



ETUDE

**PROPRIETES MECANQUES DE
L'EPICEA EN FONCTION DE LA
TEMPERATURE
ET DE LA TENEUR EN EAU**

AVERTISSEMENT

Cette publication vise à mettre à disposition des acteurs de la construction les résultats d'études menées dans le cadre des travaux de la Commission Technique d' ADIVbois.

ADIVbois ne saurait être tenu pour responsable des omissions, inexactitudes ou erreurs que pourrait contenir cette publication et qui résulteraient de la retranscription de ces études, réalisées sous la responsabilité de leurs auteurs respectifs, et auxquelles le lecteur est invité à se référer directement.

ADIVbois souligne également que les éléments et recommandations retranscrites dans le présent ouvrage présentent un caractère informatif et ne sauraient en aucun cas se substituer, même pour partie, aux études techniques et juridiques, tant au stade de la conception que de l'exécution, qui incombent à chaque acteur de la construction dans le cadre des projets auxquels il pourra être amené à participer.

Droits d'auteur - copyright ©

L'ensemble de ce document relève de la législation française et internationale sur le droit d'auteur et la propriété intellectuelle. Tous les droits de reproduction sont réservés, y compris pour les documents téléchargeables et les représentations iconographiques et photographiques.

La reproduction de tout ou partie de ce document, y compris sur un support électronique quel qu'il soit est formellement interdite sauf autorisation expresse d' ADIVbois, du Codifab et des réalisateurs de l'étude.

PRÉAMBULE

Depuis 2016, l'Association pour le Développement des Immeubles à Vivre Bois porte un projet innovant reposant sur des immeubles bois de moyenne et grande hauteur, qui se distinguent par des solutions structurelles bois et des aménagements intérieurs faisant appel au bois.

Ce projet innovant va de pair avec un important travail collectif (études, benchmark, prototypages) visant à accompagner la réalisation d'immeubles démonstrateurs.

La Commission Technique d'ADIVbois a lancé, depuis 2016, un nombre conséquent de travaux dans le cadre d'ateliers thématiques (structure, incendie, acoustique, enveloppe, environnement...) et d'études afin d'accompagner la conception et la réalisation des Immeubles à Vivre Bois. L'objectif de ces travaux est de favoriser la levée de freins technico-réglementaires et d'être partagés avec la collectivité.

Le présent document s'inscrit dans cette démarche.

Pour les calculs avancés (approche ISI) du comportement des structures bois en situation d'incendie, la procédure courante est de déterminer les champs de températures au sein des sections d'éléments de structures en bois et d'affecter aux différentes fibres des propriétés mécaniques fonction de la température.

Ces propriétés mécaniques sont généralement celles présentées dans l'EN 1995-1.2 (partie "feu" de l'Eurocode 5), considérant des lois bilinéaires d'affaiblissement des propriétés mécaniques entre 20 et 300°C. Toutefois il apparaît que ces lois ne sont issues que d'un nombre limité d'essais.

Ces lois sont également fonction de l'hygrométrie du bois qui joue un rôle important sur la résistance en compression.

Afin de disposer de connaissances plus précises sur les propriétés thermo-mécaniques de l'epicéa, ADIVbois s'est associé à ARBONIS afin de confier au CSTB la réalisation d'essais de compression sur 96 spécimens de 40 mm x 40 mm x 80 mm, soumis à différentes températures (entre 20 et 100°C) et différentes teneurs en eau (entre 10 % et 100%).

Les résultats de ces essais, présentés dans le rapport joint, permettent pour cette essence de bois des estimations plus précises de son comportement mécanique en situation d'incendie.

Rapport d'essais n° EEM/EA2R 20 26087828

Concernant l'étude de la résistance en compression en fonction de la température du matériau bois - épicéa

Ce rapport d'essais atteste uniquement des caractéristiques de l'objet soumis aux essais et ne préjuge pas des caractéristiques de produits similaires. Il ne constitue pas une certification de produits au sens du code de la consommation. Seul le rapport électronique signé avec un certificat numérique valide fait foi en cas de litige. Ce rapport électronique est conservé au CSTB pendant une durée minimale de 10 ans. La reproduction de ce rapport électronique n'est autorisée que sous sa forme intégrale. **Il comporte 51 pages.**

A LA DEMANDE DE :

ARBONIS

1346 route de Chevannes

71220 VEROSVRES

A l'attention de Monsieur CABATON Lionel

TABLE DES MATIERES

1. Objet	3
2. TEXTES DE RÉFÉRENCE	3
3. ÉCHANTILLONS	3
4. IDENTIFICATION DU LABORATOIRE ET PROGRAMME DES ESSAIS	4
5. DESCRIPTION DES PRODUITS	5
6. MODALITÉS ET RÉSULTATS DES ESSAIS	8
6.1 Résistance à la compression des éléments bois	8
6.1.1 Modalités des essais.....	8
6.1.2 Mise en place des corps d'épreuves et dispositif de mise en charge.....	11
6.1.3 Chargement.....	11
6.1.4 Résultats des essais.....	11
6.2 Acquisition des températures en fonction du temps passé à la sortie d'étuve	43
6.2.1 Modalités des essais.....	43
6.2.2 Résultats des essais.....	46

Rapport d'essais n° EEM/EA2R 20 26087828

1. Objet

À la demande de la société ARBONIS, des essais ont été réalisés sur des éléments bois en épicéa, notamment en vue d'étude d'ingénierie sécurité incendie.

2. TEXTES DE RÉFÉRENCE

[1] MANTHEY M., LARDET P., Descriptif technique implantation des thermocouples, Août 2020.

[2] NF ISO 13061-17, Propriétés physiques et mécaniques du bois - Méthodes d'essais sur petites éprouvettes de bois sans défauts - Partie 17 : détermination de la contrainte maximale en compression longitudinale, Juin 2018

3. ÉCHANTILLONS

Description : échantillons bois, section carrée de 40 x 40 mm avec une longueur d'échantillon dans le sens des fibres du bois de 80 mm.

Date de réception : 26/08/2020

Origine : voir §5

Identification : voir §5

Mode d'échantillonnage : échantillon bois issus des lames à destination de lamellé-collé, les éléments bois correspondant au projet ont des épaisseurs brutes de 45 mm, c'est ce qui a déterminé la section rabotée 40 x 40 mm.

Date de chaque essai ou date de début et fin pour les essais de longue durée : du 01/09/2020 au 05/11/2020

Opérateur(s) d'essais : Souhil MAZARI, Philippe GIRAULT, Tohir HADJI ALI

Rédacteur du rapport : Manuel MANTHEY

Relecteur(s) du rapport : Rémi MERCIER, Paul LARDET, Pierre PIMIENTA

Fait à Champs-sur-Marne, le 23 novembre 2020.

L'ingénieur Responsable des essais



Signature numérique
de François BOUTIN
Date : 2020.12.10
16:30:41 +01'00'

François BOUTIN

4. IDENTIFICATION DU LABORATOIRE ET PROGRAMME DES ESSAIS

Les essais ont eu lieu dans le Laboratoire Matériaux de la Direction Sécurité, Structures et Feu (DSSF) au Centre de Recherche du CSTB de Marne-la-Vallée.

Les essais ont été réalisés selon le programme suivant :

Tableau 4.1 : Programme des essais et nombre d'essais réalisés

Corps d'épreuve	Essais	Nb d'essais	Document référence
AM20	Essais de compression longitudinale à 20 °C	10	[2]
AM60	Essais de compression longitudinale à 60°C	10	[2]
AM60_TC	Eprouvette instrumentée en thermocouples pour déterminer l'historique du refroidissement du spécimen à la sortie d'étuve.	1	[1]
AM100	Essais de compression longitudinale à 100°C	10	[2]
AM100_TC	Eprouvette instrumentée en thermocouples pour déterminer l'historique du refroidissement du spécimen à la sortie d'étuve.	1	[1]
AE60	Essais de compression longitudinale à 60°C Les spécimens d'essais ont été préalablement étanchés afin de conserver la teneur en eau du bois initiale.	10	[2]
AE60_TC	Eprouvette instrumentée en thermocouples pour déterminer l'historique du refroidissement du spécimen à la sortie d'étuve. Les spécimens d'essais ont été préalablement étanchés afin de conserver la teneur en eau du bois initiale.	1	[1]
AE100	Essais de compression longitudinale à 100°C . Les spécimens d'essais ont été préalablement étanchés afin de conserver la teneur en eau du bois initiale.	10	[2]
AE100_TC	Eprouvette instrumentée en thermocouples pour déterminer l'historique du refroidissement du spécimen à la sortie d'étuve. Les spécimens d'essais ont été préalablement étanchés afin de conserver la teneur en eau du bois initiale.	1	[1]
AS60	Essais de compression longitudinale à 60°C. Les spécimens d'essais ont été préalablement saturés en eau puis étanchés afin de conserver la teneur en eau du bois initial.	10	[2]
AS60_TC	Eprouvette instrumentée en thermocouples pour déterminer l'historique du refroidissement du spécimen à la sortie d'étuve. Les spécimens d'essais ont été préalablement saturés en eau puis étanchés afin de conserver la teneur en eau du bois initial.	1	[1]

Rapport d'essais n° EEM/EA2R 20 26087828

AS100	Essais de compression longitudinale à 100°C. Les spécimens d'essais ont été préalablement saturés en eau puis étanchés afin de conserver la teneur en eau du bois initial.	10	[2]
AS100_TC	Eprouvette instrumentée en thermocouples pour déterminer l'historique du refroidissement du spécimen à la sortie d'étuve. Les spécimens d'essais ont été préalablement saturés en eau puis étanchés afin de conserver la teneur en eau du bois initial.	1	[1]
AR60	Essais de compression longitudinale à 20 °C. Les spécimens d'essais ont été préalablement chauffés à 60°C puis refroidis avant essais en compression.	10	[1, 2]
AR100	Essais de compression longitudinale à 20 °C. Les spécimens d'essais ont été préalablement chauffés à 100°C puis refroidis avant essais en compression.	10	[1, 2]

5. DESCRIPTION DES PRODUITS

Le lieu de fabrication des échantillons est le site Arbonis de Vérosvres (71).

L'échantillonnage des spécimens testés a été réalisé par Arbonis à partir des éléments bois (épicéa C24) représentatifs de ceux utilisés pour du lamellé-collé.

Tableau 5.1 : Désignation des échantillons testés

Nom et Fabricant	Nature	N° de lot	Photo avant essai
Arbonis	Prismes en bois (résineux)	AM20-XX	

Rapport d'essais n° EEM/EA2R 20 26087828

Nom et Fabricant	Nature	N° de lot	Photo avant essai
Arbonis	Prismes en bois (résineux)	AM60-XX	
Arbonis	Prismes en bois (résineux)	AM100-XX	
Arbonis	Prismes en bois (résineux)	AE60-XX	
Arbonis	Prismes en bois (résineux)	AE100-XX	

Rapport d'essais n° EEM/EA2R 20 26087828

Nom et Fabricant	Nature	N° de lot	Photo avant essai
Arbonis	Prismes en bois (résineux)	AS60-XX	
Arbonis	Prismes en bois (résineux)	AS100-XX	
Arbonis	Prismes en bois (résineux)	AR60-XX	
Arbonis	Prismes en bois (résineux)	AR100-XX	

6. MODALITÉS ET RÉSULTATS DES ESSAIS

6.1 Résistance à la compression des éléments bois

6.1.1 Modalités des essais

A défaut de normes d'essais pour déterminer la résistance à la compression d'éléments bois à des températures autres que la température ambiante, les essais sont réalisés en s'inspirant des modalités définies dans la norme NF ISO 13061-17 [1]. Les essais sont réalisés au moyen d'une presse de marque Zwick, de capacité 100 kN et de classe 1. La vitesse de chargement retenue est de 340 N/s et le palier de préchargement a été fixé à 200 N.

Le dimensionnel réalisé consiste à :

- Mesurer les dimensions des prismes au pied à coulisse (référence cstb 13-0250, précision $\pm 0,01$ mm)
- Peser les échantillons, à plusieurs moments du protocole (balance référence cstb 13-08423, précision 0,01 g)

L'objectif de chaque série d'essai est rappelé ci-après.

Pour la série AM20-XX, il s'agit d'essais mécaniques à rupture afin de déterminer la résistance en compression de spécimens bois à 20°C et avec une teneur en eau proche de 12%.

Pour les séries AM60-XX et AM100-XX, il s'agit d'essais mécaniques à rupture, afin de déterminer la résistance en compression de spécimens bois préchauffés en étuve largement ventilée à une température donnée (60°C ou 100°C).

