

Promotion de l'usage du SAPin blanc du MASSif Central – SAPIMAC –

CHIN Yi Hien, GODI Gaël, SAUVAT Nicolas

Université Clermont Auvergne, Clermont Auvergne INP, CNRS, Institut Pascal, F-63000
Clermont-Ferrand, France
yi_hien.chin@uca.fr

Mots clefs : Bois vert ; Ombrière photovoltaïque ; Monitoring ; Sapin pectiné

Contexte et objectifs

Dans un contexte de transition énergétique, les ombrières photovoltaïques représentent une solution pertinente pour produire de l'électricité tout en valorisant les espaces extérieurs. Rendues quasi obligatoires sur les plus grandes surfaces de parking par la loi n° 2023-175 du 10 mars 2023 relative à l'accélération de la production d'énergies renouvelables, ces structures sont aujourd'hui très majoritairement réalisées en acier, et quelques solutions industrielles en bois lamellé-collé arrivent sur le marché depuis quelques années.

Le sapin pectiné (*Abies alba*), appelé couramment sapin blanc, est une ressource abondante mais sous-exploitée dans le Massif Central. C'est une essence de moyenne montagne dont l'état sanitaire se dégrade sous l'effet du changement climatique (Fig. 1).

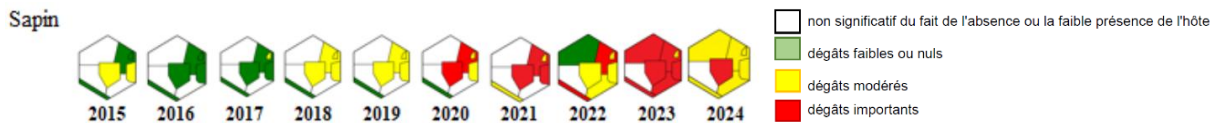


Fig. 1 : État sanitaire du sapin, carte de France simplifiée des grandes sylvo régions (Saintonge et Goudet 2025)

Son exploitation devient dès lors d'autant plus nécessaire, ce qui implique l'ouverture de nouveaux débouchés. Cependant, ses particularités anatomiques (présence de poches d'eau dans le duramen) rendent son séchage complexe, augmentant le coût de production d'avivés secs, tel que requis par la réglementation de la construction. Pourtant, les connaissances issues des charpentes historiques, comme celles mobilisées pour la reconstruction de Notre Dame de Paris, montrent que l'usage du bois sec est relativement récent. Le bois partiellement séché peut présenter un intérêt pour la réalisation de structures extérieures ventilées. Dans ce cas, la durabilité et la stabilité mécanique doivent être satisfaisantes, moyennant des dispositions constructives strictes et un dimensionnement adéquat, mettant l'accent sur la maîtrise des déformations. Il est donc nécessaire de mieux comprendre le comportement de cette essence en situation d'emploi, en environnement hygrothermique variable, afin de lever les freins réglementaires et techniques à son emploi.

Le projet SAPIMAC a pour objectifs de :

- (i) Démontrer la durabilité du sapin pectiné en usage structurel extérieur à l'état partiellement séché, à travers la réalisation d'une ombrière photovoltaïque instrumentée.
- (ii) Développer une solution complète de monitoring dédiée aux structures bois, incluant des capteurs adaptés
- (iii) Élaborer un guide de bonnes pratiques pour l'utilisation du sapin pectiné en structures extérieures abritées, à destination des concepteurs et maîtres d'ouvrage.

- (iv) Proposer des outils normatifs pour le dimensionnement des structures extérieures en sapin pectiné vert ou peu séché.

Contexte réglementaire

L'usage de sciages non séchés artificiellement est aujourd'hui fortement pénalisé dans la justification des États Limites Ultimes (ELU) et États Limites de Service (ELS) selon l'Eurocode 5, en raison des coefficients k_{def} (fluage) et k_{mod} (correction de la durée de charge et de l'humidité), peu adaptés au bois à forte teneur en humidité (Bontemps, 2023). Pour les bois dont l'humidité dépasse 20% au moment de la mise en œuvre, l'Eurocode 5 impose une majoration de 1 du coefficient k_{def} . De plus, le DTU 31.1 rend obligatoire le calcul en classe de service 3 (Tab. 1). Face aux enjeux de durabilité des ouvrages bois extérieurs, un premier texte normatif, le Fascicule de Documentation FD P20-651 (2011) avait pour objectif d'aider à l'identification et à l'affectation des classes d'emploi. Publié en 2022, le guide Conception des Ouvrages Bois Exposés aux Intempéries (COBEI) propose des recommandations constructives pour faire naître une culture de conception des ouvrages extérieurs en bois, drainants et à durée de vie augmentée (FCBA 2022).

Tab. 1 : Valeurs de k_{mod} et k_{def} pour le bois massif selon la norme (NF EN 1995-1-1, 2014).

