur intérêt doit être pesé au regard des volumes de bois valorisables par cette technique. Le développement de ce type de transformation peut être porté par des entreprises de charpente de taille moyenne ou des entreprises spécialisées généralement de plus grande dimension. Il n'existe aujourd'hui pas sur le territoire du sud Var d'implantation d'entreprise de ce type.

L'utilisation de colle peut permettre également de fabriquer des panneaux de construction à partir de bois déroulé (panneaux de contreplaqué), de bois déchiqueté et ou broyé (panneaux OSB, panneaux de fibres et panneaux de particules). Si les panneaux de contreplaqué nécessitent des grumes spécifiques, les autres panneaux peuvent être produits à partir de bois de moindre qualité. Ces derniers types de panneaux très utilisés en construction pour les planchers et les murs à ossature bois pourraient être une façon de valoriser les bois de faibles dimensions. L'impossibilité d'utiliser l'écorce dans le processus de production de ces matériaux limiterait néanmoins la valorisation aux bois modérément tortueux pouvant être traités dans le processus.

Les unités de fabrication de ces produits sont des usines de grandes dimensions qui sont peu nombreuses à l'échelle du territoire national. Il n'y a aujourd'hui pas de tel projet industriel en prévu dans la région.

En synthèse de la présentation de ces trois axes de valorisation des bois locaux, on peut retenir que les techniques traditionnelles sont bien adaptées à la valorisation de la ressource locale. Elles peuvent tirer le meilleur parti de celle-ci par leurs adaptations fines aux caractéristiques des troncs disponibles tout en ayant le plus faible impact environnemental. Elles sont cependant limitées dans la dimension et la nature des ouvrages qu'elles peuvent permettre de réaliser. On peut imaginer pour les développer des actions de soutien à la filière d'artisans qualifiés qui les mettent en œuvre. Il peut s'agir du développement de formations, de la valorisation de l'attractivité des métiers et du développement de la demande.

Les techniques utilisant des produits sciés sont adaptées à de nombreux ouvrages de réalisation courante où des bois de faibles dimensions sont employés. On peut imaginer que le soutien aux scieries existantes et la création de nouvelles unités locales seraient favorables à leur utilisation et leur développement. La spécialisation de scieries fixes dans l'utilisation des bois locaux permettrait d'optimiser les techniques de sciage et de créer un circuit de distribution court pour les sections courantes de liteaux, chevrons, planches et montants d'ossature. Enfin les scieries mobiles semblent également un bon moyen de réaliser une valorisation fine dans la diversité de la ressource en réduisant les besoins de transport des bois.

Les techniques de valorisation par collage des bois locaux sont en cours de développement pour le pin d'Alep. Leur développement représente un enjeu fort pour pouvoir produire plus localement des éléments de grandes dimensions très demandées dans la construction. Ce type de technique nécessiterait à priori le développement ou l'implantation d'entreprises de dimension supérieure aux entreprises de charpente ou de scieries présentes sur le territoire.

La production de panneaux bois semble une piste de valorisation possible pour les bois peu adaptés au sciage mais la dimension des industries associées et l'absence de projets sur le territoire rendent peu crédible à moyen terme la réalisation de cette solution.

C. Les technologies utilisables pour les parois structurelles

Parmi les différentes technologies de construction bois existantes aujourd'hui on peut réaliser une distinction entre deux grandes catégories.

Les technologies préindustrielles utilisent les troncs en minimisant les opérations de sciages qui étaient coûteuse en main d'œuvre en l'absence de moyens mécaniques modernes. Ces technologies utilisent également de manière très limitée les métaux pour la réalisation des assemblages du fait de leur relative rareté avant le développement des industries de métallurgies industrielles. Elles privilégient en conséquence les jonctions mobilisant directement les contacts entre les pièces par la réalisation d'assemblages taillés et maintenus par des chevillages en bois dur.

Les technologies modernes tirent parti des grandes possibilités des moyens de sciages mécanisés et parfois automatisés aujourd'hui disponibles. Les moyens d'assemblages métalliques qu'elles peuvent utiliser sont nombreux et diversifiés comme les clous, vis, broches, boulons, sabots et assembleurs de différents types. Des produits industriels à base de bois combinés avec des colles s'ajoutent aux sciages et viennent étendre les possibilités de construction. On peut citer les poutres en bois recomposées (lamellé-collé, LVL et composites) qui peuvent permettre de dépasser les limites dimensionnelles imposées par les troncs disponibles. Les panneaux (contrecollés, contreplaqués, de fibres et de particules) changent également radicalement les possibilités des constructeurs qui disposent alors d'éléments surfaciques permettant de rigidifier une ossature voir de réaliser des surfaces structurelles massives.

Les parties suivantes répertorient les technologies utilisables et questionnent leurs intérêts et le champ des applications possibles dans le cadre de la valorisation des bois locaux.

Les technologies préindustrielles

Les technologies préindustrielles sont aujourd'hui essentiellement utilisées pour l'entretien des monuments historiques et pour certains projets de construction neuve visant un aspect traditionnel. Développées à une époque où les possibilités de transport des matériaux étaient limitées, elles peuvent être appropriées aux bois locaux et pour notamment valoriser certains bois peu adaptés au sciage.

Les charpentes et structures triangulées à assemblages traditionnels

Les techniques de charpentes traditionnelles triangulées avec section équarries sont adaptées à la réalisation des fermes de combles mais également à la réalisation de structure poteaux-poutres de bâtiments à étages. Les techniques de trait de charpente permettent de réaliser des assemblages de pièces non rectilignes tout en maîtrisant la géométrie générale des structures. Elles permettent de réaliser des assemblages fonctionnant principalement en compression sans utilisation d'éléments métalliques. Leur efficacité mécanique est très dépendante du niveau de savoir-faire de l'artisan les mettant en œuvre.

La forme des charpentes dépend du matériau de couverture qu'elle supporte qui définit la pente des arbalétriers et la hauteur statique à mi-portée. Les tuiles canal de la région nécessitent une pente couramment de 30 à 40% qui est habituellement supportée par des pannes sur des fermes latines. La portée de ce type de ferme est traditionnellement limitée par les pièces disponibles pour la réalisation des entrants en une pièce relativement droite. Des assemblages en traction peuvent être utilisés pour dépasser cette limite mais leur efficacité reste assez limitée avec les techniques traditionnelles. Les autres pièces (arbalétriers, poinçons et contrefiches) sont de dimensions plus réduites et nécessitent des bois plus faciles à obtenir. Des portées de l'ordre 4 à 10 mètres sont observables couramment dans les bâtis anciens. Il faut noter que les techniques de charpente triangulées traditionnelles sont moins représentées dans la région que dans la moitié nord de la France du fait de la faible pente des couvertures en tuiles canal et d'une moins grande disponibilité en bois adaptés. Dans de nombreuses constructions le recours à des fermes triangulées est évité en disposant des murs de refend suffisamment proches pour supporter les couvertures avec de simples pannes.

Ces techniques d'assemblages permettent également de réaliser des structures poteaux/poutres stabilisées par des aisseliers. Elles constituent des structures relativement souples permettant d'abriter une zone tout en libérant les passages entre les poteaux.

