Etude de la stabilité dans le temps d'une cabane d'ostréiculteurs

Stabilité dans le temps d'une structure en bois

Hasan Awad[*], Sylvie Yotte[*], Jean Denis Lanvin[**], Alain Daulat[***], Sidi Mohammed Elachachi[*,**]**

[*] *Centre de Développement des Géosciences Appliquées,(CDGA) Université Bordeaux 1, Talence,*
s.yotte@cdga.u-bordeaux1.fr
[**] *Centre Technique du Bois et de l'Ameublement (CTBA), Bordeaux,*
[***] *Conseil Général de Gironde, Bordeaux,*
[****] *Université des Sciences et de la Technologie d'Oran (USTO), Oran, Algérie.*

RÉSUMÉ. *Une cabane d'ostréiculteurs est étudiée afin de déterminer la politique à suivre par les gestionnaires de ces ouvrages en matière de maintenance. Cette étude se fait en deux parties. Une première étude présentée ici consiste à réaliser un modèle mécanique, à y inclure du vieillissement pour pouvoir évaluer quand vis-à-vis de l'état limite ultime elle ne présente plus une sécurité suffisante. Une loi de vieillissement a donc été proposée. En fonction de cette loi on détermine l'âge limite pour la sécurité mais aussi quand on peut intervenir pour prolonger la durée de vie. La deuxième partie de cette étude non présentée ici est relative aux essais mécaniques sur les éléments de cette structure (qui a été déconstruite). Cette étude ci permettra de nourrir le modèle développé dans cette communication.*

ABSTRACT. MOTS-CLÉS : *fiabilité, bois, dégradation, environnement marin.*

KEYWORDS: *reliability, wood, decay, marine environement.*

1. Pourquoi étudier une cabane ?

Le projet MEDACHS s'intéresse aux dégradations des ouvrages en zone côtière. Parmi les acteurs du projet figure le Conseil Général de Gironde dont le parc d'ouvrages comprend des structures exposées aux agressions du sel, biologiques et atmosphériques présente en zone littorale. Dans cette étude nous nous intéresserons au vieillissement d' une structure en bois et à sa stabilité sous l'action du vent.

Sur la commune de Gujan Mestras (Gironde, Bassin d'Arcachon), se trouvent des cabanes en bois (figure 1), louées initialement aux ostréiculteurs, pour leur activité, par le Conseil Général de Gironde. Or ces cabanes vieillissent (figure 2), et présentent des risques pour la sécurité.

La prudence pousserait les responsables de la Direction Mer et Port du Conseil Général à détruire les cabanes trop dégradées, mais pour des raisons touristiques, le Conseil Général souhaiterait aussi conserver ces cabanes qui font le cachet du port ostréicole. Il s'agit donc de pouvoir évaluer leur durée de vie résiduelle d'une part, et l'allongement de la durée de vie en fonction du type de réhabilitation adoptée d'autre part.

Une unité (figure 2), dont la destruction avait été programmée, à été choisie pour cette étude. Elle a été déconstruite, afin de pouvoir réaliser des tests mécaniques sur les différents éléments constitutifs de sa structure, et a été modélisée sous Cast3m (éléments finis), afin de pouvoir connaître son comportement mécanique vis-à-vis du vent. Le programme a donc été développé, des hypothèses relatives au comportement et charges ont été émises dans l'attente des résultats des essais mécaniques.

Figure 1. *Site du port ostréicole de Gujan Mestras (Bassin d'Arcachon, Gironde)*

Figure 2. *Cabane étudiée*

Dans cette contribution, seront d'abord exposés les hypothèses de calcul puis les résultats et les perspectives de ce travail.

2. Hypothèses de calcul

2.1 Action extérieures, conditions aux limites

Les actions extérieures sont le vent, le poids propre, et le poids des tuiles sur la toiture. Ce sont des tuiles « canal », pour lesquelles les constructeurs donnent des valeurs de poids surfacique variant entre 300 et 900 N au m^2. En l'absence de données sur le poids initial, il a été choisi 450 N/m^2, ce qui correspond à un type actuel de tuile « canal ».

L'action du vent est modélisée à l'aide de l'Eurocode 1. Les pressions sur les différentes zones (définies dans l'Eurocode) de la cabane sont données dans le tableau 1. Un seul cas de vent a été traité, celui de la façade côté berge au vent. La structure étant bien dégradée surtout au niveau du bardage, il a été tenu compte d'une perméabilité importante (μ = 0,7).

Le vent a été appliqué sur la surface du bardage qui transmet l'effort sur l'ossature.

Les poteaux sont supposés encastrés au sol, le bardage est fixé aux poteaux et aux intersections des poutres du toit. Les assemblages sont supposés rigides.