Pour les séries AE60-XX et AE100-XX, il s'agit d'essais identiques aux séries d'essais AM_XX, mais avec une teneur en eau forcée au sein de l'échantillon bois (échantillon étanché toutes faces par scotch aluminium afin de conserver l'eau dans le spécimen lors de l'échauffement en étuve).

Pour les séries AS60-XX et AS100-XX, il s'agit d'essais mécaniques à rupture, détermination de la résistance en compression de spécimens bois, saturés en eau en cuve, puis préchauffés en étuve à une température donnée.

Pour les séries AR60-XX et AR100-XX, il s'agit d'essais identiques aux séries d'essais AM_XX, mais avec refroidissement des éprouvettes à 20°C après la sortie de l'étuve et avant l'essai mécanique à la rupture, afin d'étudier l'éventuelle réversibilité de la résistance en compression du bois.

Afin de garantir un essai au plus proche de la température de l'échantillon stabilisé en étuve plusieurs dispositions sont prévues :

- Les côtés périphériques de l'échantillon sont protégés par un isolant thermique (hormis les 2 côtés en contact de la presse),
- Pour éviter un refroidissement trop rapide entre la presse « froide » et l'échantillon, des cales thermiques sont disposées entre la presse et l'échantillon. Ces cales thermiques sont chauffées en étuve en même temps que l'échantillon, ce sont des plaques métalliques de dimensions 80x80x10 mm (masse de l'ordre de 500 g par plaque métallique).
- La distance à parcourir est minimisée autant que possible entre la presse et l'étuve,
- Les échantillons sont testés un par un,
- Le chargement est effectué aussi vite que possible après la sortie de l'étuve. Les temps suivants sont relevés pour chaque échantillon : t0 : sortie d'étuve, t1 : échantillon sur la presse, début du chargement en compression, t2 : rupture en compression de l'échantillon.
- Pour évaluer le refroidissement effectif de l'échantillon en fonction de toutes ces dispositions (et donc la température à laquelle la résistance en compression est effectivement mesurée), un échantillon témoin est

Rapport d'essais n° EEM/EA2R 20 26087828

instrumenté en thermocouple et suit le protocole prévu pour chaque série testée. Bien que mis en œuvre sur la presse, cet échantillon n'est pas chargé à la rupture en compression. L'analyse des températures relevées par les thermocouples permet d'établir le refroidissement en fonction du temps des autres spécimens testés. Ainsi à partir des temps d'essais mesurés pour chaque échantillon il est possible d'établir la température à laquelle l'échantillon a été effectivement testé.

L'approche calculatoire considère une irréversibilité des propriétés mécaniques dégradées. Les propriétés mécaniques, en chaque point de la section, sont considérées comme celles de la plus grande température atteinte en ce point sur toute la durée du scénario d'incendie. Les essais des séries AR60 et AR100 proposent d'étudier un éventuel regain de résistance en compression des zones refroidies post agression thermique.

Le programme d'essai est synthétisé dans le tableau 6.1 ci-après :

Tableau 6.1 : Désignation des échantillons testés

	Essais	Nombre d'éprouvettes	Dimensions éprouvettes	Matériel
Essais pour évolution de la résistance avec une montée de la température	AM_20	10	40 x 40 x 80 mm	Presse
	AM_60	10 + 1 (avec thermocouples)		Etuve puis presse
	AM_100	10 + 1 (avec thermocouples)		Etuve puis presse
Essais pour évolution de la résistance en compression suivant la teneur en eau	AE_60	10 + 1 (avec thermocouples)		Etuve puis presse
	AE_100	10 + 1 (avec thermocouples)		Etuve puis presse
	AS_60	10 + 1 (avec thermocouples)		Contenant d'eau puis étuve puis presse
	AS_100	10 + 1 (avec thermocouples)		Contenant d'eau puis étuve puis presse
Essais pour étude de la réversibilité de la résistance en compression	AR_60	10		Etuve puis presse
	AR_100	10		Etuve puis presse

Tableau 6.2 : Photographies des modalités d'essai

	
<p>Eprouvettes étanchées avec le scotch aluminium</p>	<p>Eprouvettes équipées et placées en étuve</p>
	
<p>Eprouvettes équipées et placées en étuve</p>	<p>Eprouvette équipée après essai en compression</p>

	
<p>Essais en compression à température ambiante</p>	<p>Eprouvette de la série AS60 après essai en compression, de l'eau était visible à la rupture de l'étanchéité suite à la ruine en compression.</p>

6.1.2 Mise en place des corps d'épreuves et dispositif de mise en charge

L'essai est réalisé sous une presse de marque Zwick, de capacité 100 kN et de classe 1.

Les conditions climatiques du laboratoire sont les suivantes :

température : $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ humidité : $50\%HR \pm 15\%HR$

Mesures le 01/09/2020 : température : 24.5°C humidité : $36\%HR$

6.1.3 Chargement

Durée totale de l'essai : entre 2 et 6 minutes (sortie d'étuve et mise en place sur la presse : entre 1 et 2 minutes, chargement entre 1 et 5 minutes).

Le vérin de la presse est asservi en **force** à une vitesse de 340 N/s.

6.1.4 Résultats des essais

Les résultats des essais sont consignés dans les tableaux suivants donnant pour chaque série d'essais :

- Les dimensions
- Les pesées à différents instants du protocole
- Les teneurs en eau des spécimens à différents instants du protocole
- La charge maximale atteinte par le vérin
- Les durées de chargement et le cas échéant les durées entre la sortie d'étuve et la mise en place de l'échantillon sur la presse.

Rapport d'essais n° EEM/EA2R 20 26087828

Tableau 6.3 : Série AM20 – mesures dimensionnels et pesées

N°	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Hauteur (mm)	Masse volumique (kg/m ³)	Masse en g			taux humidité avant essai %	taux humidité après essai %
					Avant essai	Après essais	Sèche		
1	40.5	40.3	81.9	485	64.71	64.7	58.6	10.43	10.41
2	40.7	40.3	81.3	482	64.35	64.35	58.2	10.57	10.57
3	40.5	40.2	81.7	483	64.3	64.29	58.29	10.31	10.29
4	40.6	40.3	80.8	407	53.82	53.82	48.87	10.13	10.13
4bis	40.9	40.3	81.8	480	64.74	64.7	58.46	10.74	10.67
5	40.7	40.3	81.0	462	61.35	61.35	55.51	10.52	10.52
6	40.7	40.1	80.9	375	49.5	49.49	44.94	10.15	10.12
7	40.7	40.3	81.0	513	68.1	68.08	61.58	10.59	10.56
8	40.5	40.2	80.9	439	57.79	57.77	52.33	10.43	10.40
9	40.6	40.3	81.3	497	66.05	66.04	59.76	10.53	10.51
10	40.8	40.4	80.4	430	57.01	56.99	51.56	10.57	10.53
Moyenne	40.65	40.28	81.21	464.58	61.79	61.78	55.92	10.48	10.46
<i>écart type</i>	0.14	0.08	0.47	40.12	5.56	5.56	4.99	0.16	0.16

Analyse des résultats d'essais :

- a) Les 10 échantillons présentent des dimensions régulières.
- b) Les taux d'humidité moyens avant et après essais sont restés constant pour cette série (10.5%).
- c) Les moyennes et écart-type présenté ici s'entendent sans l'éprouvette n°4.

Rapport d'essais n° EEM/EA2R 20 26087828

Tableau 6.4 : série AM20 – Durée de chargement et contrainte appliquée

N°	Fmax [kN]	Durée de chargement (min)	Température équivalente [°C]	Contrainte appliquée (Mpa)	commentaires
1	88.9	4.31	24	54.5	
2	78.0	3.72	24	47.6	
3	87.5	4.28	24	53.7	
4	38.7	1.90	24	23.6	<i>Eprouvette présentant un nœud conséquent.</i>
4bis	89.4	4.34	24	54.2	
5	71.2	3.42	24	43.4	
6	65.5	3.10	24	40.2	
7	71.7	3.46	24	43.7	
8	79.1	3.83	24	48.6	
9	77.0	3.70	24	47.1	
10	73.3	3.56	24	44.5	
Moyenne	78.2	3.77	24	47.7	Sans éprouvette n°4
<i>écart type</i>	8.2	0.42	0	5.0	Sans éprouvette n°4

Analyse des résultats d'essais :

- a) La charge appliquée présente un rapport de 10% entre l'écart-type et la moyenne des forces maximales.
- b) Les moyennes et écart-type présenté ici s'entendent sans l'éprouvette n°4.

Rapport d'essais n° EEM/EA2R 20 26087828

Tableau 6.5 : Série AM60 – mesures dimensionnels et pesées

N°	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Hauteur (mm)	Masse volumique (kg/m3)	Masse en g							taux humidité avant mise en étuve	taux humidité après essai
					Avant essai bois seul	+ équipement	24h en étuve	+ équipement	Après essais	+ équipement	Sèche bois seul	%	%
1	81.7	41.0	40.6	479	65.07	1081.0	61.5	1077.4	60.8	1076.7	58.72	10.81	3.49
2	81.7	40.3	40.6	366	48.99	1067.5	46.1	1064.6	45.6	1064.1	44.26	10.69	3.00
3	81.0	40.2	40.7	393	52.06	1069.6	48.8	1066.3	48.4	1065.9	47.22	10.25	2.41
4	81.7	40.8	40.3	487	65.24	1080.5	61.8	1077.1	61.3	1076.6	58.75	11.05	4.41
5	81.6	40.5	40.8	396	53.38	1067.8	49.9	1064.3	49.4	1063.8	48.23	10.68	2.38
6	81.9	40.6	40.5	488	65.65	1079.1	61.9	1075.3	61.4	1074.8	59.15	10.99	3.72
7	81.5	40.7	40.5	417	56.02	1071.3	53.5	1068.8	52.3	1067.6	50.45	11.04	3.71
8	81.3	40.4	40.4	385	51.03	1068.9	48.0	1065.9	47.6	1065.5	46.08	10.74	3.36
9	81.0	40.7	40.2	374	49.55	1061.2	46.6	1058.2	46.1	1057.8	44.69	10.87	3.27
10	81.5	40.8	40.4	495	66.4	1081.7	62.4	1077.7	61.7	1077	59.78	11.07	3.21
Moyenne	81.48	40.58	40.50	427.95	57.34	1 072.86	54.04	1 069.56	53.46	1 068.98	51.73	10.82	3.30
<i>écart type</i>	0.29	0.23	0.18	53	7.37	7.15	7.05	6.86	6.98	6.79	6.58	0.25	0.61

Analyse des résultats d'essais :

a) Les 10 échantillons présentent des dimensions régulières.

b) Les taux d'humidité moyens ont évolués d'une moyenne de 10,8 % avant mise en étuve à 3.3 % au moment de l'essai.

Rapport d'essais n° EEM/EA2R 20 26087828

Tableau 6.6 : série AM60 – Durée de chargement et contrainte appliquée

N°	Fmax	temps sortie étuve précharge	Durée de chargement	Température équivalente au TC n°3	Contrainte appliquée	commentaires
	[kN]	(min)	(min)	[°C]	(Mpa)	
1	72.4	2.53	3.28	59.4	43.5	
2	74.4	2.07	3.34	59.7	45.4	
3	78.3	1.09	3.01	60.4	47.9	
4	100.3	1.20	4.53	59.5	61.1	charge maximale du vérin atteinte
5	65.0	1.16	3.06	60.4	39.3	
6	74.1	1.32	3.32	60.2	45.1	
7	90.5	1.29	4.19	59.7	54.9	
8	67.8	1.34	3.14	60.3	41.6	
9	66.4	1.30	3.10	60.3	40.6	
10	100.3	1.06	4.53	59.7	60.9	charge maximale du vérin atteinte
Moyenne	79.0	1.44	3.31	60.0	48.0	
<i>écart type</i>	13.4	0.48	0.38	0.4	8.1	

Analyse des résultats d'essais :

a) La charge appliquée présente un rapport de 16,5% entre l'écart-type et la moyenne des forces maximales.

b) Le cumul du temps de sortie d'étuve et de la durée de chargement permet de vérifier la température atteinte en fin d'essai dans le spécimen par rapport aux résultats d'essais décrits au §6.2.