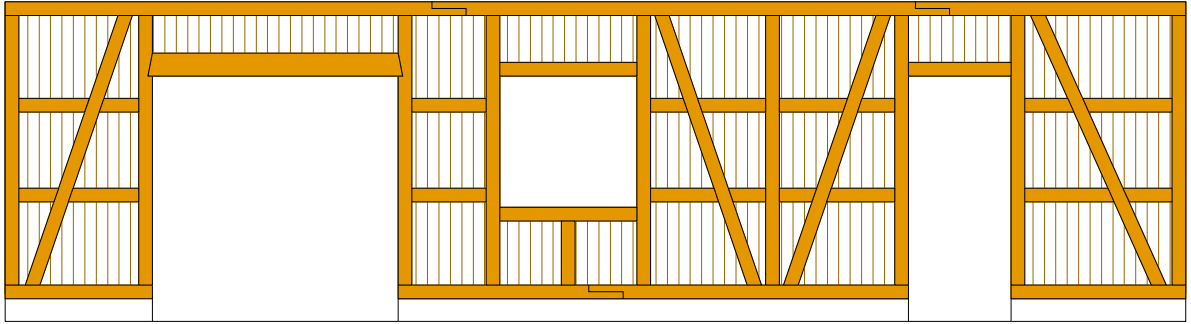
Les murs à colombages

Les techniques de murs à colombages permettent de réaliser des murs porteurs et contreventés. Ces techniques sont très connues dans la version où les bois formant la structure restent visibles et donnent un aspect caractéristique aux façades des bâtiments. Les éléments bois peuvent également être masqués par un enduit ou noyés dans les éléments de remplissage. Cette dernière option semble très intéressante pour valoriser les bois régionaux inadaptés au sciage. De plus elle permet de réaliser plus efficacement l'étanchéité à l'air des parois. Des bois tordus et de faibles sections peuvent ainsi être employés pour réaliser la structure de murs porteurs.

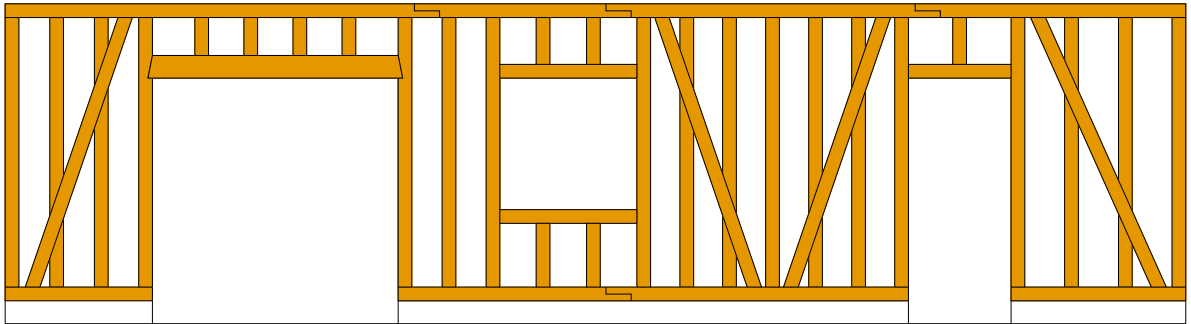
Combiné à un remplissage lourd en maçonnerie ou en terre, le mur à colombages constitue un mur de faible épaisseur à l'inertie relativement importante qui peut jouer un rôle de régulateur thermique à l'intérieur de l'enveloppe des habitations.

Ces deux techniques sont encadrées aujourd'hui par le DTU 31.1 Charpente bois et elles peuvent ainsi être utilisées dans un cadre assurantiel courant.

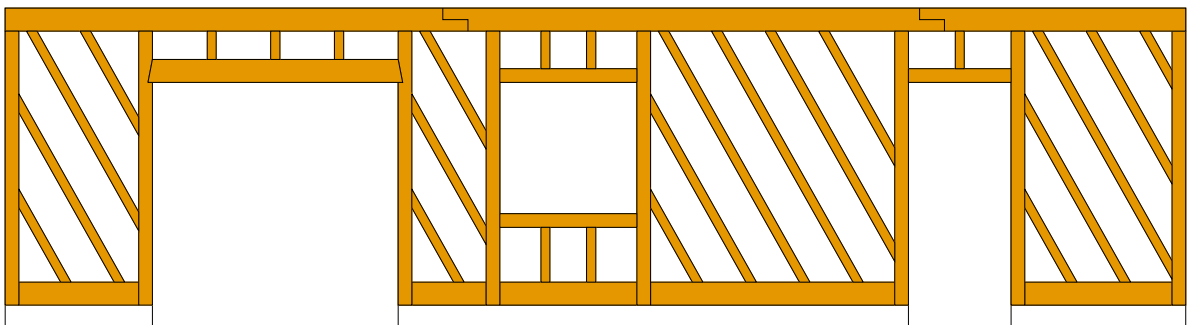
MURS A COLOMBAGE



MURS AVEC TRAVERSEES ET ECHARPES



MURS AVEC MONTANTS DENSES ET ECHARPES



MURS A ECHARPES DENSES

Planchers provençaux : planchers à augets ou à kes

Les planchers provençaux dits à « augets » ou à « kes » sont une technique traditionnelle pour réaliser les planchers de faibles portées entre des sommiers porteurs ou des murs rapprochés. Ils sont constitués d'éléments porteurs faiblement espacés en bois triangulaires, les « kes » ou en portions de troncs refendus dans leur version la plus simple. L'espace entre les kes est comblé par un mortier de plâtre appelé « auget ». L'ensemble accueille par la suite une aire de plancher de mortier et/ou de gravats. Les portées possibles dépendent des dimensions des kes mais elles sont habituellement de l'ordre de 1.2m entre poutres pour des pièces triangulaires de 8 centimètres d'épaisseur.

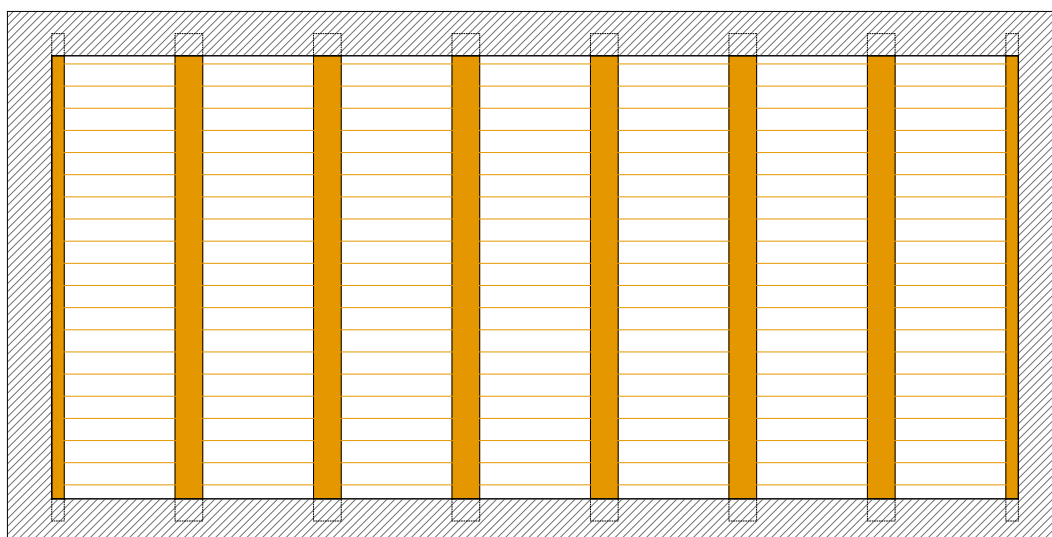
Ce type de technique semble très adaptée pour valoriser en grande quantité des bois courts et peu droits car l'auget permet de rattraper leur géométrie dans l'aire de plancher. De plus comme pour les murs à colombage, la combinaison avec un matériau lourd permet de réaliser des parois à fortes inerties appréciables notamment pour conserver la fraîcheur des constructions en été.