Tableau 1. *Pression exercée sur le bardage sous l'action du vent*

Zone	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Pression en Pa	805	611	337	846	155	528	528	273	246	811

2.2 Critères choisis

Le calcul est réalisé à l'état limite ultime. Deux critères ont été choisis, dans l'Eurocode 5. Le premier est le critère de stabilité utilisé normalement à l'ELS : le rapport de la flèche sur la longueur des poutres. D'après le chapitre 4.3, cette flèche relative ne doit pas excéder 0,005. Le calcul de la flèche est réalisé avec le déplacement total du point dans les trois directions. En cela nous nous sommes écartés de l'Eurocode. De même les coefficients appliqués aux actions sont ceux de l'ELU (1,35 pour les actions permanentes (poids propre et poids des tuiles) et 1,5 pour les charges de vent).

Le second critère est celui de l'ELU pour les éléments fléchis en traction (ou compression) :

$$\max\left[\left(\left(\frac{\sigma_{tc,0,d}}{f_{tc,0,d}}\right)^n + 0{,}7\frac{\sigma_{tm,y,d}}{f_{tm,y,d}} + \frac{\sigma_{tm,z,d}}{f_{tm,z,d}}\right),\left(\left(\frac{\sigma_{tc,0,d}}{f_{tc,0,d}}\right)^n + \frac{\sigma_{tm,y,d}}{f_{tm,y,d}} + 0{,}7\frac{\sigma_{tm,z,d}}{f_{tm,z,d}}\right)\right] \leq 1 \quad [1]$$

où $\sigma_{tc,0,d}$ représente la composante en traction ou en compression,

n vaut 2 si la poutre est en compression et 1 si elle est en traction,

$\sigma_{m,y(resp\ z),d}$ est la contrainte maximale en flexion suivant les axes principaux y (resp. z) situés dans le plan perpendiculaire à l'axe de la poutre x,

$f_{tc,0,d}$ est la résistance en traction ou en compression du matériau,

$f_{m,y(resp\ z),d}$ est la résistance en flexion.

2.3 Modélisation du matériau

Le matériau est un pin maritime, les éléments relatifs à ses caractéristiques sont pris dans la classe C18 de l'Eurocode 5. Le tableau 2 les présente.

Tableau 2. *Caractéristiques du matériau (classe C18)*

Caractéristiques	$f_{m,y(resp\ z),d}$	$f_{tc,0,d}$	E_{ini} moyen	Ecart type σ	ρ moyen
MPa	18 MPa	11 MPa	8,5 MPa	1,5 MPa	380 kg/m^3

Nous avons choisi un module d'Young légèrement inférieur à celui donné par la norme pour prendre en compte la qualité initiale du bois. L'écart type est le même que celui de l'Eurocode, dans l'hypothèse d'une variation normale du module.

Le module d'Young est supposé variable, suivant une loi normale de moyenne E_{ini} et d'écart type σ. On fait l'hypothèse que la variation de section des poutres varie linéairement avec le module. Cette hypothèse est très forte pour le bois sain. La variation de section pour le bois endommagé dans l'hypothèse de la théorie de l'endommagement (Lemaître et Chaboche) suit celle du module d'Young. En effet l'observation du bois sur la structure montre les trous causés par les insectes. L'action des insectes se traduit donc par une diminution de la section résistante. L'endommagement dû au sel cause une attaque sur la périphérie qui progresse d'un cm tous les trente ans lorsqu'il y a contact entre le sel et le bois. Dans le cas de la cabane, le sel n'était pas en contact avec la structure sauf dans le cas de stockage de matériel, où le bois reçoit les gouttes d'eau salée. C'est la raison pour laquelle l'endommagement dû au sel est négligé. L'aération est aussi suffisamment importante pour pouvoir négliger dans un premier temps l'effet des champignons. L'examen des éléments de charpente confirmera ou non cette hypothèse par la suite. La décroissance avec le temps est modélisée par une courbe à 2 paramètres (la valeur initiale E_{ini}, supposée connue et la valeur mesurée sur les éléments de charpente). En l'absence d'autres données, y compris dans la littérature, nous avons choisi une courbe de type exponentielle donnée par la relation :

$$\frac{E}{E_{ini}} = \exp\left(-\frac{t^2}{t_{37}{}^2}\right) \qquad [2]$$

où t_{37} représente la date à laquelle E représente 37% de sa valeur initiale.

La figure 3 montre la décroissance avec le temps du module. Pour choisir le type de courbe, nous avons fait l'hypothèse que l'attaque était lente au départ, puis s'accélérait. Il est probable qu'il y a dans le temps une stabilisation puis une régression de cette attaque. Il faudrait pouvoir disposer de plus de points de mesure pour modéliser plus finement l'évolution.