Rapport d'essais n° EEM/EA2R 20 26087828

Tableau 6.7 : Série AM100 – mesures dimensionnels et pesées

N°	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Hauteur (mm)	Masse volumique (kg/m3)	Masse en g							taux humidité avant mise en étuve	taux humidité après essai
					Avant essai bois seul	+ équipement	24h en étuve	+ équipement	Après essais	+ équipement	Sèche bois seul	%	%
1	81.2	40.7	40.4	370	49.23	1064.6	44.73	1060.1	44.43	1059.8	44.42	10.83	0.02
2	81.6	40.2	40.6	485	64.59	1081.5	58.59	1075.5	58.29	1075.2	58.03	11.30	0.45
3	81.6	40.3	40.9	366	49.24	1063.5	44.24	1058.5	44.04	1058.3	44.49	10.68	-1.01
4	80.6	40.3	40.8	427	56.57	1072.1	51.47	1067	51.07	1066.6	51.05	10.81	0.04
5	81.1	40.5	40.5	488	64.94	1083.3	59.04	1077.4	58.74	1077.1	58.71	10.61	0.05
6	81.1	40.3	40.8	425	56.73	1072.7	51.53	1067.5	51.23	1067.2	51.18	10.84	0.10
7	81.1	40.2	40.9	463	61.89	1074.9	56.19	1069.2	55.89	1068.9	55.84	10.83	0.09
8	81.0	40.2	40.7	373	49.4	1060.3	44.9	1055.8	44.6	1055.5	44.61	10.74	-0.02
9	80.9	40.1	40.5	392	51.62	1064.4	47.02	1059.8	46.72	1059.5	46.69	10.56	0.06
10	81.6	40.2	40.9	375	50.34	1066.1	45.64	1061.4	45.44	1061.2	45.56	10.49	-0.26
Moyenne	81.18	40.30	40.71	416.44	55.46	1 070.34	50.34	1 065.22	50.05	1 064.93	50.06	10.77	-0.05
<i>écart type</i>	0.33	0.15	0.19	48.43	6.43	7.86	5.89	7.32	5.87	7.30	5.76	0.23	0.38

Analyse des résultats d'essais :

a) Les 10 échantillons présentent des dimensions régulières.

b) Les taux d'humidité moyens ont évolués d'une moyenne de 10,8% avant mise en étuve à 0 % au moment de l'essai (masse sèche).

Rapport d'essais n° EEM/EA2R 20 26087828

Tableau 6.8 : série AM100 – Durée de chargement et contrainte appliquée

N°	Fmax	temps sortie étuve précharge	Durée de chargement	Température équivalente au TC n°3	Contrainte appliquée	commentaires
	[kN]	(min)	(min)	[°C]	(Mpa)	
1	75.9	1.35	3.37	99.8	46.3	
2	97.7	1.49	4.39	98.1	59.8	
3	74.2	2.10	3.32	98.8	45.1	
4	68.8	1.37	3.18	99.9	41.8	
5	39.4	1.18	1.53	100.8	24.0	
6	63.3	1.47	3.02	100.0	38.5	
7	78.5	1.17	3.45	99.9	47.7	
8	66.5	1.32	3.10	100.1	40.7	
9	64.4	1.52	3.04	99.9	39.6	
10	77.7	1.15	3.42	99.9	47.3	
Moyenne	70.6	1.41	3.18	99.7	43.1	
<i>écart type</i>	14.8	0.28	0.70	0.7	9.0	

Analyse des résultats d'essais :

- a) La charge appliquée présente un rapport de 21% entre l'écart-type et la moyenne des forces maximales.
- b) Le cumul du temps de sortie d'étuve et de la durée de chargement permet de vérifier la température atteinte en fin d'essai dans le spécimen par rapport aux résultats d'essais décrits au §6.2.

Rapport d'essais n° EEM/EA2R 20 26087828

Tableau 6.9 : Série AE60 – mesures dimensionnels et pesées

N°	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Hauteur (mm)	Masse volumique (kg/m3)	Masse en g							taux humidité avant mise en étuve	taux humidité après essai
					Avant essai bois seul	+ équipement	24h en étuve	+ équipement	Après essais	+ équipement	Sèche bois seul	%	%
1	80.9	40.5	40.2	429	56.49	1078.1	56.39	1078	56.39	1078	51.31	10.10	9.90
2	80.9	40.5	40.3	432	57.03	1079.6	56.83	1079.4	55.03	1077.6	51.67	10.37	6.50
3	81.0	40.6	40.2	387	51.08	1074.8	51.08	1074.8	50.98	1074.7	46.55	9.73	9.52
4	81.9	40.7	40.2	393	52.6	1075.4	52.5	1075.3	52.5	1075.3	47.72	10.23	10.02
5	81.0	40.9	40.3	409	54.58	1077.5	54.48	1077.4	54.48	1077.4	49.69	9.84	9.64
6	81.6	40.4	40.4	487	64.81	1091.6	64.81	1091.6	64.81	1091.6	58.78	10.26	10.26
7	80.9	40.3	40.3	454	59.64	1082.8	59.54	1082.7	59.54	1082.7	54.02	10.40	10.22
8	80.8	40.3	40.4	432	56.68	1081.1	56.58	1081	56.68	1081.1	51.35	10.38	10.38
9	80.5	40.4	40.8	369	48.98	1074.2	48.88	1074.1	48.88	1074.1	44.45	10.19	9.97
10	81.0	40.3	40.7	448	59.51	1086.1	59.31	1085.9	59.31	1085.9	53.93	10.35	9.98
Moyenne	81.04	40.48	40.37	423.96	56.14	1 080.12	56.04	1 080.02	55.86	1 079.84	50.95	10.18	9.64
<i>écart type</i>	0.40	0.21	0.23	35.22	4.62	5.50	4.62	5.50	4.63	5.57	4.14	0.23	1.13

Analyse des résultats d'essais :

a) Les 10 échantillons présentent des dimensions régulières.

b) Les taux d'humidité moyens ont évolués d'une moyenne de 10,2% avant mise en étuve à 9.7 % au moment de l'essai.

Rapport d'essais n° EEM/EA2R 20 26087828

Tableau 6.10 : série AE60 – Durée de chargement et contrainte appliquée

N°	Fmax	temps sortie étuve précharge	Durée de chargement	Température équivalente au TC n°3	Contrainte appliquée	commentaires
	[kN]	(min)	(min)	[°C]	(Mpa)	
1	67.0	3.20	3.12	58.4	41.1	
2	62.3	2.15	3.01	59.8	38.2	
3	43.2	1.44	2.10	61.0	26.5	
4	46.5	1.20	2.16	61.1	28.4	
5	45.9	1.48	2.13	61.0	27.8	
6	71.6	1.30	3.25	60.4	43.9	
7	68.9	1.55	3.00	60.4	42.5	
8	65.6	2.00	3.10	59.9	40.4	
9	54.8	2.12	2.39	60.4	33.3	
10	62.3	2.11	2.43	60.4	38.0	
Moyenne	58.8	1.86	2.67	60.3	36.0	
<i>écart type</i>	10.4	0.60	0.47	0.8	6.5	

Analyse des résultats d'essais :

a) La charge appliquée présente un rapport de 17,7% entre l'écart-type et la moyenne des forces maximales.

b) Le cumul du temps de sortie d'étuve et de la durée de chargement permet de vérifier la température atteinte en fin d'essai dans le spécimen par rapport aux résultats d'essais décrits au §6.2.

Rapport d'essais n° EEM/EA2R 20 26087828

Tableau 6.11 : Série AE100 – mesures dimensionnels et pesées

N°	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Hauteur (mm)	Masse volumique (kg/m3)	Masse en g							taux humidité avant mise en étuve	taux humidité après essai
					Avant essai bois seul	+ équipement	24h en étuve	+ équipement	Après essais	+ équipement	Sèche bois seul	%	%
1	81.7	40.5	40.3	484	64.63	1086.1	64.13	1085.6	63.43	1084.9	58.54	10.40	8.35
2	81.1	40.5	40.7	435	58.18	1077.3	57.58	1076.7	60.18	1079.3	52.58	10.65	14.45
3	80.8	40.6	40.7	372	49.65	1069.5	49.25	1069.1	49.05	1068.9	45.15	9.97	8.64
4	81.3	40.3	40.5	486	64.42	1084.6	63.92	1084.1	63.42	1083.6	58.32	10.46	8.74
5	81.5	40.3	41.0	428	57.5	1077.8	56.8	1077.1	56	1076.3	52.04	10.49	7.61
6	81.0	40.4	40.8	376	50.2	1067.9	49.6	1067.3	49.2	1066.9	45.38	10.62	8.42
7	82.0	40.4	41.1	373	50.7	1068	50.2	1067.5	50	1067.3	46.08	10.03	8.51
8	81.6	40.2	41.0	374	50.3	1071.5	49	1070.2	47.4	1068.6	45.7	10.07	3.72
9	81.2	40.4	40.7	418	55.78	1074.1	55.08	1073.4	54.88	1073.2	50.49	10.48	8.69
10	81.1	40.4	40.5	429	56.89	1076.6	56.19	1075.9	55.59	1075.3	51.59	10.27	7.75
Moyenne	81.32	40.39	40.73	417.47	55.83	1 075.34	55.18	1 074.69	54.92	1 074.43	50.59	10.34	8.49
<i>ecart type</i>	0.35	0.11	0.24	43.83	5.65	6.43	5.73	6.48	5.98	6.63	5.07	0.25	2.58

Analyse des résultats d'essais :

a) Les 10 échantillons présentent des dimensions régulières.

b) Les taux d'humidité moyens ont évolués d'une moyenne de 10,3% avant mise en étuve à 8,5 % au moment de l'essai.

Rapport d'essais n° EEM/EA2R 20 26087828

Tableau 6.12 : série AE100 – Durée de chargement et contrainte appliquée

N°	Fmax	temps sortie étuve précharge	Durée de chargement	Température équivalente au TC n°3	Contrainte appliquée	commentaires
	[kN]	(min)	(min)	[°C]	(Mpa)	
1	62.8	1.29	3.02	100.0	38.4	
2	54.5	1.36	2.38	100.8	33.0	
3	32.6	1.57	1.35	101.6	19.7	
4	52.6	1.44	2.32	100.8	32.3	
5	57.4	1.37	2.46	100.8	34.8	
6	36.6	1.41	1.47	101.7	22.2	
7	32.3	1.11	1.34	101.9	19.5	
8	62.9	1.44	3.01	99.8	38.2	
9	54.0	1.33	2.37	100.9	32.8	
10	50.0	1.17	2.25	101.2	30.6	
Moyenne	49.6	1.35	2.20	101.0	30.2	
<i>ecart type</i>	11.7	0.13	0.62	0.7	7.1	

Analyse des résultats d'essais :

a) La charge appliquée présente un rapport de 23,5% entre l'écart-type et la moyenne des forces maximales.

b) Le cumul du temps de sortie d'étuve et de la durée de chargement permet de vérifier la température atteinte en fin d'essai dans le spécimen par rapport aux résultats d'essais décrits au §6.2.

Rapport d'essais n° EEM/EA2R 20 26087828

Tableau 6.13 : Série AS60 – mesures dimensionnels et pesées

N°	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Hauteur (mm)	Masse volumique (kg/m3)	Masse en g							taux humidité avant mise en étuve	taux humidité après essai	
					Avant essai bois seul	Avant essai bois saturé	+ équipement	24h en étuve	+ équipement	Après essais	+ équipement	Sèche bois seul	%	%
1	81.0	40.1	40.9	378	50.19	99.78	1114.6			91.28	1106.1	45.37	119.93	101.19
2	80.8	40.4	40.7	370	49.08	98.7	1112.8			87.1	1101.2	44.43	122.15	96.04
3	81.7	40.7	40.5	493	66.27	105.25	1133.4			96.25	1124.4	59.82	75.94	60.90
4	81.3	40.3	40.7	376	50.04	92.58	1115.6			86.98	1110	45.14	105.10	92.69
5	81.8	40.2	40.9	513	69	92.38	1135.6			82.38	1125.6	62.43	47.97	31.96
6	81.0	40.8	40.3	382	51	111.24	1111.4			101.04	1101.2	46.32	140.16	118.13
7	80.9	40.7	40.5	373	49.66	90.45	1111.8			84.55	1105.9	44.88	101.54	88.39
8	81.7	40.5	40.4	378	50.42	93.87	1117.4			85.67	1109.2	45.42	106.67	88.62
9	80.9	40.2	40.6	370	48.87	91.73	1113.6			80.73	1102.6	44.16	107.72	82.81
10	80.7	40.2	40.6	433	57.18	100.73	1121.6			91.93	1112.8	51.59	95.25	78.19
Moyenne	81.18	40.41	40.61	406.47	54.17	97.67	1 118.78			88.79	1 109.90	48.96	102.24	83.89
<i>ecart type</i>	0.40	0.26	0.20	54.34	7.50	6.77	8.82			6.34	8.82	6.78	25.58	23.57

Analyse des résultats d'essais :

- a) Les 10 échantillons présentent des dimensions régulières.
- b) Les taux d'humidité moyens ont évolués d'une moyenne de 102% avant mise en étuve à 83,9 % au moment de l'essai.
- c) la saturation en eau des spécimens a été évaluée par suivi massique. Il a fallu 13 jours en eau pour atteindre une masse stabilisée.
- d) les masse après 24h en étuve sont manquantes.