Il est à noter que cette technique n'est pas mentionnée dans le DTU 51.3 Planchers en bois. De plus l'absence d'un panneau formant diaphragme limite certainement les capacités de cette technique à redistribuer les efforts horizontaux de stabilité.

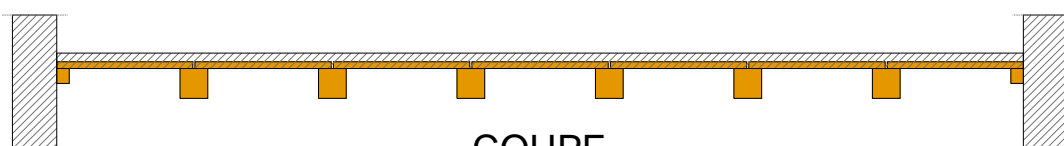
PLANCHER TRADITIONNEL - PLATELAGE OU KES

E spacement des sommiers de l'ordre de 1.2m

Portée ses sommiers fonction des sections disponibles



PLAN



COUPE

Tuiles canal sur chevrons triangulaires ou quartons

Les tuiles canal à courant et couvert peuvent être mises en œuvre sur des chevrons triangulaires appelés « quartons » et disposés à chaque rangée de tuile. Sur des couvertures anciennes des quartons pouvaient valoriser des bois de sections relativement faibles avec une rectitude minimale. Cette technique peut être utilisée pour réaliser des combles non isolés en valorisant une quantité importante de bois de faibles dimensions.

Ce type de pose est mentionné dans le DTU 40.22 couverture en tuiles canal de terre cuite sans beaucoup de précisions.

Lattis support d'enduit

Dans le bâti traditionnel beaucoup de surfaces étaient réalisées avec une finition enduite. Lorsque la surface n'était pas en maçonnerie mais en structure bois, l'enduit était souvent réalisé par un lattis constitué de petites sections de bois espacées. Même s'il ne s'agit pas à proprement parler d'un ouvrage de structure cette utilisation présente l'intérêt de valoriser des bois de petites sections pour réaliser des enduits épais contribuant à l'inertie thermique des habitations. Des essais avant d'utiliser un type de bois paraissent essentiels pour vérifier leur comportement à terme et notamment s'assurer qu'il n'y a pas de migration de tanins au travers de l'enduit qui pourrait l'impacter visuellement.

Ce type de support est mentionné par le DTU 25.1 Enduits intérieurs en plâtre.

Les technologies courantes contemporaines

Structures principales bois

Les technologies d'assemblages modernes avec des éléments métalliques augmentent considérablement les possibilités du constructeur bois pour la réalisation des structures. Les assemblages sollicités en tractions sont notamment beaucoup plus simples à réaliser avec ceux-ci qu'avec les techniques traditionnelles. Les assemblages cloués, vissés, brochés, boulonnés, moisés ou avec des ferrures métalliques rendent possible l'assemblage de pièces sciées pour former des charpentes triangulées de grandes portées aux géométries plus complexes que les fermes traditionnelles. En pratique leur portée peut être limitée par la longueur des poutres disponibles qui pour certaines pièces tendues imposent des assemblages complexes et coûteux. Les assemblages de pièces comprimées doivent également être stabilisées au flambement par des triangulations hors du plan de la structure. En plus des fermes et des poutres treillis, ces assemblages peuvent permettre de réaliser des ouvrages de contreventement triangulés utiles pour la réalisation de halles ou de bâtiments multi-étages.

Les vis et les broches métalliques peuvent également permettre d'assembler des petites sections pour recréer des poutres ou des arcs de plus grande dimension à la manière des produits en bois lamellé collé. Il faut cependant remarquer que ces moyens mécaniques permettent une solidarisation moins efficace que les collages et qu'ils ne permettent pas un aboutage efficace des sections. Ils peuvent donc permettre de dépasser les contraintes géométriques des sections de bois disponibles dans la mesure où les pièces nécessaires ne sont pas trop sollicitées mécaniquement. Du fait des glissements des assemblages, le fluage de ce type de pièce est notamment beaucoup plus important que pour les jonctions collées. Cela peut disqualifier ces techniques pour les pièces devant supporter de lourdes charges en flexion avec de faibles déformations admissibles.

Pour l'utilisation de ces techniques récentes, il faut avoir à l'esprit qu'elles ont souvent été développées pour utiliser des bois de résineux peu denses de type sapin/épicéa. Leur usage avec des bois de pins dense et chargés en résine peut s'avérer problématique pour certaines vis, broches et clous. Dans ces configurations il faudra souvent pré-percer les pièces et prendre en compte des difficultés d'assemblage dues à la présence de la résine qui peut gêner la pénétration des vis et des broches dans les bois. Les assemblages boulonnés sont souvent plus robustes et adaptés dans ces configurations.

La réalisation de ces structures est encadrée par le DTU 31.1 Charpente bois et leur dimensionnement par l'Eurocode EN 1995 Structures bois.

Les murs à ossature bois

Les murs à ossature bois sont une des technologies les plus employées aujourd'hui pour la réalisation de parois isolées en construction bois. Les panneaux d'ossatures sont constitués de montants et de lisses assemblés par clouage à un panneau de contreventement. L'espacement courant des montants varie entre 50 et 62 centimètres. L'association avec le voile travaillant qui bloque le flambement des montants permet d'utiliser des pièces de faible largeur, typiquement de l'ordre de 45 millimètres.

La technique ménage un grand volume de cavités entre les montants qui permet la mise en œuvre de matériaux isolants dans l'épaisseur de la paroi. Les panneaux peuvent être montés en chantier ou en atelier avec un niveau de préfabrication allant jusqu'aux revêtements des parois. Cette dernière méthode associée à des moyens de levage adaptés permet de réduire le temps d'intervention sur le chantier. La technique est adaptative et peut être combinée avec d'autres types de structures bois pour répondre aux attendus spécifiques de chaque chantier. Les bois nécessaires à sa réalisation sont généralement de faibles longueurs, de l'ordre de 2.5 à 3.5 mètres pour des murs courants. Les sections sont choisies par rapport à la quantité d'isolation nécessaire jusqu'à une épaisseur habituelle de 220 millimètres. Lorsqu'une épaisseur d'isolant plus importante est nécessaire celle-ci est réalisée hors du plan des montants entre un lattage horizontal ajouté sur une face du mur. La technique est bien adaptée à la valorisation des bois locaux de faibles dimensions et particulièrement des pins dont les caractéristiques mécaniques peuvent être déterminées par classement visuel. Des montants d'ossature bois de 45/145 millimètres en classe STIII – C18 sont généralement suffisants sur une hauteur de 3.2 mètres pour supporter les charges d'une construction bois courante de deux niveaux et les pressions de vent en façade.