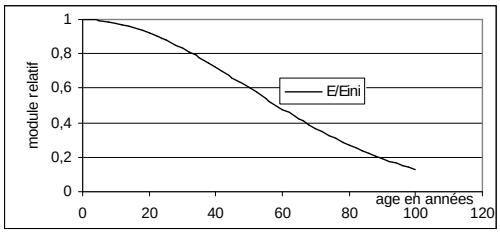

Figure 3. *Évolution du module relatif E/E_{ini} avec le temps*

D'autre part le vieillissement se traduit aussi par une évolution de l'écart type des modules. Là encore nous ne disposerons que de 2 points : l'état initial donné par l'Eurocode et l'état actuel qui sera donné par les essais. C'est pourquoi l'évolution sera prise linéaire ; dans l'exemple traité cette évolution sera telle que l'écart type aura doublé en cent ans. La figure 4 présente le modèle complet utilisé.

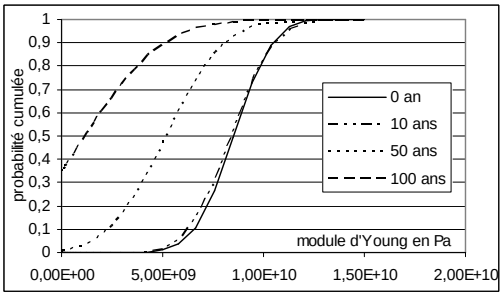

Figure 4. *Modèle de vieillissement du bois*

Pour différents âges de la structure 199 simulations seront réalisées, avec une valeur du module d'Young suivant la loi présentée sur la figure 4. On constate que ce modèle peut donner des valeurs négatives de E. Les modélisations seront faites pour un âge compris entre 10 ans et 60 ans ce qui limite le problème à quelques rares valeurs et pour ces valeurs un nouveau tirage sera réalisé de façon à obtenir une valeur positive du module.

3. Résultats

Sept âges différents ont été retenus (0, 10, 20, 30, 40, 50 et 60 ans). La figure 5 montre les probabilités cumulées pour les valeurs du critère de traction compression, relatives aux différents âges de la structure. Une loi normale a pu être ajustée sur chacune des courbes. Si l'on cherche l'âge pour lequel il y a 5% de chances que la structure ne vérifie plus le critère, alors le calcul donne un âge de 50 ans. Si on s'intéresse à un risque de 2%, alors l'âge de la « ruine » devient 30 ans.

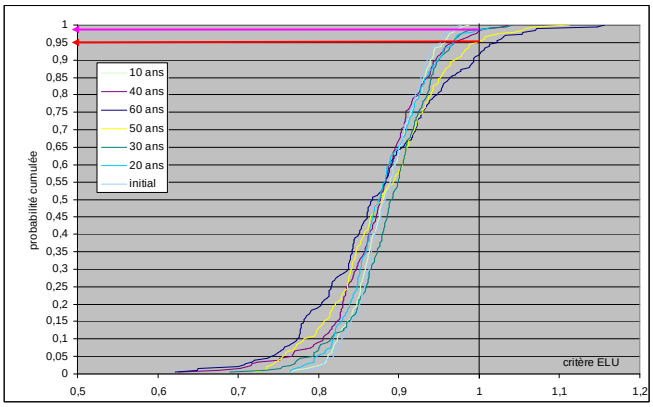

Figure 5. *Probabilité cumulée de la variable « critère traction/compression flexion» pour chaque âge traité*

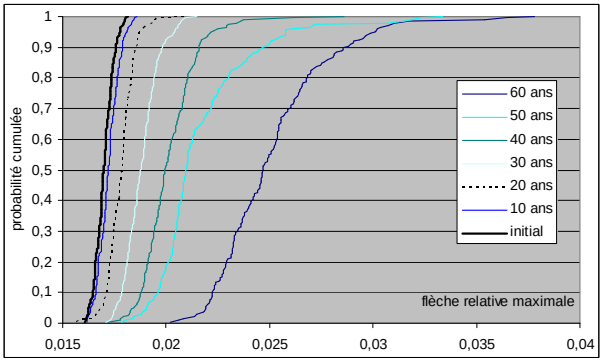

Figure 6. *Probabilité cumulée de la variable « flèche relative maximale »*

L'autre critère étudié était un critère relatif à la flèche totale. Les résultats en terme de probabilités cumulées sont donnés sur la figure 6. Si l'on garde comme

valeur critique pour la flèche maximale 1/200 de la longueur de la poutre, on constate que le risque que cette valeur soit dépassé est quasi nul quelque soit les âges traités.

Les poutres pour lesquelles le critère « traction/compression flexion » est maximal varient plus ou moins suivant l'âge de la structure. Le tableau 3 présente les éléments pour lesquels le critère est maximal. Ces éléments sont identifiés sur la figure 7.

Tableau 3. Poutres pour lesquelles le critère est maximal en fonction de l'âge de la structure, et probabilité (en %) correspondante.