Rapport d'essais n° EEM/EA2R 20 26087828

Tableau 6.14 : série AS60 – Durée de chargement et contrainte appliquée

N°	Fmax	temps sortie étuve précharge	Durée de chargement	Température équivalente au TC n°3	Contrainte appliquée	commentaires
	[kN]	(min)	(min)	[°C]	(Mpa)	
1	19.3	1.11	1.01	TC défectueux	11.7	
2	17.6	1.25	0.32	TC défectueux	10.7	
3	23.3	1.07	1.11	TC défectueux	14.1	
4	19.0	1.10	1.01	TC défectueux	11.6	
5	22.8	1.13	1.04	TC défectueux	13.9	
6	18.1	2.11	0.32	TC défectueux	11.0	
7	18.4	1.08	0.31	TC défectueux	11.1	
8	18.2	0.55	0.33	TC défectueux	11.1	
9	18.5	2.11	0.32	TC défectueux	11.3	
10	21.5	1.13	1.02	TC défectueux	13.1	
Moyenne	19.7	1.26	0.68		12.0	
<i>ecart type</i>	2.1	0.48	0.38		1.3	

Analyse des résultats d'essais :

a) La charge appliquée présente un rapport de 10,6% entre l'écart-type et la moyenne des forces maximales.

b) Le cumul du temps de sortie d'étuve et de la durée de chargement permet de vérifier la température atteinte en fin d'essai dans le spécimen par rapport aux résultats d'essais décrits au §6.2.

Rapport d'essais n° EEM/EA2R 20 26087828

Tableau 6.15 : Série AS100 – mesures dimensionnels et pesées

N°	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Hauteur (mm)	Masse volumique (kg/m ³)	Masse en g							taux humidité avant mise en étuve (estimé)	taux humidité après essai (estimé)	Masse d'eau perdue au passage en étuve [g]	Perte de teneur en eau au passage en étuve	
					Avant essai bois seul	bois saturé pesée avant ou après essai	+ équipement	24h en étuve	+ équipement	Après essais	+ équipement	Sèche bois seul	%			%
1	81.6	40.4	40.6	485	64.78	108.09	1121.7		1083		1073.1	58.45	85	2	-48.6	-83%
2	81.0	40.4	40.7	440	58.5	106.67	1125.4		1090.9		1089.7	52.45	103	35	-35.7	-68%
3	81.3	40.2	40.5	482	63.93	111.81	1130.3		1092.5		1082.4	57.6	94	11	-47.9	-83%
4	80.9	40.2	40.5	395	51.84	105.68	1113.4		1091.4		1080.3	46.77	126	55	-33.1	-71%
5	81.1	40.4	40.8	370	49.34	96.80	1114.8		1079.2		1077.3	44.54	117	33	-37.5	-84%
6	81.6	40.4	40.6	485	64.92	113.18	1129.7		1088		1082.7	58.46	94	13	-47	-80%
7	80.9	40.2	40.7	378	50.04	96.99	1114.9		1076.1		1075.3	45.13	115	27	-39.6	-88%
8	81.4	40.4	40.9	491	65.99	108.49 / 112.61	1128	66.89	1086.4	60.79	1080.3	59.57	82 / 89	2 / 9	-47.7	-80%
9	80.7	40.2	40.6	432	56.8	102.29	1123.2		1080.3		1079.7	51.07	100	15	-43.5	-85%
10	80.9	40.4	40.7	431	57.31	102.62	1121.9		1082.4		1078.6	51.71	98	15	-43.3	-84%
Moyenne	81.12	40.31	40.64	438.85	58.35	105.26	1		1 085.02		1 079.94	52.58	102	21	-42.4	-81%
<i>ecart type</i>	0.33	0.10	0.13	46.34	6.41	5.60	6.26		5.66		4.55	5.77	14	17	5.6	6%

Analyse des résultats d'essais :

a) Les 10 échantillons présentent des dimensions régulières.

b) Les taux d'humidité moyens ont évolués d'une moyenne de 11% (moyenne 10 spécimens) avant mise en étuve à entre 2% (éprouvette n°8) et 55% (éprouvette n°4) au moment de l'essai.

c) la saturation en eau des spécimens a été évaluée par suivi massique. Il a fallu 13 jours en eau pour atteindre une masse stabilisée.

d) les masses des spécimens saturés en eau avant essai et sans équipement sont manquantes à l'exception de l'éprouvette n°8. Les masses indiquées pour les 9 autres éprouvettes sont les masses des échantillons sans équipement et à nouveau saturés en eau après essai (sur spécimen endommagé). Les données déduites de ces mesures sont indiquées en **souligné jaune** dans le tableau. Une certaine incertitude existe donc sur ces mesures mais elles permettent de mettre en avant une tendance (perte de résistance avec l'augmentation des teneurs en eau). Il est possible de déterminer avec précision la perte de teneur en eau au passage en étuve qui est de -81% en moyenne, il y a donc eu perte d'étanchéité sur une majorité des spécimens en chauffant à 100°C les éprouvettes saturées.

Rapport d'essais n° EEM/EA2R 20 26087828

Tableau 6.16 : série AS100 – Durée de chargement et contrainte appliquée

N°	Fmax	temps sortie étuve précharge	Durée de chargement	Température équivalente au TC n°3	Contrainte appliquée	Commentaires
	[kN]	(min)	(min)	[°C]	(Mpa)	
1	100.0	1.26	4.53	84.9	61.1	charge maximale du vérin atteinte
2	12.7	1.33	0.40	97.8	7.7	
3	67.0	1.22	3.13	89.0	41.1	
4	9.7	1.37	0.30	97.9	6.0	
5	14.8	1.55	0.44	96.9	9.0	
6	68.6	1.41	3.18	88.3	41.8	
7	19.9	1.39	0.59	97.0	12.2	
8	94.7	1.26	4.29	85.2	57.3	
9	28.6	1.19	1.24	95.4	17.5	
10	30.4	1.23	1.29	95.1	18.5	
Moyenne	44.6	1.32	1.65	92.8	27.2	
<i>ecart type</i>	34.7	0.11	1.49	5.3	21.1	

Analyse des résultats d'essais :

a) La charge appliquée présente un rapport de 77,8% entre l'écart-type et la moyenne des forces maximales.

b) Le cumul du temps de sortie d'étuve et de la durée de chargement permet de vérifier la température atteinte en fin d'essai dans le spécimen par rapport aux résultats d'essais décrits au §6.2.

Rapport d'essais n° EEM/EA2R 20 26087828

Tableau 6.17 : Série AR60 – mesures dimensionnels et pesées

N°	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Hauteur (mm)	Masse volumique (kg/m3)	Masse en g							taux humidité avant mise en étuve	taux humidité après essai
					Avant essai bois seul	+ équipement	24h en étuve	+ équipement	Après essais	+ équipement	Sèche bois seul	%	%
1	82.0	40.3	40.5	368	49.16	1042.9	46.26	1040	46.66	1040.4	44.4	10.721	5.090
2	81.3	40.3	40.7	483	64.38	1056.4	61.58	1053.6	61.68	1053.7	58.05	10.90	6.253
3	81.9	40.2	40.6	380	50.69	1045.4	47.69	1042.4	48.19	1042.9	45.71	10.89	5.426
4	81.1	40.2	40.8	427	56.69	1048.4	53.89	1045.6	53.69	1045.4	51.13	10.87	5.007
5	81.4	40.3	41.0	373	50.11	1045.4	47.01	1042.3	47.61	1042.9	45.22	10.81	5.285
6	81.4	40.3	40.7	379	50.55	1046.1	48.25	1043.8	48.45	1044	45.69	10.64	6.041
7	81.3	40.5	40.8	488	65.52	1058.6	52.62	1045.7	62.82	1055.9	59.13	10.81	6.240
8	80.9	40.2	40.7	421	55.81	1051.5	53.41	1049.1	53.51	1049.2	50.25	11.06	6.488
9	81.7	40.2	40.6	393	52.42	1047.2	49.92	1044.7	50.12	1044.9	47.45	10.47	5.627
10	81.0	40.3	40.9	426	56.93	1051.5	54.33	1048.9	54.53	1049.1	51.31	10.95	6.276
Moyenne	81.38	40.27	40.72	413.82	55.23	1 049.34	51.50	1 045.61	52.73	1 046.84	49.83	10.81	5.77
<i>ecart type</i>	0.36	0.10	0.16	43.70	5.85	5.09	4.66	4.00	5.73	5.01	5.26	0.17	0.55

Analyse des résultats d'essais :

a) Les 10 échantillons présentent des dimensions régulières.

b) Les taux d'humidité moyens ont évolués d'une moyenne de 10,8% avant mise en étuve à 5.8 % au moment de l'essai après retour à 20°C.

Rapport d'essais n° EEM/EA2R 20 26087828

Tableau 6.18 : série AR60 – Durée de chargement et contrainte appliquée

N°	Fmax	Durée de chargement	Contrainte appliquée	commentaires
	[kN]	(min)	(Mpa)	
1	77.1	3.44	47.3	
2	96.8	4.37	59.0	
3	70.6	3.24	43.3	
4	95.5	4.37	58.3	
5	77.9	3.44	47.2	
6	77.6	3.47	47.4	
7	100.3	4.47	60.7	charge maximale du vérin atteinte
8	82.5	4.01	50.4	
9	76.1	3.38	46.6	
10	92.0	4.23	55.7	
Moyenne	84.6	3.84	51.6	
<i>écart type</i>	10.5	0.49	6.2	

Analyse des résultats d'essais :

- a) La charge appliquée présente un rapport de 12,4% entre l'écart-type et la moyenne des forces maximales.
- b) Le cumul du temps de sortie d'étuve et de la durée de chargement permet de vérifier la température atteinte en fin d'essai dans le spécimen par rapport aux résultats d'essais décrits au §6.2.

Rapport d'essais n° EEM/EA2R 20 26087828

Tableau 6.19 : Série AR100 – mesures dimensionnels et pesées

N°	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Hauteur (mm)	Masse volumique (kg/m3)	Masse en g							taux humidité avant mise en étuve	taux humidité après essai
					Avant essai bois seul	+ équipement	24h en étuve	+ équipement	Après essais	+ équipement	Sèche bois seul	%	%
1	80.7	40.2	40.7	418	55.19	1050.9	50.29	1046	51.69	1047.4	49.68	11.09	4.05
2	81.0	40.1	40.9	364	48.32	1043.2	43.92	1038.8	45.32	1040.2	43.54	10.98	4.09
3	80.8	40.3	40.4	367	48.33	1042.5	43.93	1038.1	45.93	1040.1	43.59	10.87	5.37
4	80.8	40.4	40.5	370	48.97	1044.6	44.57	1040.2	46.07	1041.7	44.16	10.89	4.33
5	81.8	40.4	40.8	389	52.42	1046.9	47.72	1042.2	49.02	1043.5	47.31	10.80	3.61
6	81.8	40.4	40.8	381	51.39	1046.6	46.69	1041.9	47.99	1043.2	46.35	10.87	3.54
7	81.0	40.3	40.8	390	51.86	1048.5	47.26	1043.9	48.96	1045.6	46.86	10.67	4.48
8	80.8	40.3	40.7	426	56.41	1052.3	51.51	1047.4	52.91	1048.8	50.87	10.89	4.01
9	80.9	40.8	40.7	384	51.61	1047.3	47.01	1042.7	48.41	1044.1	46.6	10.75	3.88
10	80.6	40.3	40.4	358	46.99	1042.2	42.59	1037.8	43.99	1039.2	42.48	10.62	3.55
Moyenne	81.02	40.35	40.67	384.68	51.15	1 046.50	46.55	1 041.90	48.03	1 043.38	46.14	10.84	4.09
<i>écart type</i>	0.42	0.18	0.18	22.32	3.06	3.44	2.87	3.26	2.81	3.20	2.74	0.14	0.55

Analyse des résultats d'essais :

a) Les 10 échantillons présentent des dimensions régulières.

b) Les taux d'humidité moyens ont évolués d'une moyenne de 10,8% avant mise en étuve à 4.1 % au moment de l'essai après retour à 20°C.