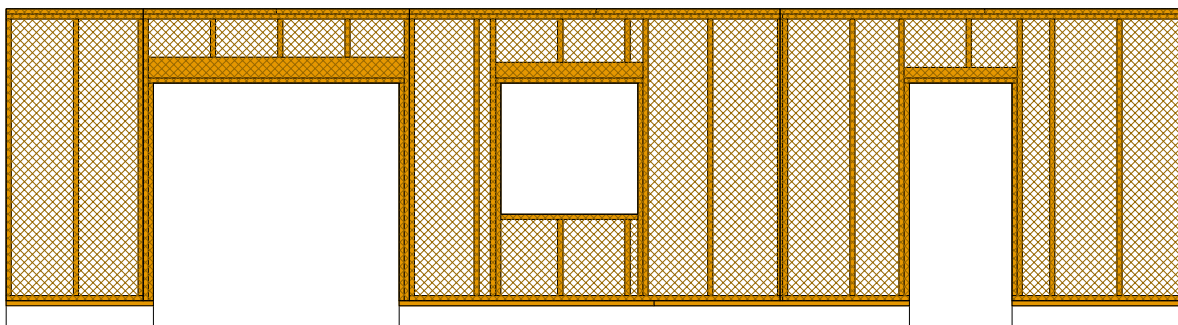
La construction de murs à ossature bois est encadré par le DTU 31.2 Maisons à ossature bois. Celui préconise systématiquement l'utilisation d'un voile travaillant en panneaux OSB, panneaux de particules ou en contreplaqué. Son rôle est d'assurer la stabilité du mur dans son plan, de réaliser le blocage au déversement des montants et de contreventer la construction.

Hors du cadre du DTU, il est possible pour le contreventement des murs d'utiliser d'autres solutions avec des voligeages inclinés ou des écharpes à la place des panneaux industriels. La première consiste à réaliser le contreventement des panneaux grâce à des pièces diagonales clouées appelées écharpes et à fermer le mur avec un voligeage horizontal. Cette technique permet de valoriser du bois de faible qualité dans le voligeage. Elle présente l'inconvénient de créer de nombreuses cavités triangulaires moins faciles à isoler que les cavités rectangulaires. La réalisation des murs est également plus longue qu'avec un panneau de fermeture qui permet de réaliser plus simplement son assemblage.

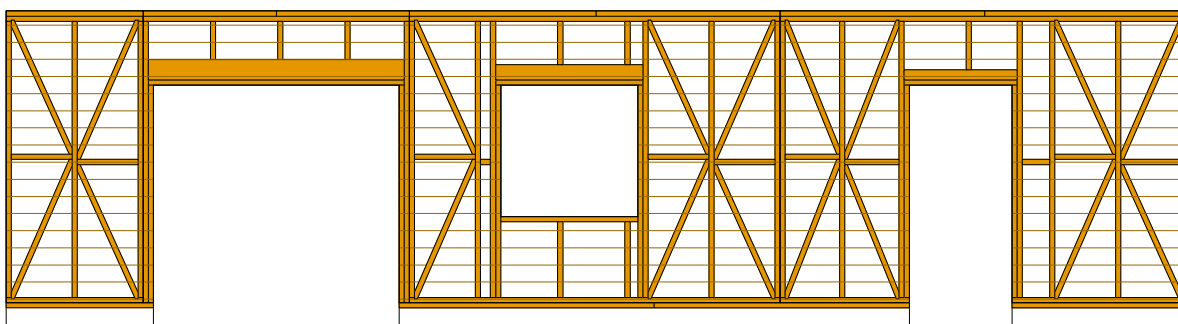
Une seconde méthode pour s'affranchir des panneaux consiste à utiliser un voligeage cloué à 45° pour la fermeture du mur. Cette méthode à l'avantage de conserver les cavités rectangulaires simples à isoler mais nécessite un grand soin dans la conception et le clouage des extrémités des voliges qui transmettent les efforts de contreventement.

De manière générale ces deux dernières techniques nécessitent un soi accru à la conception et à la fabrication. De plus le niveau des efforts horizontaux qu'elles peuvent transmettre est généralement plus faible que dans les solutions avec panneaux industriels.

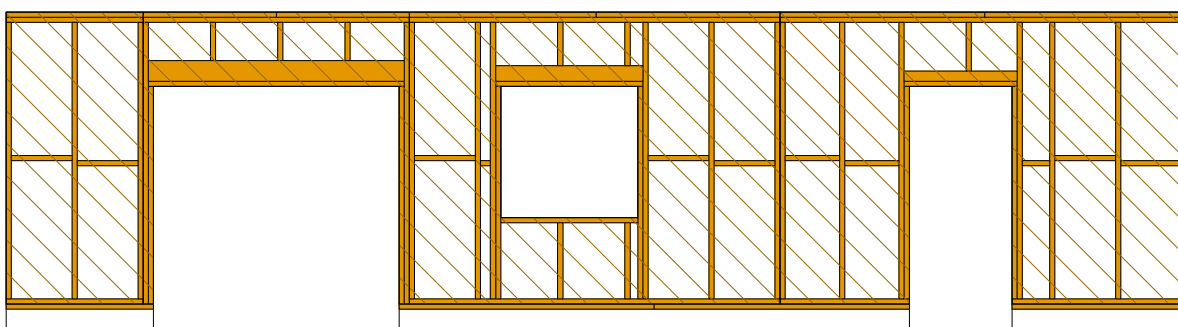
MURS A OSSATURE BOIS



CONTREVENTEMENT PAR VOILE TRAVAILLANT



CONTREVENTEMENT PAR ECHARPES



CONTREVENTEMENT PAR VOLIGES A 45°

Les planchers avec solivage bois

Les planchers à solivage réalisés par des sections de bois avec un espacement de l'ordre de 40-60 centimètre et supportant un platelage bois ou un panneau à base de bois sont aujourd'hui les plus courants en construction bois. Leur réalisation est encadrée par le DTU 51.3 Planchers en bois.

L'utilisation d'un panneau industriel en bois cloué sur les solives permet de réaliser un diaphragme de plancher. Son rôle est de rigidifier le plan horizontal et de permettre la redistribution des efforts de stabilité aux ouvrages du contreventement vertical. Il permet également de réaliser le blocage au déversement de la partie haute des solives et permet ainsi d'utiliser des sections élancées plus optimisées pour le franchissement. Ne pas utiliser ce type de panneau implique alors de dimensionner les solives de telle manière qu'elles ne présentent pas de risque de déversement et surtout de concevoir le contreventement du bâtiment pour qu'il ne soit pas nécessaire que les planchers assurent la redistribution des efforts horizontaux. En pratique ce dernier point paraît réalisable sur les constructions où de nombreux murs de contreventement sont présents et où les efforts de stabilités restent faibles (bâtiments de faible hauteur au vent et non exposés au séisme).

Le dimensionnement du plancher consiste à adapter les caractéristiques des bois (classe mécanique et section), aux portées à franchir et aux charges à supporter de sorte que les critères de résistances et de déformations admissibles du plancher soient respectés.

Pour un local d'habitation les charges d'exploitations à supporter sont définies à 150 kg/m². Les charges permanentes peuvent varier fortement selon le type de plancher et des ouvrages qu'il supporte (plafonds, cloisons et revêtements de sol).