Age Poutre	0	10	20	30	40	50	60
131	0	0	0	0	0	0	1
134	0	0	0		77	65,5	0
135	92	91	83	78	0	0	63
137	8	9	17	22	23	34,5	36

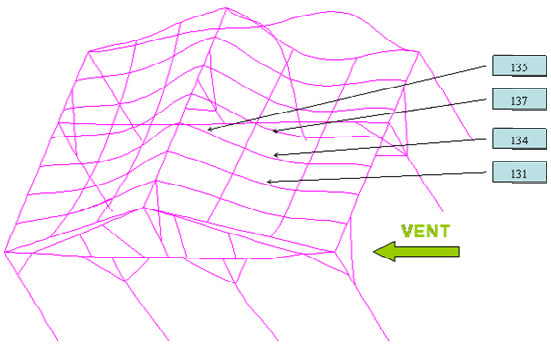

Figure 7. *Déformée (très amplifiée) de la structure et éléments pour lesquels le critère « traction/compression flexion » est maximal.*

4. Préservation du patrimoine

Il convient maintenant de répondre aux questions que peuvent poser les gestionnaires de tels ouvrages. La première est où renforcer, et la seconde est quand intervenir et de quelle façon.

4.1 Que faut il renforcer pour la sécurité de l'ouvrage ?

La déformée montre sur la partie de la structure à droite de la façade exposée au vent une ferme incomplète. Il s'agit très probablement d'une construction réalisée après une réduction de la cabane. C'est aussi ce qui explique la dissymétrie de la structure. Cette ferme est la partie la plus déformée de la structure. Ce sont ses éléments qui donnent la plus grande déformation dans la direction perpendiculaire au vent dans la plupart des simulations. La première conséquence pour le gestionnaire est de veiller à ce que les locataires ne « bricolent » pas les structures des cabanes et n'interviennent qu'en respectant les règles de l'art, avec l'accord du gestionnaire. Le deuxième élément de structure à surveiller est le toit, en particulier les poutrelles parallèles à la pente du toit. Des calculs préliminaires ont été faits en prenant comme valeur de charge due aux tuiles « canal » 900N/m^2 (valeur maximale trouvée sur les sites professionnels). Dans ce cas là, le critère « traction/compression flexion » était dépassé dès l'âge 0, dans toutes les simulations réalisées (valeurs proches de 2). Il y a donc une surveillance particulière à exercer sur cette partie de la structure, et lors du remplacement éventuel des tuiles.

4.2 Quand faut il traiter pour éviter la destruction des éléments de structure ?

Les résultats concernant le critère « traction/compression flexion » permettent de retrouver une loi donnant la probabilité de dépassement du critère en fonction de 2 variables qui sont le module d'Young et l'écart type. Une régression linéaire sur le logarithme de ces variables donne la loi suivante :

$$p(crit > 1) = \exp[0{,}136\ln(E) + 0{,}052\ln(\sigma) - 4{,}218] \qquad [3]$$

où σ représente l'écart type de E. Cette loi (déterminée sur les 7 valeurs) donne un coefficient de détermination de 0,977.

D'autre part on admet qu'un traitement n'est efficace que 5 ans et qu'au bout de 5 ans la décroissance reprend d'abord à une vitesse lente puis à une vitesse plus rapide. La loi choisie est alors du même type :

$$\frac{E}{E_{tr}} = \exp\left(-\frac{[t-(t_{tr}+5)]^2}{[t_{37}+(t_{tr}+5)]^2}\right) \qquad [4]$$

où E_{tr} représente le module d'Young à la date t_{tr} où le traitement est effectué. L'écart type suit une droite identique à la droite initiale mais décalée de 5 ans.

L'application de la relation [3] dans le cas d'une réparation après 25 ans (où la probabilité pour que le critère soit inférieur à 1 est de 0.984) permet d'obtenir un âge de non respect du critère, avec un risque de 2%, de 72 ans. Ce gain de temps est représentatif de la forme de la courbe de décroissance du module que nous avons

choisi : si l'on force le matériau à rester dans les âges où la cinétique de dégradation est faible, le gain de durée de vie est important.

5. Conclusion

Nous avons pu établir un outil et une démarche qui permet de donner la probabilité de ruine sous l'action du vent d'une structure en bois. Les essais mécaniques pourront nourrir ce modèle et donner des réponses au gestionnaire d'ouvrages. Déjà un certain nombre de points importants ont pu être établis relativement à l'entretien à réaliser sur ce type d'ouvrage. Cette problématique serait à prendre en compte de façon plus générale pour la gestion du patrimoine structure en bois.

Remerciements

Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet Européen Interreg Espace Atlantique MEDACHS (projet N°197), et est financé par des fonds FEDER.

Bibliographie

Lemaître J. et Chaboche J.L. ,*Mécanique des matériaux solides*, Paris, Bordas, 1988.