Rapport d'essais n° EEM/EA2R 20 26087828

Tableau 6.20 : série AR100 – Durée de chargement et contrainte appliquée

N°	Fmax	Durée de chargement	Contrainte appliquée	commentaires
	[kN]	(min)	(Mpa)	
1	100.0	4.53	61.2	charge maximale du vérin atteinte
2	56.7	2.44	34.6	
3	61.7	2.56	37.9	
4	72.1	3.28	44.1	
5	71.3	3.24	43.2	
6	80.8	3.52	49.0	
7	56.4	2.41	34.3	
8	100.0	4.53	61.0	charge maximale du vérin atteinte
9	79.3	3.47	47.8	
10	69.5	3.19	42.7	
Moyenne	74.8	3.01	45.6	
<i>écart type</i>	15.7	0.47	9.5	

Analyse des résultats d'essais :

- a) La charge appliquée présente un rapport de 21% entre l'écart-type et la moyenne des forces maximales.
- b) Le cumul du temps de sortie d'étuve et de la durée de chargement permet de vérifier la température atteinte en fin d'essai dans le spécimen par rapport aux résultats d'essais décrits au §6.2.

Rapport d'essais n° EEM/EA2R 20 26087828

Les figures suivantes décrivent la contrainte appliquée par la presse (force appliquée par la presse / surface de chaque échantillon bois) en fonction du déplacement de la traverse.

Figure 6.1 : Chargement mesurés en cours d'essai de compression – série AM20

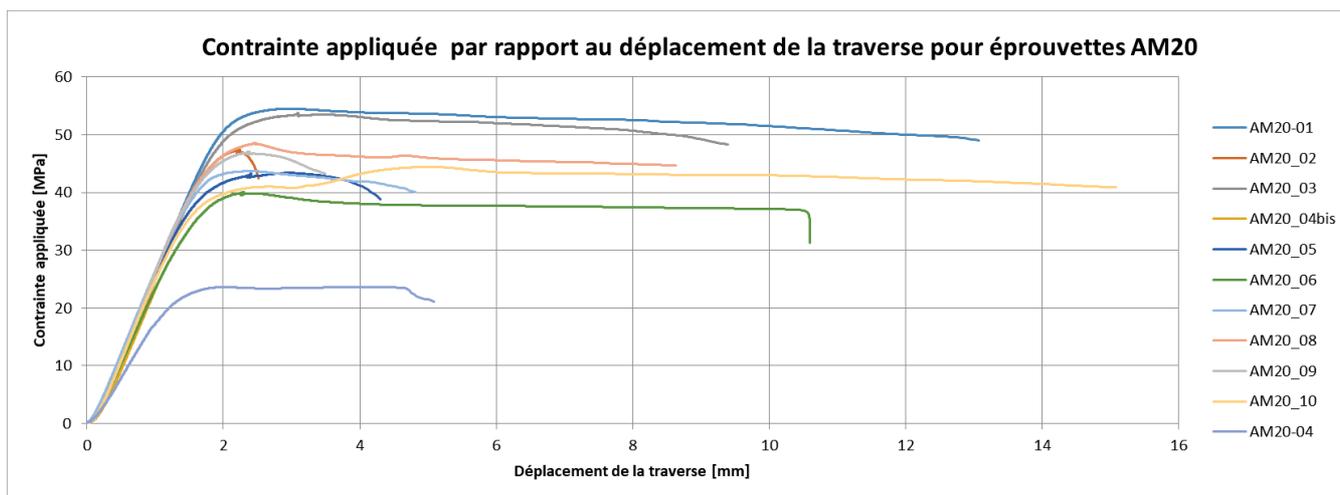


Figure 6.2 : Chargement mesurés en cours d'essai de compression – série AM60

Série AM60 : fichier d'export des courbes corrompu, données non disponibles.