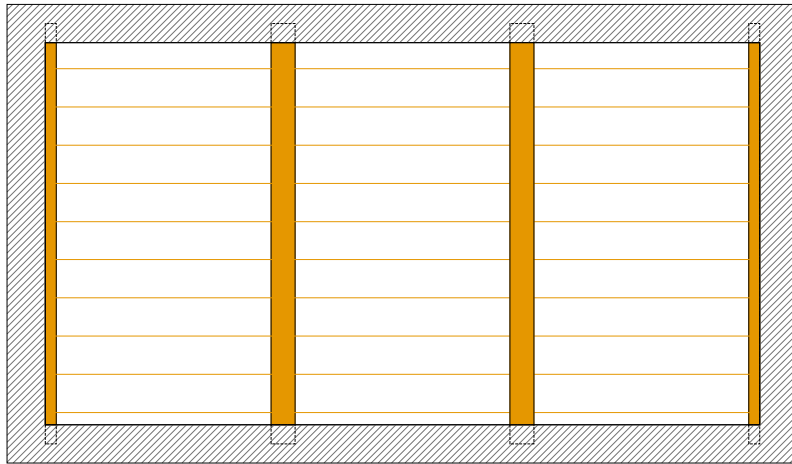
Les critères de résistances à respecter sont l'absence de risque de rupture en flexion, au cisaillement et au déversement des poutres. Les critères de rigidité dépendent de l'usage (tolérance plus ou moins élevées aux vibrations) et des ouvrages supportés qui peuvent accepter certains niveaux de déformations. Certains ouvrages rigides et fragiles comme les cloisons en plaques de plâtre, les chapes, les enduits et les carrelages sont particulièrement sensibles aux déformations que peuvent présenter les planchers. Il s'agit souvent pour ce type de plancher du critère dimensionnant.

PLANCHER A SOLIVAGE

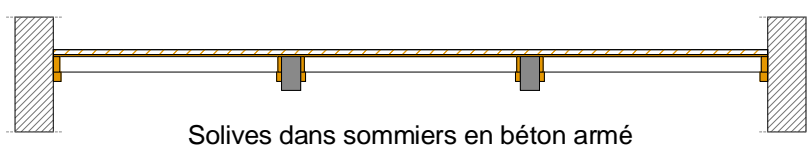
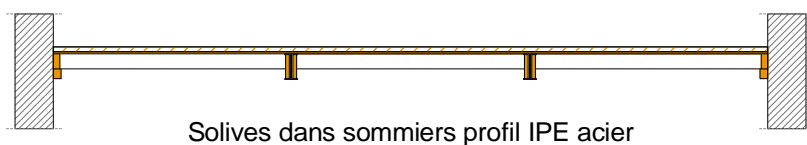
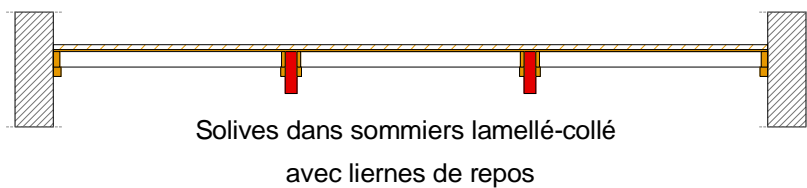
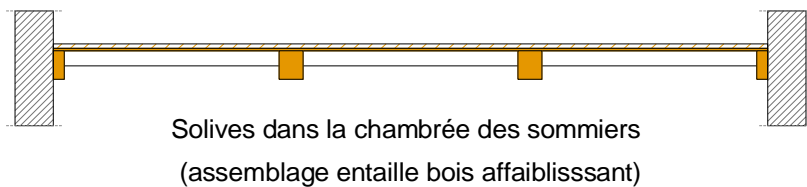
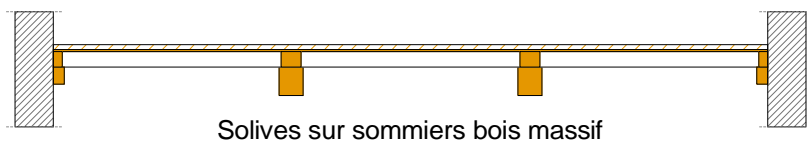
Portée des sommiers fonction des sections disponibles

Possibilités d'utiliser d'autres matériaux pour les sommiers

Portée des solives de l'ordre de 2 à 3.5m



PLAN



COUPES

Les structures bois des couvertures et toitures isolées

Du fait de leur rapport favorable rigidité & résistance en flexion / masse, les éléments bois sont très utilisés pour la réalisation des supports de couvertures et de toitures isolées.

Les couvertures non isolées et ventilées sont utilisables pour la réalisation de auvents ou encore pour les bâtiments dont la température ne nécessite pas d'être réglée. Elles peuvent également être utilisées pour des bâtiments isolés au-dessus d'un plancher ou d'un plafond isolé. Le comble (espace entre la couverture et le plancher isolé) doit être ventilé et peut constituer une zone de tampon thermique appréciable pour limiter la transmission de la chaleur dans le local isolé au-dessous.

Leur structure est généralement constituée de chevrons avec un espacement de l'ordre de 50-60 centimètres. Les chevrons reposent sur des pannes orientées sur un axe perpendiculaire à l'écoulement de l'eau. Si les portées à franchir sont trop importantes pour les sections de pannes disponibles, il peut être nécessaire de les soutenir par des ouvrages de charpente de type fermes triangulées ou par des poutres inclinées de la section nécessaire.

Selon les besoins de la structure principale du bâtiment, des ouvrages de stabilisation (diagonales ou diaphragmes) peuvent être intégrés à la charpente pour assurer la redistribution des efforts horizontaux.

La réalisation des ouvrages supports de couverture est encadrée par le DTU 31.1 Charpente bois et les DTU relatifs aux matériaux de couverture :

- DTU 40.2 Couvertures tuiles
- DTU 40.41 Couvertures zinc
- DTU 40.35 Couvertures tôles nervurées

Pour les bâtiments nécessitant une isolation en toiture il est possible d'intégrer celle-ci directement dans l'épaisseur des chevrons ou des pannes sur le principe des murs à ossature bois. Dans cette configuration l'épaisseur des chevrons peut être augmentée pour permettre d'accueillir l'épaisseur d'isolant nécessaire. Si celle-ci est plus importante que la hauteur des chevrons disponibles (de l'ordre de 18 centimètres pour les bois disponibles sur le territoire) il peut être nécessaire de compléter l'épaisseur par une seconde couche d'isolant en sous-face ou par un panneautage isolant en fibre de bois par-dessus les chevrons. Ce type de toiture se prête bien à la mise en place d'un voile travaillant en panneaux bois permettant de rigidifier les plans de toiture du bâtiment.