Classe de service	k_{def}	k_{mod}				
		Classe de durée de chargement				
		Permanent	Long terme	Moyen terme	Court terme	Instantané
1	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1
2	0,8	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1
3	2	0,5	0,55	0,65	0,7	0,9

Néanmoins, si ces documents ont permis de structurer l'approche en affinant les classes d'emploi, en créant des notions de massivité ou de capacité drainante, etc., la justification calculatoire n'est pas adaptée et reste très pénalisante. Ces règles n'intègrent pas le cas particulier des solutions en bois partiellement séché en ambiance extérieure ventilée où il faut maîtriser la phase « séchante », tout en assurant la pérennité due aux variations météorologiques.

Méthodologie du projet

Le projet SAPIMAC s'étend sur 48 mois (Fig. 2) et s'articule autour de la construction d'un démonstrateur à échelle réelle de type ombrière photovoltaïque en sapin pectiné vert ou partiellement séché, implanté sur le campus de Polytech Clermont (livraison prévue en 2026). Cette structure extérieure ventilée servira à valider des solutions de conception adaptées au bois non séché. Il sera instrumenté à l'aide d'un système de monitoring sans fil développé en interne, testé au préalable en laboratoire. Les données recueillies permettront d'alimenter les modèles thermo-hydro-mécaniques et de proposer une approche de calcul ajustée à l'Eurocode 5 pour le bois à forte teneur en humidité. Les résultats du projet seront formalisés dans un guide des bonnes pratiques à destination des professionnels, et valorisés via des formations pour étudiants et acteurs de la filière bois.

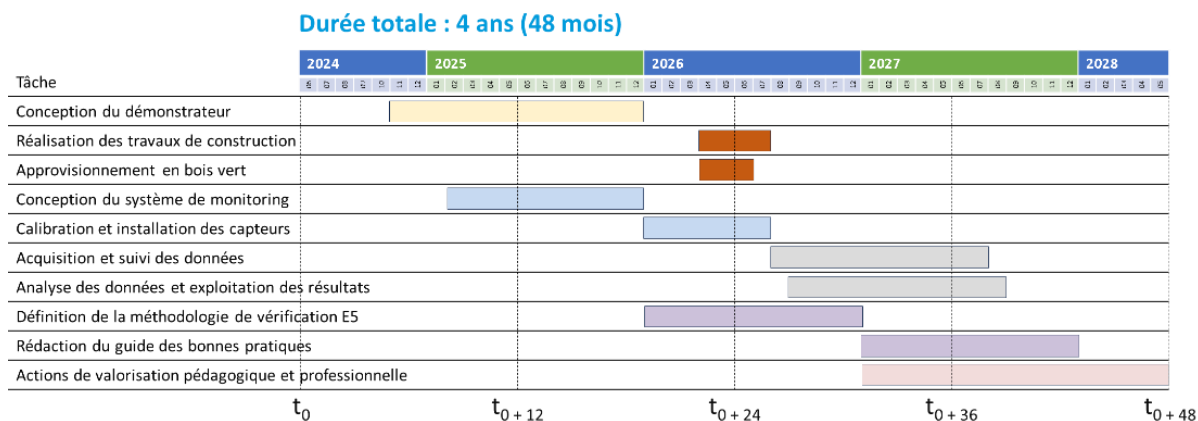


Fig. 2 : Phasage des tâches du projet SAPIMAC.

État d'avancement des travaux du projet

Protocole de réception du bois vert

Un protocole de réception et de suivi in situ du bois vert est proposé à partir d'expériences de séchage naturel de poutres en douglas, comparant un humidimètre capacitif aux valeurs de référence par dessiccation (103 ± 2 °C au four). Il en ressort que l'humidimètre capacitif est peu fiable au-dessus du point de saturation des fibres (PSF), mais reste pertinent en phase post-PSF pour observer les tendances de séchage (Fig. 3). Une classification peut être faite : bois vert ($> 27\%$), bois post-PSF ($20-26\%$), bois partiellement sec ($<20\%$), ou bois sec ($< 12\%$).

Lors de la réception sur chantier, une inspection visuelle est recommandée pour identifier les singularités. L'humidité doit être mesurée avec un humidimètre capacitif correctement étalonné selon la densité du bois. En complément, un échantillon peut être analysé par dessiccation.