Figure 6.3 : Chargement mesurés en cours d'essai de compression – série AM100

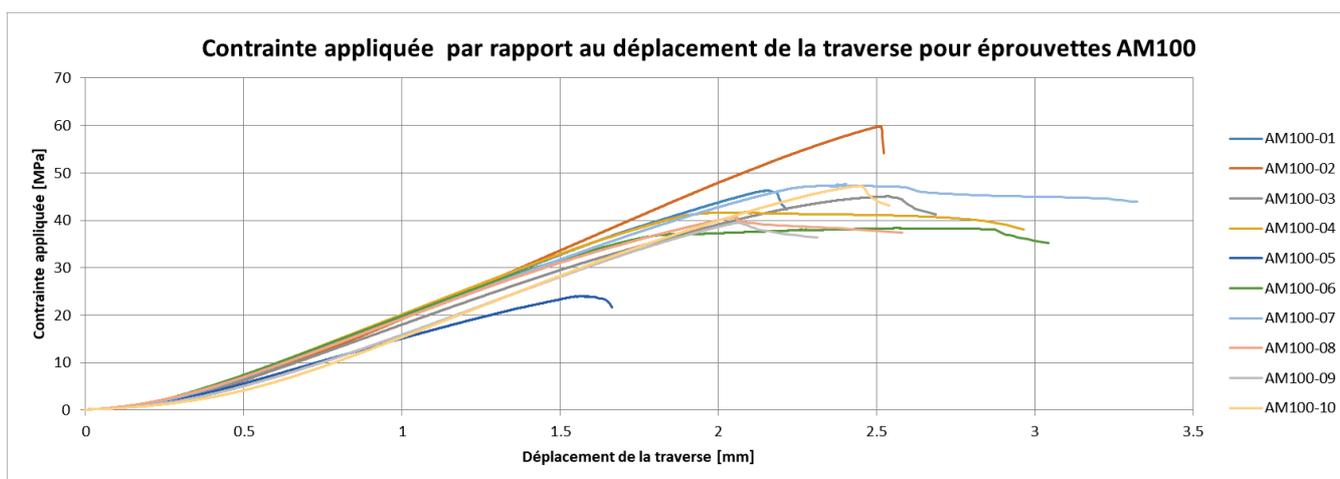


Figure 6.4 : Chargement mesurées en cours d'essai de compression – série AE60

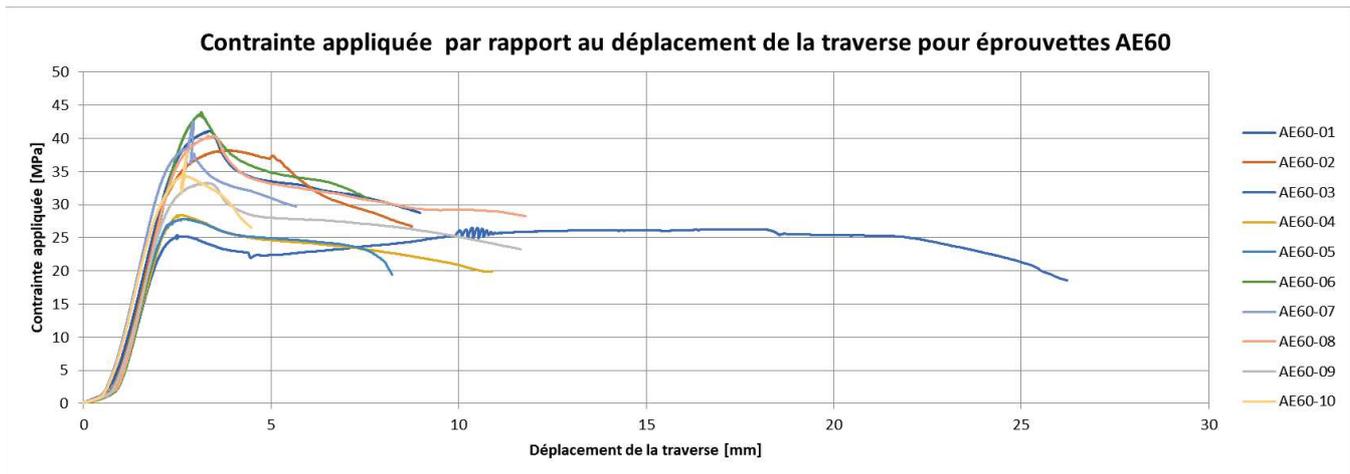


Figure 6.5 : Chargement mesurées en cours d'essai de compression – série AE100

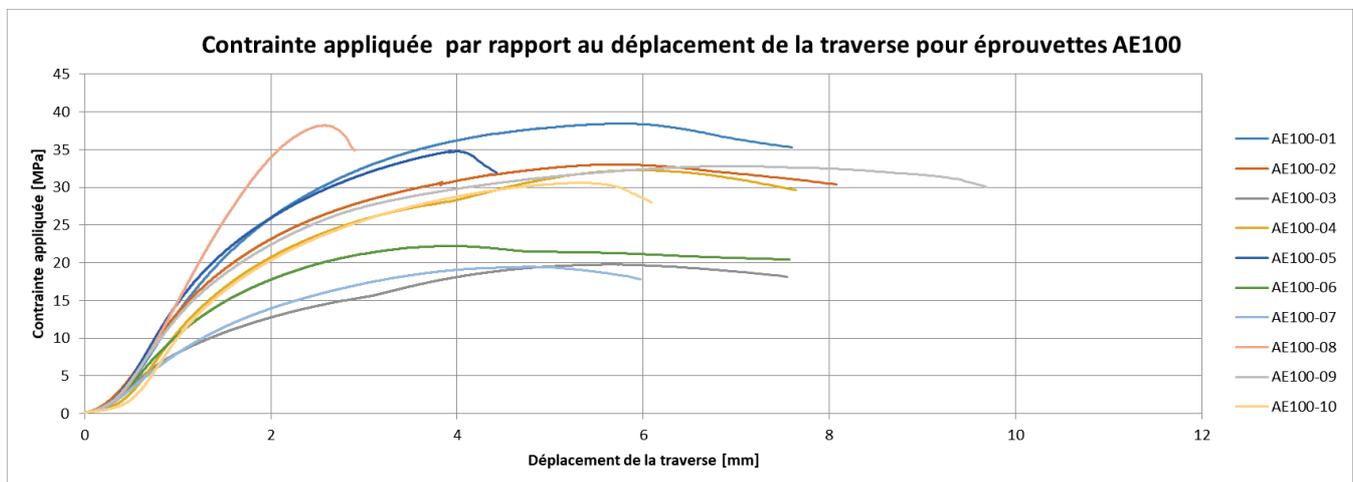


Figure 6.6 : Chargement mesurées en cours d'essai de compression – série AS60

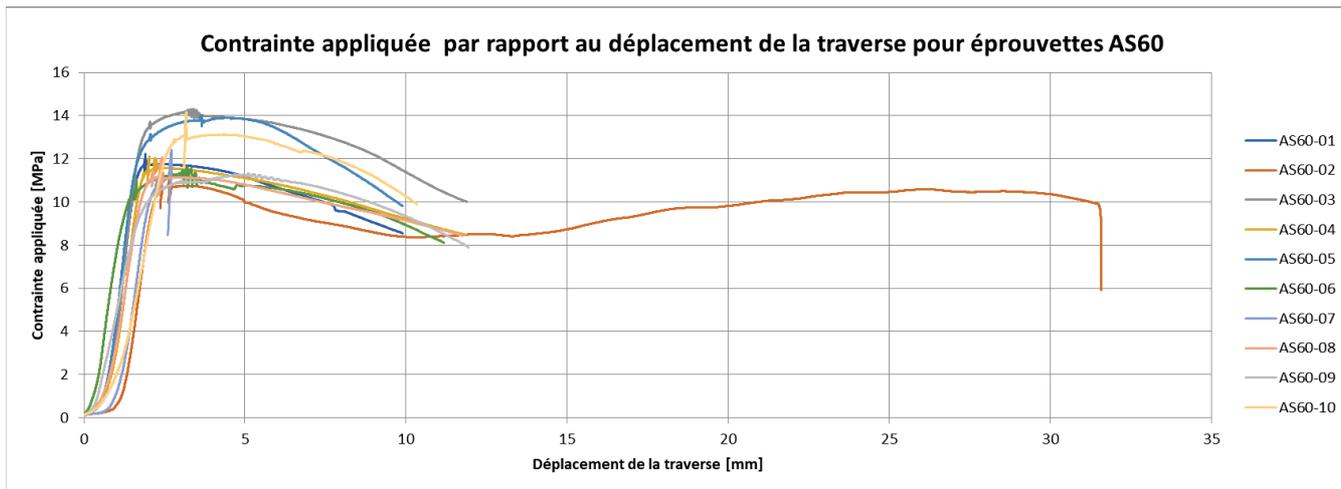


Figure 6.7 : Chargement mesurées en cours d'essai de compression – série AS100

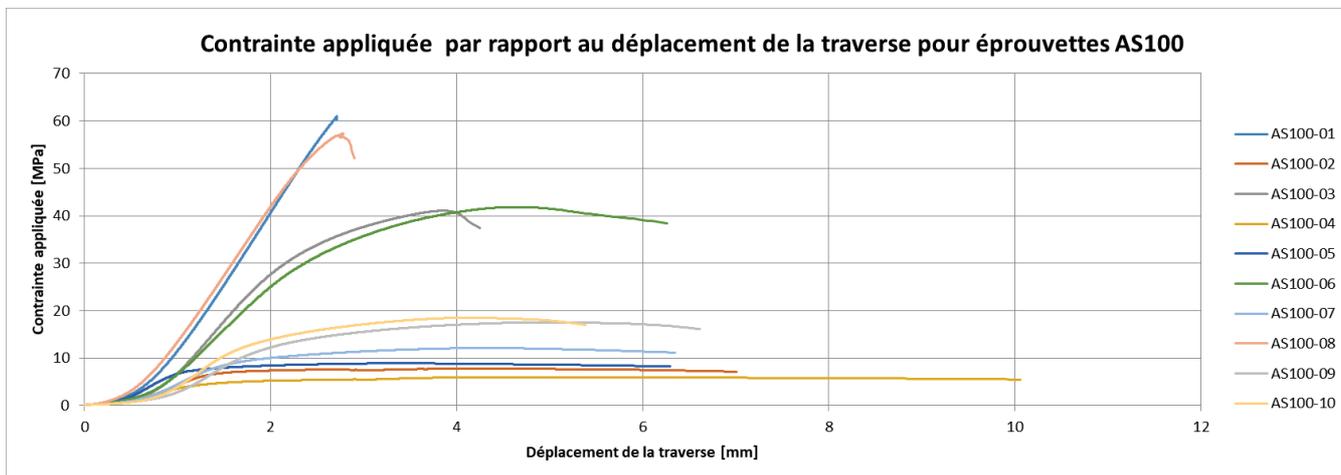


Figure 6.8 : Chargement mesurées en cours d'essai de compression – série AR60

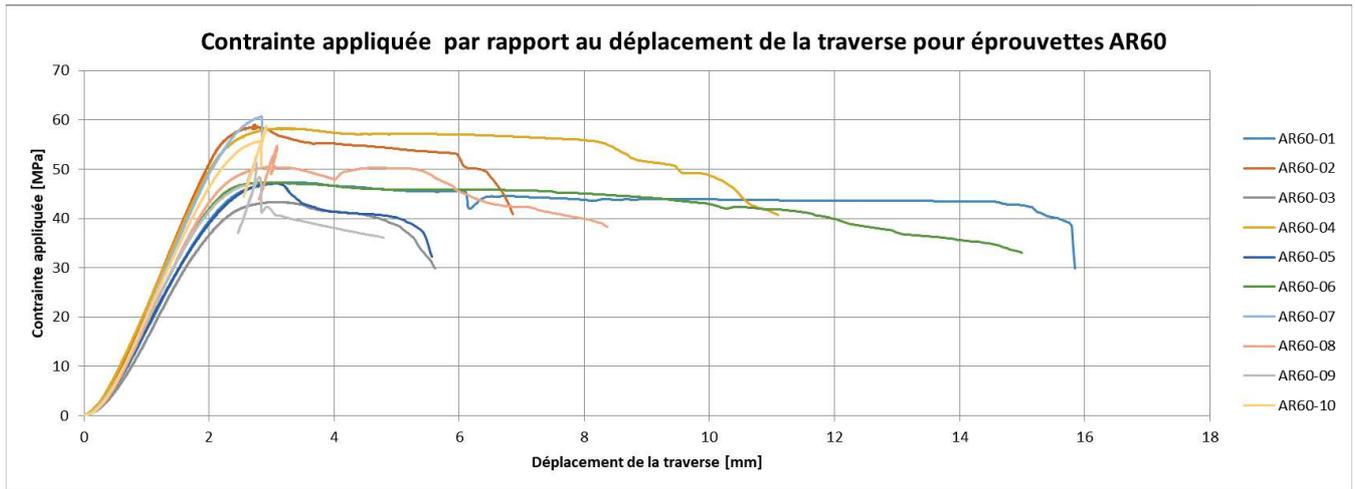
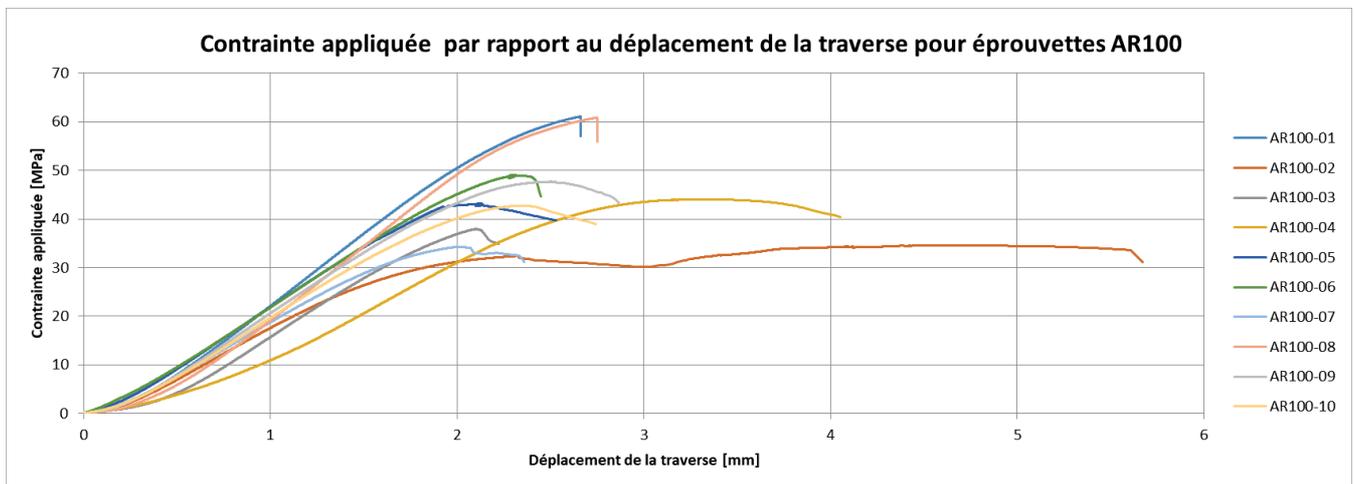
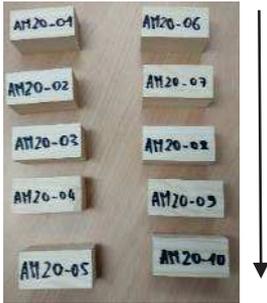
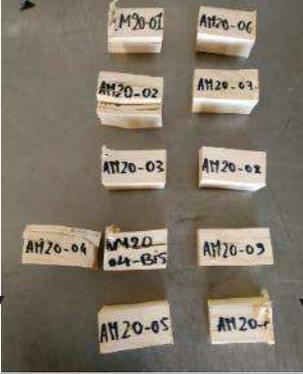
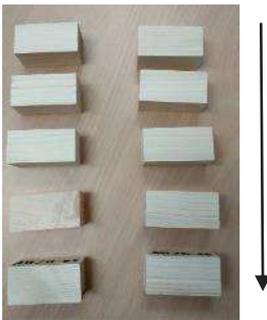
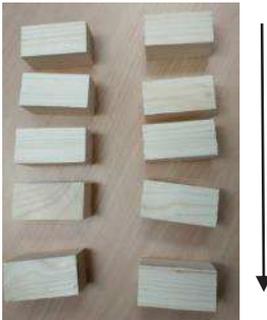


Figure 6.9 : Chargement mesurées en cours d'essai de compression – série AR100



Rapport d'essais n° EEM/EA2R 20 26087828

Tableau 6.21: Photographies des éprouvettes après essai – série AM20

Vue	Photographies avant essai		Photographies après essai	
Face 1		<p>1 6</p> <p>2 7</p> <p>3 8</p> <p>4 9</p> <p>5 10</p>		<p>1 6</p> <p>2 7</p> <p>3 8</p> <p>4 9</p> <p>5 10</p>
Face 2		<p>1 6</p> <p>2 7</p> <p>3 8</p> <p>4 9</p> <p>5 10</p>		<p>1 6</p> <p>2 7</p> <p>3 8</p> <p>4 9</p> <p>5 10</p>
Face 3		<p>1 6</p> <p>2 7</p> <p>3 8</p> <p>4 9</p> <p>5 10</p>		<p>1 6</p> <p>2 7</p> <p>3 8</p> <p>4 9</p> <p>5 10</p>
Face 4		<p>1 6</p> <p>2 7</p> <p>3 8</p> <p>4 9</p> <p>5 10</p>		<p>1 6</p> <p>2 7</p> <p>3 8</p> <p>4 9</p> <p>5 10</p>

Rapport d'essais n° EEM/EA2R 20 26087828

Tableau 6.22: Photographies des éprouvettes après essai – série AM60

Vue	Photographies avant essai		Photographies après essai	
Face 1	1 ↓ 2 3 4 5		6 7 8 9 10	Face 1 1 ↓ 3 5 7 9 2 4 6 8 10
Face 2	1 ↓ 2 3 4 5		6 7 8 9 10	Face 2 1 ↓ 3 5 7 9 2 4 6 8 10
Face 3	1 ↓ 2 3 4 5		6 7 8 9 10	Face 3 1 ↓ 3 5 7 9 2 4 6 8 10
Face 4	1 ↓ 2 3 4 5		6 7 8 9 10	Face 4 1 ↓ 3 5 7 9 2 4 6 8 10

Rapport d'essais n° EEM/EA2R 20 26087828

Tableau 6.23: Photographies des éprouvettes après essai – série AM100

Vue	Photographies avant essai		Photographies après essai			
Face 1	<ol style="list-style-type: none"> 1 2 3 4 5 		<ol style="list-style-type: none"> 6 7 8 9 10 	<ol style="list-style-type: none"> 1 3 5 7 9 		<ol style="list-style-type: none"> 2 4 6 8 10
Face 2	<ol style="list-style-type: none"> 1 2 3 4 5 		<ol style="list-style-type: none"> 6 7 8 9 10 	<ol style="list-style-type: none"> 1 3 5 7 9 		<ol style="list-style-type: none"> 2 4 6 8 10
Face 3	<ol style="list-style-type: none"> 1 2 3 4 5 		<ol style="list-style-type: none"> 6 7 8 9 10 	<ol style="list-style-type: none"> 1 3 5 7 9 		<ol style="list-style-type: none"> 2 4 6 8 10
Face 4	<ol style="list-style-type: none"> 1 2 3 4 5 		<ol style="list-style-type: none"> 6 7 8 9 10 	<ol style="list-style-type: none"> 1 3 5 7 9 		<ol style="list-style-type: none"> 2 4 6 8 10

Rapport d'essais n° EEM/EA2R 20 26087828

Tableau 6.24: Photographies des éprouvettes après essai – série AE60

Vue	Photographies avant essai			Photographies après essai	
Face 1	1 ↓ 2 3 4 5 ↓		6 7 8 9 10 ↓	Face 1	
Face 2	1 ↓ 2 3 4 5 ↓		6 7 8 9 10 ↓	Face 2	
Face 3	1 ↓ 2 3 4 5 ↓		6 7 8 9 10 ↓	Face 3	
Face 4	1 ↓ 2 3 4 5 ↓		6 7 8 9 10 ↓	Face 4	

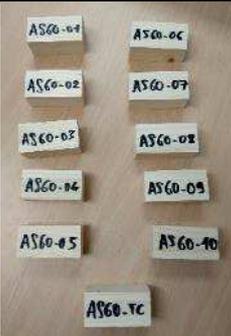
Rapport d'essais n° EEM/EA2R 20 26087828

Tableau 6.25: Photographies des éprouvettes après essai – série AE100

Vue	Photographies avant essai		Photographies après essai			
Face 1	<ol style="list-style-type: none"> 1 2 3 4 5 		<ol style="list-style-type: none"> 6 7 8 9 10 	<ol style="list-style-type: none"> 1 3 5 7 9 		<ol style="list-style-type: none"> 2 4 6 8 10
Face 2	<ol style="list-style-type: none"> 1 2 3 4 5 		<ol style="list-style-type: none"> 6 7 8 9 10 	<ol style="list-style-type: none"> 1 3 5 7 9 		<ol style="list-style-type: none"> 2 4 6 8 10
Face 3	<ol style="list-style-type: none"> 1 2 3 4 5 		<ol style="list-style-type: none"> 6 7 8 9 10 	<ol style="list-style-type: none"> 1 3 5 7 9 		<ol style="list-style-type: none"> 2 4 6 8 10
Face 4	<ol style="list-style-type: none"> 1 2 3 4 5 		<ol style="list-style-type: none"> 6 7 8 9 10 	<ol style="list-style-type: none"> 1 3 5 7 9 		<ol style="list-style-type: none"> 2 4 6 8 10