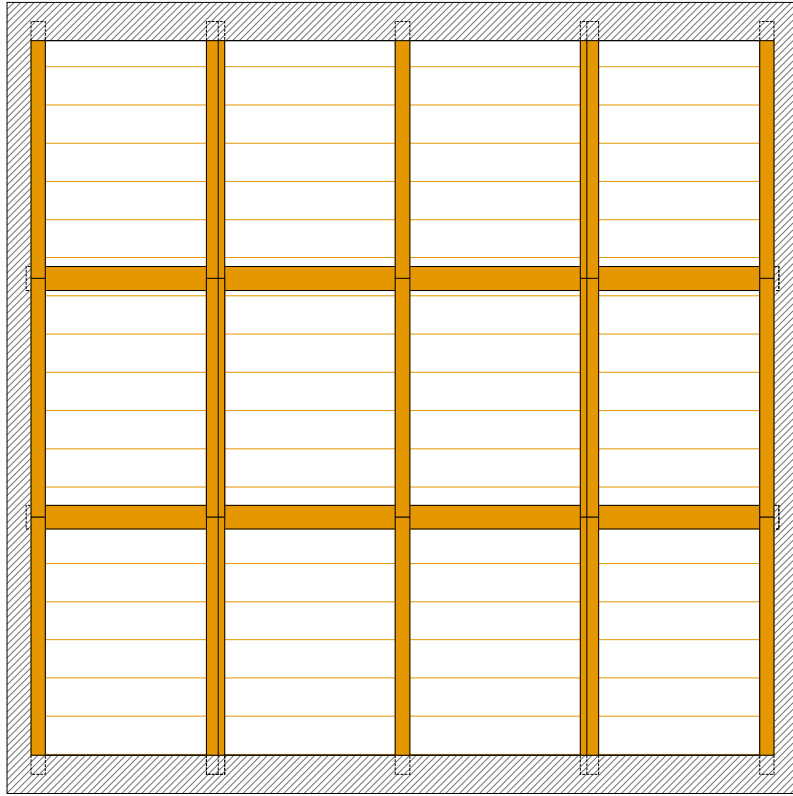
Pour les toitures isolées et refermées par un voile travaillant il faut en plus prendre en compte les préconisations pour ce type de parois du DTU 31.2 Maisons à ossature bois en plus de celles de l'ouvrage de couverture.

TOITURES

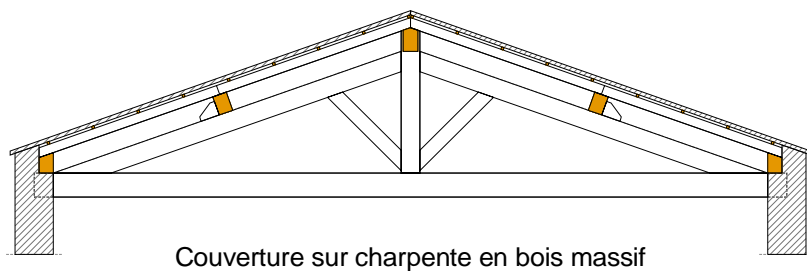
Portée des chevrons non isolés de l'ordre de 1,8 à 3m

Portée des chevrons isolés de l'ordre de 2 à 4m

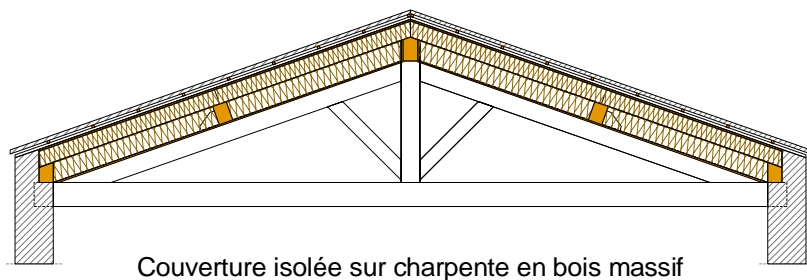
Portée des pannes de l'ordre de 2,5 à 4,5m



PLAN



Couverture sur charpente en bois massif



Couverture isolée sur charpente en bois massif

COUPES

Projet LEADER – Perspectives pour la valorisation dans la construction des bois du Sud-Var
Bureau d'études techniques structure et construction bois NEMOZ Études

D. Technologies spécifiques pour l'isolation thermique des murs

Pour la réalisation des murs isolés, des systèmes d'ossature secondaires doivent être mis en place pour le maintien de l'isolant et des revêtements associés. Ces structures peuvent participer à la reprise des charges principales mais cela n'est souvent pas obligatoire pour ces ouvrages qui viennent généralement en complément d'une structure principale.

La réalisation de ces ouvrages représente un volume de travaux de construction important et mobilise essentiellement des bois de faibles sections et de courtes longueurs (montants d'ossature et tasseaux) sans grands enjeux structurels. Il s'agit donc d'un débouché très intéressant pour valoriser les bois locaux ne pouvant fournir de grandes pièces utilisables en structure.

Murs maçonnés isolés par un doublage en ossature bois

En construction neuve ou en rénovation thermique il peut être nécessaire de réaliser un doublage isolant des murs en maçonnerie.

S'il est possible d'utiliser des isolants rigides directement fixés à la maçonnerie et servant de support d'enduit cette technique n'est pas toujours la plus adaptée. Elle nécessite tout d'abord des murs aux surfaces relativement planes rarement rencontrés dans le bâti ancien en pierre. Ensuite les isolants pouvant donner satisfaction dans ce contexte sont généralement synthétiques et très énergivores à la production. Les panneaux isolants de fibres de bois pouvant être enduits sont de forte densité, nécessitent beaucoup d'énergie à la production et sont beaucoup plus coûteux que les panneaux de faible densité.

En alternative il est possible d'utiliser des isolants végétaux en vrac (ouate de cellulose, balle de riz, paille broyée, chènevotte) ou des isolants souples en panneaux (fibre de bois, laine de chanvre). Ces isolants sont moins coûteux et énergivores et peuvent s'adapter aux irrégularités des murs maçonnés. Ils nécessitent pour leur mise en œuvre une ossature secondaire en bois dont le rôle est de maintenir l'isolant et de servir de support au parement.

Ce type de système peut être installé par l'extérieur ce qui présente plusieurs intérêts techniques par rapport à une isolation par l'intérieur :

- L'isolation par l'extérieur permet de conserver dans l'enveloppe isolée l'inertie de la maçonnerie ce qui peut être très intéressant pour le confort estival et hivernal
- La gestion des ponts thermiques au niveau des raccords murs/planchers est généralement facilitée dans cette configuration
- Il n'y a pas de risques particuliers de condensation et la mise en œuvre d'un frein-vapeur peut être évitée
- La mise en place de l'isolation ne réduit pas la surface intérieure du bâtiment

Ce système implique de réaliser un parement extérieur qui peut-être de plusieurs types selon les enjeux architecturaux du projet (bardage en bois, panneaux, métal mais également enduit sur panneaux ventilés ou non). Les ossatures bois supports ne doivent pas nécessairement être de l'épaisseur de l'isolant mis en œuvre mais peuvent être plus fine et maintenues par des pièces permettant d'ajuster leur écartement à la paroi maçonnée. Selon les parements, des tasseaux peuvent être nécessaires en plus de l'ossature pour leur fixation.

Malgré ces avantages techniques on rencontre de nombreuses situations où l'isolation ne peut être mise en œuvre par l'extérieur notamment pour conserver le volume extérieur du bâtiment ou l'aspect maçonné de la façade. Dans ces conditions il reste possible de réaliser l'isolation par l'intérieur des façades.

Dans cette configuration un film pare-vapeur ou frein-vapeur doit être mis en place pour limiter le risque d'accumulation d'humidité dans la paroi. Sa nature doit être déterminée par un bureau d'études spécialisé et sa mise en œuvre doit être particulièrement soignée pour limiter les risques de désordres. Comme pour la configuration par l'extérieur, l'ossature bois peut être moins épaisse que l'isolant. Des tasseaux sont également nécessaires pour fixer le film

d'étanchéité à l'air, former les vides techniques nécessaires au passage des gaines et servir de support au parement intérieur.