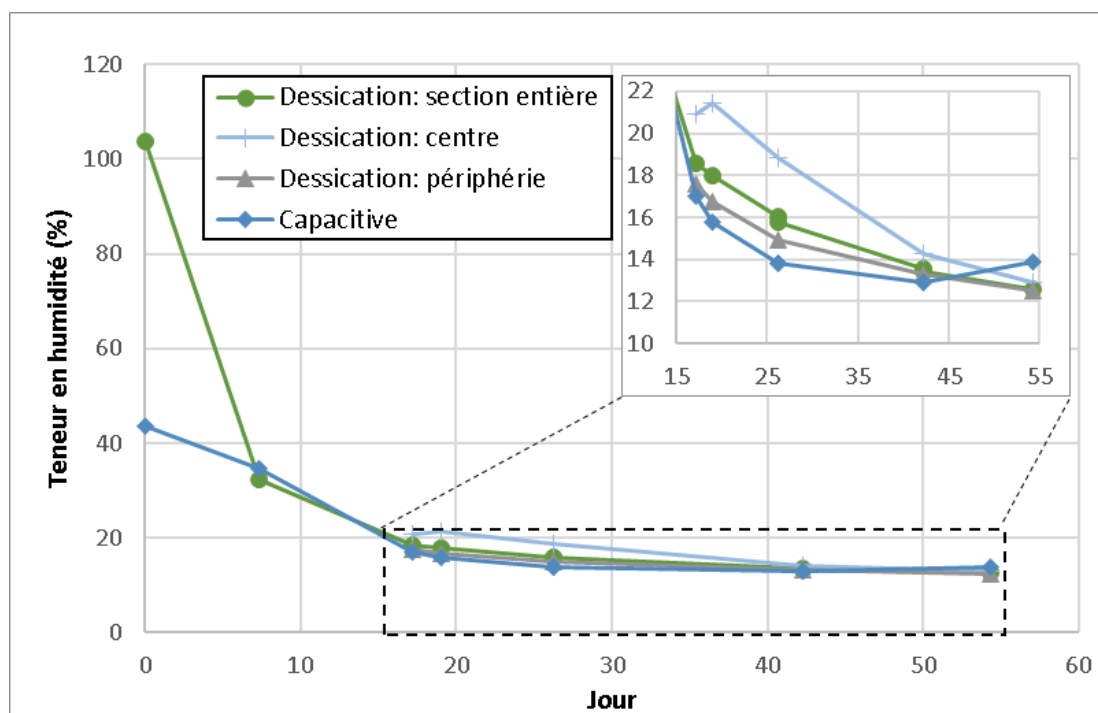


Fig. 3 : Evolution de l'humidité du bois mesurée par méthode de dessiccation et par humidimètre capacitif.

Système de monitoring

Le suivi de l'ombrière repose sur un système de capteurs autonomes sans fil, conçu spécifiquement pour le projet. Il est basé sur une carte électronique sur mesure, alimentée par piles, intégrant un microcontrôleur, un module radio LoRa, et divers capteurs modulables selon les besoins : température, humidité relative, inclinaison, déplacement, déformation, contrainte etc. Le développement comprend la conception matérielle (cartes principales et auxiliaires, prototypage, boîtiers) et logicielle (drivers, acquisition et transmission).

Des points de mesure représentatifs seront choisis sur la structure, en zones exposées et protégées. Le système enregistre les données en continu, complétées par les relevés d'une station météo (température, humidité de l'air, vitesse du vent). Ce dispositif permettra de mieux comprendre le comportement de la structure en conditions réelles d'exposition, et d'ajuster les recommandations pour sa justification en construction extérieure.

Conclusion et perspectives

Le projet SAPIMAC vise à fournir les justifications pour une utilisation de bois peu ou pas séchés en structure. Au-delà de la valorisation d'essences comme le sapin, l'intérêt est aussi de limiter l'étape de séchage qui est très énergivore dans le processus de transformation des sciages, ce qui permettrait de baisser encore le bilan carbone du bois dans certains usages. La réalisation d'une structure d'ombrière démonstratrice, construite en sapin pectiné vert ou partiellement séché, servira de preuve de concept. Cette structure instrumentée sera suivie et les données serviront à alimenter les modèles thermo-hydro-mécaniques. Les livrables attendus sont multiples : (1) la solution de monitoring adaptée au bois en conditions extérieures, (2) l'ombrière photovoltaïque instrumentée, et (3) le guide de bonnes pratiques pour l'usage du sapin pectiné en structure extérieure ventilée. Ces travaux s'inscrivent dans une dynamique régionale de valorisation des ressources locales et de structuration de la filière forêt-bois autour de nouveaux usages durables et innovants du sapin pectiné.

Remerciements

Les auteurs remercient l'Union Européenne, l'Etat et la Région Auvergne-Rhône-Alpes pour leur soutien au projet « SAPIMAC » dans le cadre du Fonds européen de développement régional (FEDER) et du Fonds national d'aménagement et de développement du territoire (FNADT).

Références

Bontemps A. (2023) Comportement mécanique des éléments de structure en bois de sapin pectiné soumis à un environnement variable [Thèse doctorale]. <http://www.theses.fr/2023UCFA0016/document>.

FD P20-651 (2011) Durabilité des éléments et ouvrages en bois.

FCBA (2022) Guide de conception des ouvrages bois exposés aux intempéries « Augmentation de la durée de vie ». <https://www.codifab.fr/actions-collectives/guide-de-conception-des-ouvrages-bois-exposes-aux-intemperies>.

NF EN 1995-1-1 (2014) Eurocode 5—Conception et calcul des structures en bois—Partie 1-1: Généralités—Règles communes et règles pour les bâtiments.

Saintonge F-X, Goudet M (2025, June 3) Thermomètre sylvo-sanitaire—Indicateurs de la santé des forêts (1989-2024). Département de La Santé Des Forêts, Ministère de l'Agriculture et de La Souveraineté Alimentaire. <https://agriculture.gouv.fr/indicateurs-de-sante-des-forets>.