Rapport d'essais n° EEM/EA2R 20 26087828

Tableau 6.26: Photographies des éprouvettes après essai – série AS60

Vue	Photographies avant essai			Photographies après essai	
Face 1	1 2 3 4 5 ↓		6 7 8 9 10 ↓	Face 1	
Face 2	1 2 3 4 5 ↓		6 7 8 9 10 ↓	Face 2	
Face 3	1 2 3 4 5 ↓		6 7 8 9 10 ↓	Face 3	
Face 4	1 2 3 4 5 ↓		6 7 8 9 10 ↓	Face 4	

Rapport d'essais n° EEM/EA2R 20 26087828

Tableau 6.27: Photographies des éprouvettes après essai – série AS100

Vue	Photographies avant essai		Photographies après essai				
Face 1	1 ↓ 2 3 4 5		6 7 8 9 10	Face 1	1 ↓ 2 3 4 5		6 7 8 9 10
Face 2	1 ↓ 2 3 4 5		6 7 8 9 10	Face 2	1 ↓ 2 3 4 5		6 7 8 9 10
Face 3	1 ↓ 2 3 4 5		6 7 8 9 10	Face 3	1 ↓ 2 3 4 5		6 7 8 9 10
Face 4	1 ↓ 2 3 4 5		6 7 8 9 10	Face 4	1 ↓ 2 3 4 5		6 7 8 9 10

Rapport d'essais n° EEM/EA2R 20 26087828

Tableau 6.28: Photographies des éprouvettes après essai – série AR60

Vue	Photographies avant essai		Photographies après essai
Face 1		<p>1 6</p> <p>2 7</p> <p>3 8</p> <p>4 9</p> <p>5 10</p>	
Face 2		<p>1 6</p> <p>2 7</p> <p>3 8</p> <p>4 9</p> <p>5 10</p>	
Face 3		<p>1 6</p> <p>2 7</p> <p>3 8</p> <p>4 9</p> <p>5 10</p>	
Face 4		<p>1 6</p> <p>2 7</p> <p>3 8</p> <p>4 9</p> <p>5 10</p>	

Rapport d'essais n° EEM/EA2R 20 26087828

Tableau 6.29: Photographies des éprouvettes après essai – série AR100

Vue	Photographies avant essai		Photographies après essai	
Face 1				
Face 2				
Face 3				
Face 4				

6.2 Acquisition des températures en fonction du temps passé à la sortie d'étuve

6.2.1 Modalités des essais

Six échantillons témoins sont instrumentés en thermocouple et suivent le protocole prévu pour chaque série testée. Dans la présente campagne il y a 6 échantillons témoins : AM_60, AM_100, AE_60, AE_100, AS_60 et AS_100.

Les spécimens AM_60 et AM_100 permettent également de mesurer les températures durant la phase de refroidissement jusqu'à 20°C correspondant aux éprouvettes des séries AR_60 et AR_100.

Bien que mis en œuvre sur la presse, ces échantillons ne sont que faiblement chargés en compression (afin de garantir uniquement un bon contact entre les différents éléments). L'analyse des températures relevées par les thermocouples permet de déterminer les variations de température entre la sortie de l'étuve et la réalisation des essais mécaniques. Ainsi à partir des temps mesurés pour la sortie puis le test de chaque échantillon il est possible d'estimer la température à laquelle l'échantillon aura été effectivement testé.

Le temps d'acquisition des températures est à 1 secondes, à l'exception des essais AR_60 et AR_100 où des mesures toutes les 10 secondes permettent de vérifier le retour à 20°C.

Tableau 6.30: Photographies des essais d'acquisition des températures

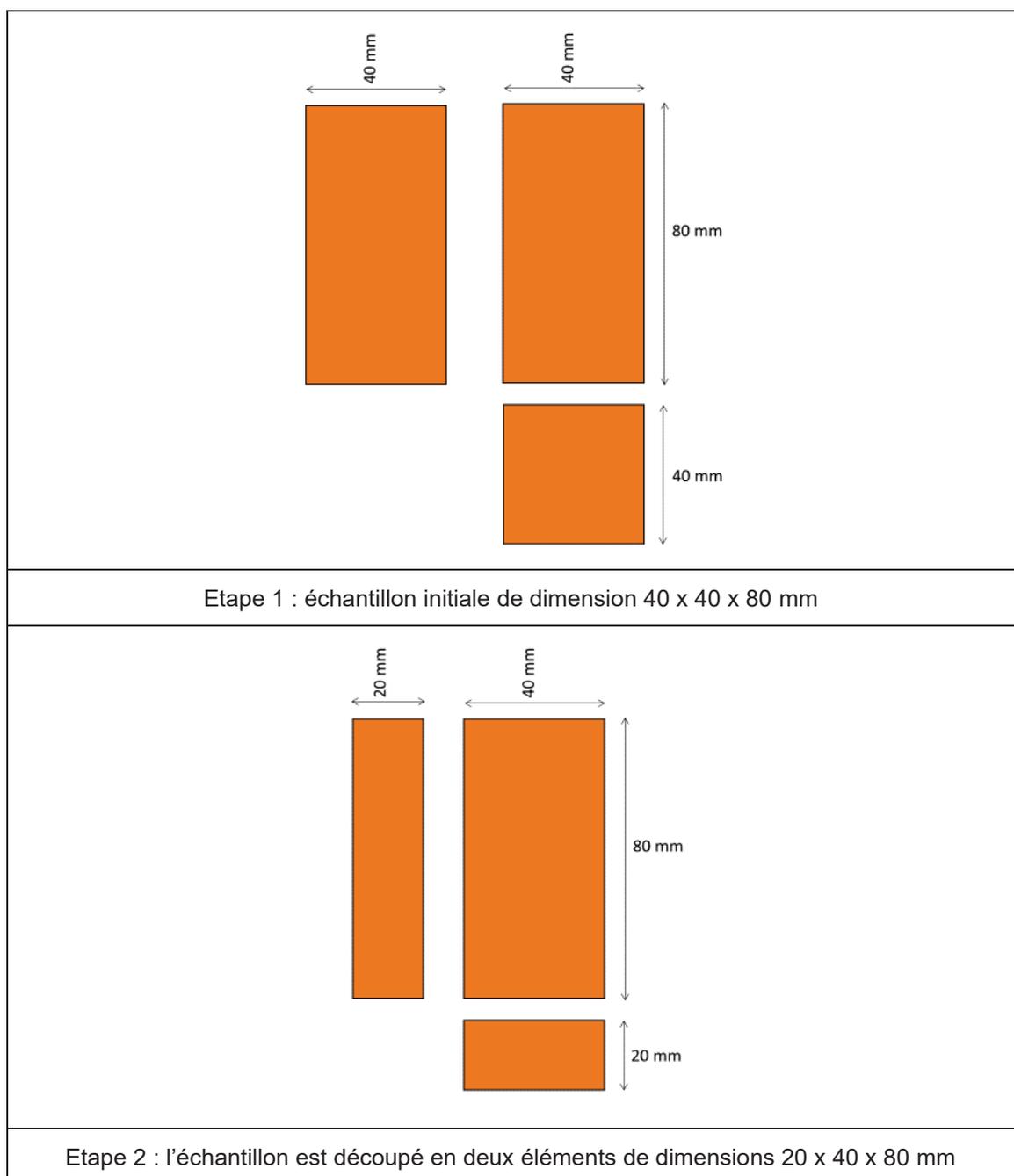
	
<p>Système d'acquisition connecté aux thermocouples situés dans l'éprouvette, elle-même étant située dans l'étuve (porte à droite sur la photographie)</p>	<p>Acquisition des températures, spécimens mis en œuvre dans la presse juste avant contact entre la presse et le spécimen d'essai (précharge 200 N).</p>

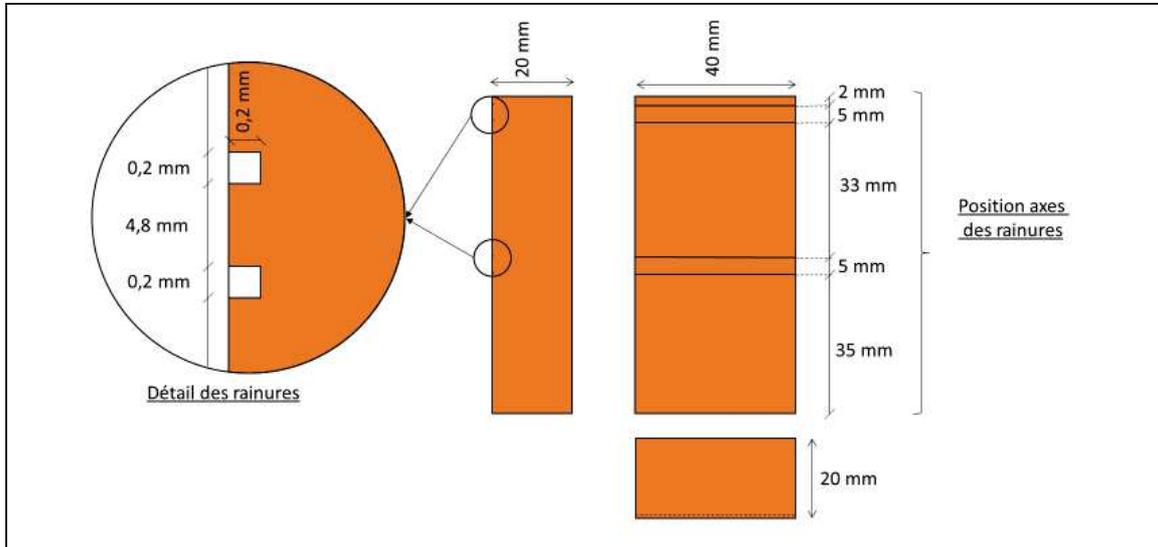
Chaque échantillon est équipé de 4 thermocouples dans le spécimen bois. Un cinquième thermocouple est placé à proximité de l'échantillon pour mesurer la température de l'étuve ou de l'air dans la pièce dans laquelle se déroule l'essai.

Rapport d'essais n° EEM/EA2R 20 26087828

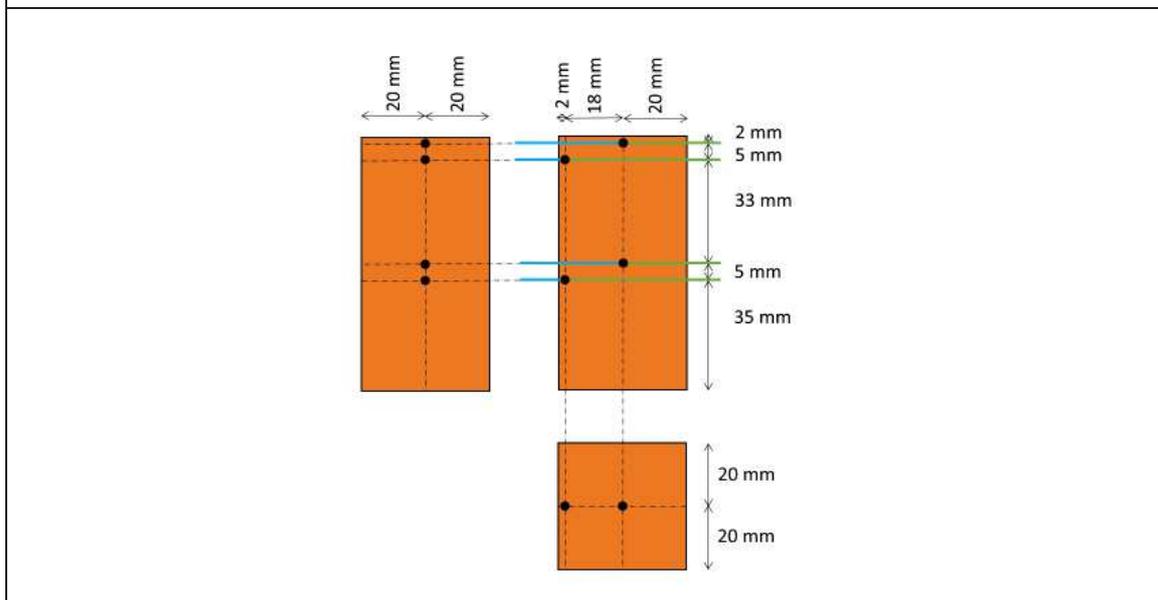
La figure suivante précise le protocole et les dimensions de l'implantation des thermocouples au sein des échantillons.