Murs en ossatures bois adaptées aux bottes de paille

Les bottes de paille sont un isolant végétal très disponible à l'impact environnemental particulièrement faible et qui peut servir directement de support à des enduits. Ces caractéristiques en font un matériau de choix pour la réalisation de bâtiments sobres et confortables avec un très faible impact pour l'environnement.

Ce matériau est à l'origine un produit agricole créé pour conditionner et stocker plus facilement la paille issue de la production des céréales. Cette origine agricole le différencie des autres produits isolants spécialement produits pour la construction et les systèmes constructifs qui l'emploient s'adaptent à sa géométrie et à ses caractéristiques particulières.

Par leur fabrication dans le canal de presse d'une botteleuse les bottes de paille ont une section de 37 par 47 centimètres environs et sont de longueurs comprises entre 80 et 120 centimètres.

Les bottes de paille peuvent servir de support d'enduit particulièrement appréciables pour le confort des locaux lorsqu'ils se trouvent du côté intérieur de la paroi. Ils constituent à cette position une masse inertielle facilement mobilisable pour le confort des locaux. Lorsqu'ils se trouvent du côté extérieur ils permettent de réaliser un parement qui s'intègre facilement au patrimoine architectural local dominé par les façades minérales.

Il existe aujourd'hui plusieurs techniques de fabrication de murs avec ossature bois permettant d'utiliser les bottes de paille. Ces techniques varient fortement selon le fait que l'on utilise la paille comme support d'enduit et selon le fait que l'on utilise un panneau de contreventement pour rigidifier les parois.

Les caractéristiques essentielles de ces techniques et les potentiels d'utilisation des bois locaux pour celles-ci sont présentés ci-après :

- *Ossature bois de l'épaisseur des bottes avec panneau de contreventement*
Cette technique est la plus proche des murs à ossature bois classiques et seul l'écartement et la dimension des montants sont adaptées aux bottes de paille. Elle nécessite des montants d'une épaisseur de 37 centimètres environ qui peuvent être réalisés par l'assemblage de plusieurs sections plus petites. Son intérêt principal est de permettre la préfabrication des murs en atelier et de réaliser un chantier sans paille apparente ce qui permet de réduire les risques d'incendies en phase chantier. Elle permet également de réaliser les parements du complexe de mur par des techniques sèches classiquement maîtrisées par les artisans (bardage et plaques de plâtre). Dans un contexte d'utilisation des bois locaux elle peut permettre de valoriser de petites sections dans la fabrication des montants. Ceux-ci peuvent par exemple être assemblés par vissage à partir de trois pièces de 60/ 120 millimètres. Il est à noter que pour des murs courant ces montants épais sont rarement utiles pour la reprise des charges mais sont néanmoins nécessaires pour des raisons constructives. Il est possible également de composer des montants propres à cette technique avec des sections assemblées par panneaux ou par des voliges.
- *Ossatures bois moins épaisses que les bottes avec panneau de contreventement et enduit sur une face*
Dans cette configuration il s'agit de réaliser une ossature bois adaptée aux dimensions des bottes de paille contreventée par un panneau. Les montants sont généralement espacés d'une cinquantaine de centimètres pour accueillir les bottes disposées verticalement. Les montants peuvent se limiter à des sections de l'ordre de 45/200

millimètres et une de leur face est noyée dans l'épaisseur de la paille du côté qui sera enduit. La face intérieure ou extérieure peut être enduite en adaptant la nature du panneau pour favoriser la migration de l'humidité à l'extérieur de la paroi. Cette technique permet de réaliser des murs de contreventement avec une méthodologie de montage de la structure proche des constructions à ossature bois classiques. Les bois locaux paraissent bien adaptés aux besoins de cette technique et il peut être envisagé de recomposer des sections de montants pour la réaliser si des bois de section 45/200 millimètre sont difficiles à trouver.

- *Ossatures bois moins épaisses que les bottes avec enduit sur les deux faces*
Dans cette configuration les montants d'ossatures sont moins épais que les bottes et sont situés au centre de la paroi. Ils servent de maintien aux bottes qui sont généralement fixées par des liteaux vissés. Les deux faces étant enduites, le contreventement doit être réalisé par d'autres systèmes que la paroi comme par exemple par une structure poteaux-poutres triangulée à l'intérieur de l'enveloppe thermique. Dans cette configuration les montants peuvent ne pas être porteurs et leur section peut être alors très faible, de l'ordre de 27/150 millimètres. Cette technique qui utilise peu de bois et de faibles sections paraît très adaptée aux caractéristiques des ressources locales.
- *Ossature GREB : double ossature sans panneau de contreventement*
Parmi les autres techniques de construction paille il faut remarquer la technique GREB qui utilise une double ossature avec des montants de faible section 40/100 millimètres. Les bottes de paille sont positionnées entre les deux ossatures et la paroi est recouverte d'enduit épais sur ses deux faces. Il n'y a pas de panneau de contreventement dans cette technique et la contribution de la paroi à la stabilité de la structure ne peut aujourd'hui être justifiée par les méthodes reconnues. L'expérience de nombreux bâtiments réalisés témoigne cependant de la robustesse de la technique pour des constructions de deux niveaux.
Cette technique paraît également très intéressante dans le contexte local par rapport aux faibles dimensions des sections utilisées et par rapport aux fortes épaisseurs d'enduits qui y sont associées et confèrent une inertie conséquente aux parois.

Les constructions en bottes de paille sont aujourd'hui assurables et leur mise en œuvre est encadrée par les Règles professionnelles de la Construction en Paille CP 2012.

Murs en ossatures bois adaptées au béton de chanvre

Le béton de chanvre est constitué de chènevotte mélangée à de la chaux qui joue le rôle de liant. Il est mis en œuvre humide et en vrac et sa forme peut ainsi s'adapter à de nombreuses configurations de remplissage. Une fois sec le béton de chanvre est un matériau relativement isolant (néanmoins sensiblement moins qu'un isolant conventionnel) suffisamment rigide pour pouvoir servir de support à une finition enduite. Il est également relativement lourd et associé à des finitions enduites il permet de réaliser des parois avec une inertie moyenne propre à obtenir un bon confort estival.

Le béton de chanvre est généralement associé à une structure bois noyée dans l'épaisseur de la paroi. Celle-ci peut être de type ossature bois avec un panneau de contreventement et un enduit sur une face ou encore de type poteaux/poutres ou pans de bois.

Ces deux types de structures sont particulièrement adaptées aux caractéristiques des bois locaux. Les ossatures bois sont réalisables avec des bois sciés de faibles sections et de courtes longueurs disponibles. Les structures poteaux/poutres et pans de bois noyés dans l'enduit peuvent être réalisées avec des bois de rectitudes moyennes ou faibles. Dans cette configuration la présence de flache n'est pas gênante car le béton de chanvre s'adapte au remplissage à la géométrie de ces structures.

La mise en œuvre des constructions en béton de chanvre est encadrée par les Règles Professionnelles d'Exécution et d'Ouvrage en Béton de Chanvre RP2C.

E. Types de projets et articulations avec les ouvrages en maçonnerie

Les différentes techniques de construction bois permettent de réaliser la plupart des ouvrages de structure des bâtiments. Suivant les configurations ils sont souvent utilisés en association avec les ouvrages en maçonnerie et en béton pour la réalisation des murs et des planchers. On peut distinguer les trois grandes configurations de projets suivantes avec des enjeux constructifs et architecturaux différents.

Les projets réhabilitation thermique du bâti maçonné

L'essentiel des constructions anciennes du territoire sont en maçonnerie ou en béton avec peu ou pas d'isolant associé aux parois. Pour le patrimoine existant dont les usages peuvent être prolongés ou adaptés, la réhabilitation thermique est aujourd'hui un enjeu prioritaire et vise à réduire leur consommation énergétique tout en améliorant le confort des usagers. D'un point de vue constructif il s'agit de valoriser le potentiel des ouvrages déjà réalisés.

Dans ce contexte il s'agit d'améliorer l'isolation des murs existants avec des complexes d'enveloppe intégrant du bois pour la structure secondaire. Au niveau des toitures l'ajout d'isolant peut nécessiter le renforcement des structures voir nécessiter leur remplacement complet.

Les sujets sont variables suivant les configurations mais les techniques suivantes vont dans la majorité des cas pouvoir être utilisées :

- Les ossatures secondaires de doublage pour l'isolation par l'intérieur des murs
- Les ossatures secondaires pour l'isolation extérieure des murs avec bardage
- Les complexes isolants de toiture avec chevrons, litelages, voligeages et parfois charpentes
- Les ossatures secondaires pour les cloisons intérieures

Pour la majorité de ces ouvrages les bois locaux présentent des caractéristiques adaptées. Il s'agit en effet de bois de faibles sections et de courtes longueurs utilisé en configuration abritée.

Comme les quantités de projets et surfaces de parois à améliorer thermiquement sont conséquentes, ce type de projet peut représenter un enjeu important pour la filière de valorisation des bois locaux.

Les projets en système constructif bois à partir des fondations

En construction neuve et mis à part les fondations, la plupart des ouvrages de structure des bâtiments courants peuvent être réalisés avec des techniques de construction bois.

Grace à la faible conductivité thermique du bois, ces techniques facilitent la réalisation d'enveloppes isolantes très performantes. En climat méditerranéen, la faible inertie thermique de ces systèmes constructifs peut être complétée par l'utilisation d'isolants végétaux améliorant le déphasage des parois et par le positionnement de masses inertielles à l'intérieur de l'enveloppe isolée sous la forme d'ouvrages d'enduits, de chapes ou de murs intérieurs avec des masses minérales.

Mis à part les fondations qui sont aujourd'hui quasi exclusivement réalisées en béton, les autres ouvrages de structure (structure des murs, plancher et toiture) peuvent être réalisées en bois. Les dimensions réduites des bois locaux contraindront principalement la réalisation des planchers de dimensions importantes où de grandes sections et longueurs sont

nécessaires. Cette contrainte peut plus souvent être dépassée en toiture où il est possible de réaliser des charpentes triangulées avec des bois de plus faibles longueurs que les portées à franchir. Le fait que les structures soient réalisées essentiellement par un corps d'état simplifie l'organisation du chantier.

Projets mixtes avec murs en maçonnerie

Une autre typologie de projet inspirée des constructions locales préindustrielles peut également être réalisée. Elle utilise un système structural mixte où les éléments verticaux sont réalisés en maçonneries essentiellement sous la forme de murs. Les éléments de franchissement des planchers et toitures sont eux réalisés en bois. Les éléments de maçonnerie lourds mais résistants à la compression et à l'humidité y assurent la transmission des charges verticales au sol de fondation et les ouvrages de structure bois résistant en flexion libèrent les espaces en supportant les toitures et planchers à l'abri des intempéries. La stabilité générale des édifices est assurée par la collaboration de l'ensemble des ouvrages. Les structures bois des toitures et des planchers redistribuent les efforts horizontaux dans les murs maçonnés. Ces derniers éléments sont stabilisés par leur masse et par les charges verticales qui leurs sont appliqués et assurent la transmission des charges horizontales aux fondations. Du fait des interdépendances élevées des structures bois et maçonnées, ce type de configuration nécessite une coordination forte des acteurs lors de la réalisation.

Stratégie pour la valorisation des bois locaux dans une perspective de lutte contre les changements climatiques

Dans ces trois catégories de projets, le remplacement d'ouvrages habituellement réalisés par des techniques industrielles et énergivores par des ouvrages en bois locaux présente une réduction des impacts par rapport aux modes constructifs dominant.

Dans une perspective de long terme, le développement de l'utilisation des bois locaux peut se heurter à des limites de disponibilités de leurs ressources. Dans cette situation on pourra questionner la priorité des projets auxquels affecter les ressources en bois limitées du territoire. Si l'on cherche à minimiser les émissions globales de gaz à effet de serre des bâtiments, il faut à priori privilégier l'emploi du bois dans les ouvrages où il n'y a pas d'autre matériau à bas impact carbone utilisable. Pour la construction des murs, qui sont des ouvrages principalement sollicités en compression, il est possible d'utiliser des murs maçonnés en pierres avec une faible propension de matière transformée par des énergies fossiles. Si cette alternative conduit à utiliser des murs plus épais que ceux obtenus avec les matériaux industriels, elle reste efficace et a été utilisée avec succès dans l'essentiel des constructions locales préindustrielles. Pour les planchers et les charpentes en revanche les alternatives aux bois utilisent systématiquement de l'acier sous la forme de profilés ou de fers à béton. Seul matériau d'origine local résistant à la flexion, le bois pourrait donc prioritairement être affectés à ces ouvrages de franchissement. Comme les bois locaux sont généralement de faibles dimensions ils peuvent plus facilement y remplacer les structures des toitures, les charpentes et les structures secondaires des planchers. Pour les planchers de grandes dimensions, il peut être imaginé des systèmes mixtes où des sommiers réalisés en bois importé soutiendraient des planchers de faibles portées réalisées avec les bois locaux.

Ainsi dans une perspective d'optimisation des ressources constructives locales, il paraît préférable d'utiliser les bois pouvant servir en structure à la réalisation des charpentes et des planchers de bâtiments aux murs en pierres maçonnées. Les ressources en bois de faibles dimensions qui n'y seraient pas valorisables pourraient être affectées aux petites ossatures nécessaires à la réalisation des ouvrages d'isolation.

Conclusions et perspectives

Ce travail présente une première approche esquissant les possibilités et les limites générales pour l'utilisation des bois des territoires de la Sainte-Baume et de la Provence Verte dans les constructions. Ces ressources actuellement sous-utilisées pour la construction représentent un atout important pour conserver, transformer et construire les bâtiments de la région de manière soutenable et locale.

Une des clés de la valorisation de ces ressources reste la volonté des acteurs à développer les savoirs faire individuels et collectifs pour leur utilisation. Des perspectives d'évolutions paraissent aujourd'hui atteignables par l'augmentation des connaissances sur les ressources disponibles dans le territoire en termes de localisation et de qualité. Des travaux de recherche pourraient améliorer nos connaissances des caractéristiques techniques des essences locales peu étudiées jusqu'alors et permettre leur utilisation de manière fiable. A terme il est également envisageable que de tels travaux permettent l'évolution des textes réglementaires pour intégrer couramment ces matériaux dans le cadre normatif. Enfin la création et le développement de techniques spécialement adaptées aux caractéristiques propres des bois locaux et tirant parti des moyens technologiques contemporains est également un axe de de progression prometteur pour les acteurs souhaitant mieux valoriser ces ressources.