Tableau 6.31: Protocole d'implantations des thermocouples

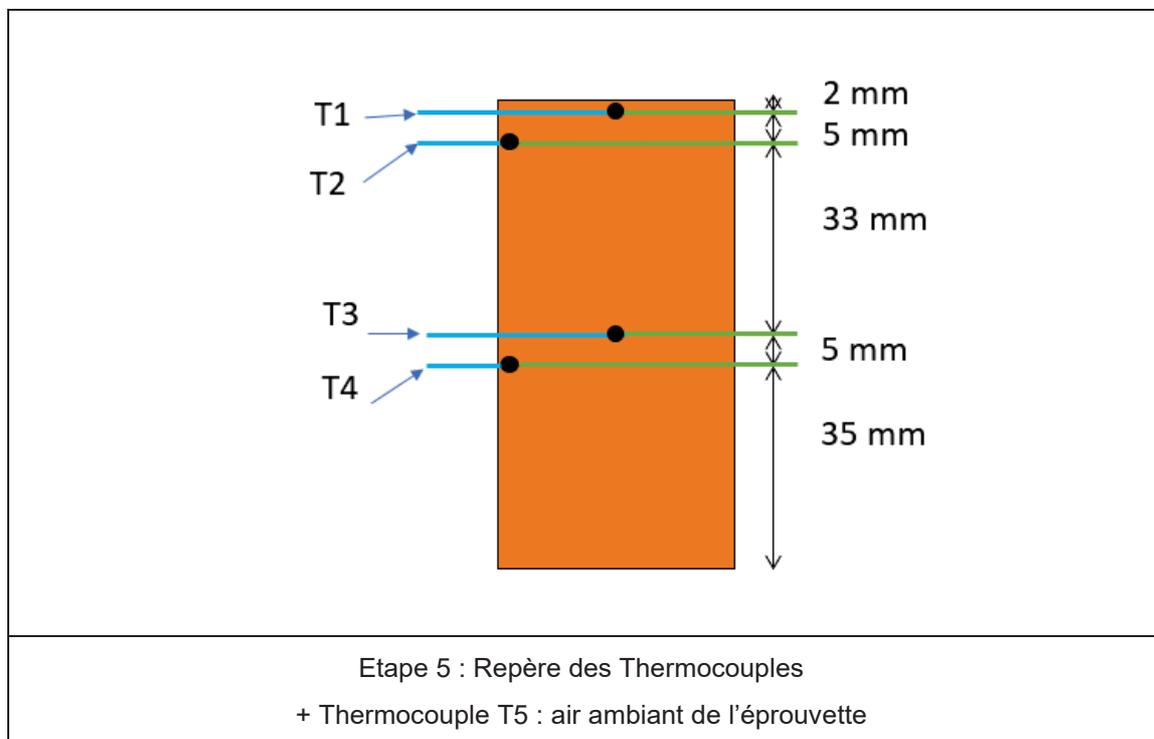




Etape 3 : Dans une des deux moitiés de l'échantillon uniquement, 4 rainures sont réalisées, les rainures font chacune 0,3 mm de large, 0,3 mm de profondeur et 40mm de long.



Etape 4 : Les thermocouples (2 fils de matériaux différents soudés en 1 point) sont mis en place dans les rainures. Les points noirs sur le schéma correspondent au point de mesure (=point de soudure entre les 2 fils). Un point de colle est appliqué pour maintenir ce point de soudure à la bonne position. Puis les 2 éléments de bois (celui avec rainure et celui sans rainure) sont collés pour reformer un tout.



6.2.2 Résultats des essais

Les figures suivantes présentent les résultats d'acquisition des températures en fonction du temps pour les 6 éprouvettes testées. A noter que les éprouvettes AM60 et AM100 ont fait l'objet d'une acquisition des températures jusqu'à un retour à 20°C, ceci pour vérifier le bon refroidissement des spécimens des séries AR16 et AR100.

Il a fallu un peu plus de 2h30 pour le retour à 20°C de l'éprouvette AM100 et un peu moins de 2h pour le retour à 20°C de l'éprouvette AM60.

Figure 6.10 : Températures acquises à la sortie d'étuve – série AM100

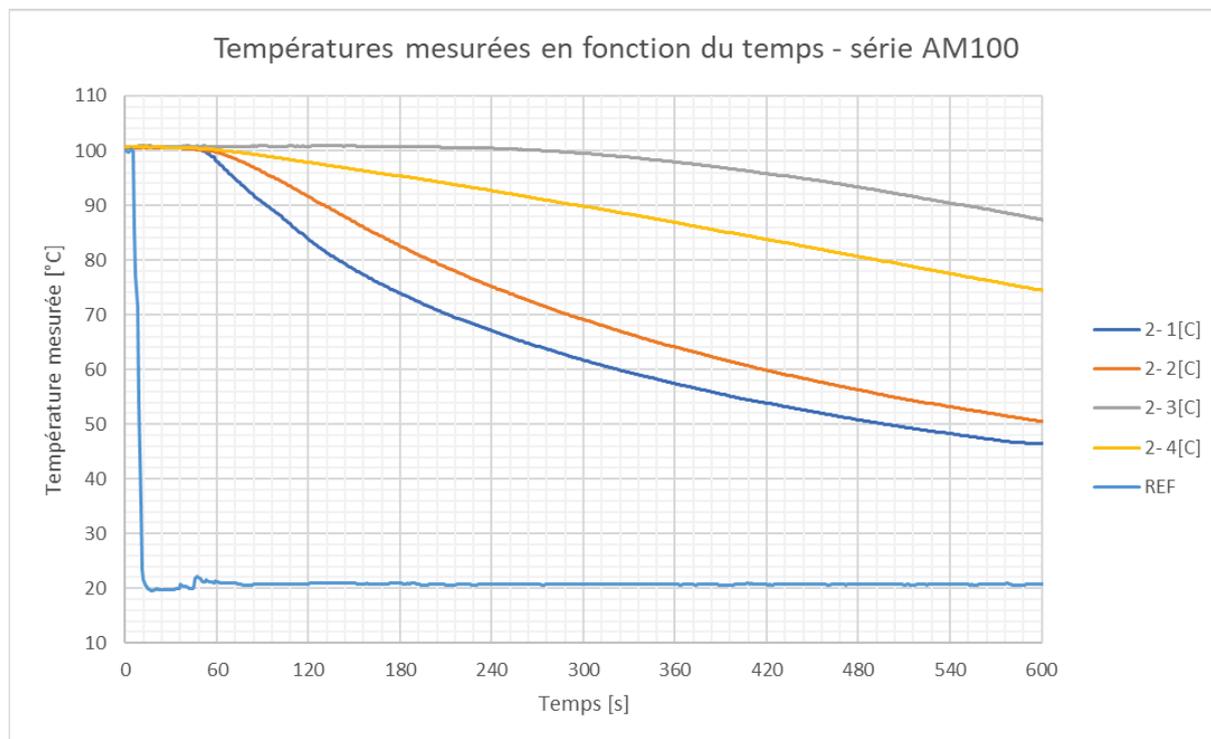


Figure 6.11 : Températures acquises à la sortie d'étuve – série AM100 étendue pour AR100

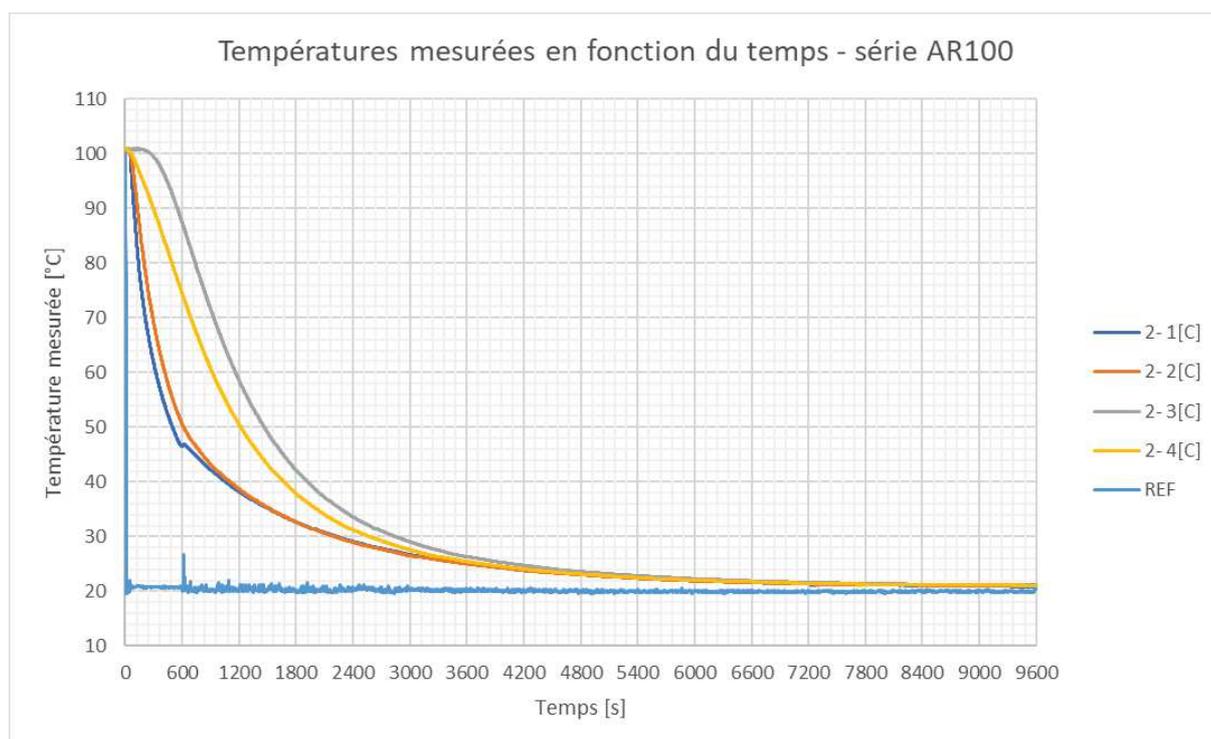


Figure 6.12 : Températures acquises à la sortie d'étuve – série AE100

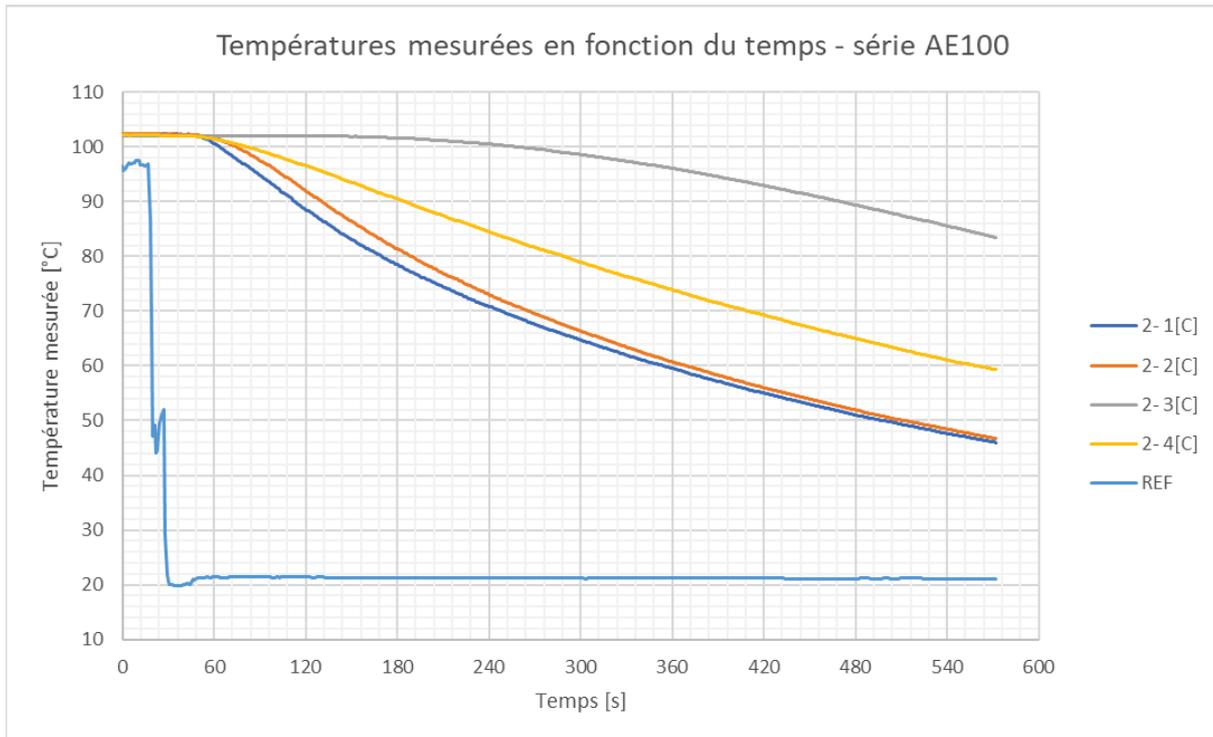


Figure 6.13 : Températures acquises à la sortie d'étuve – série AS100

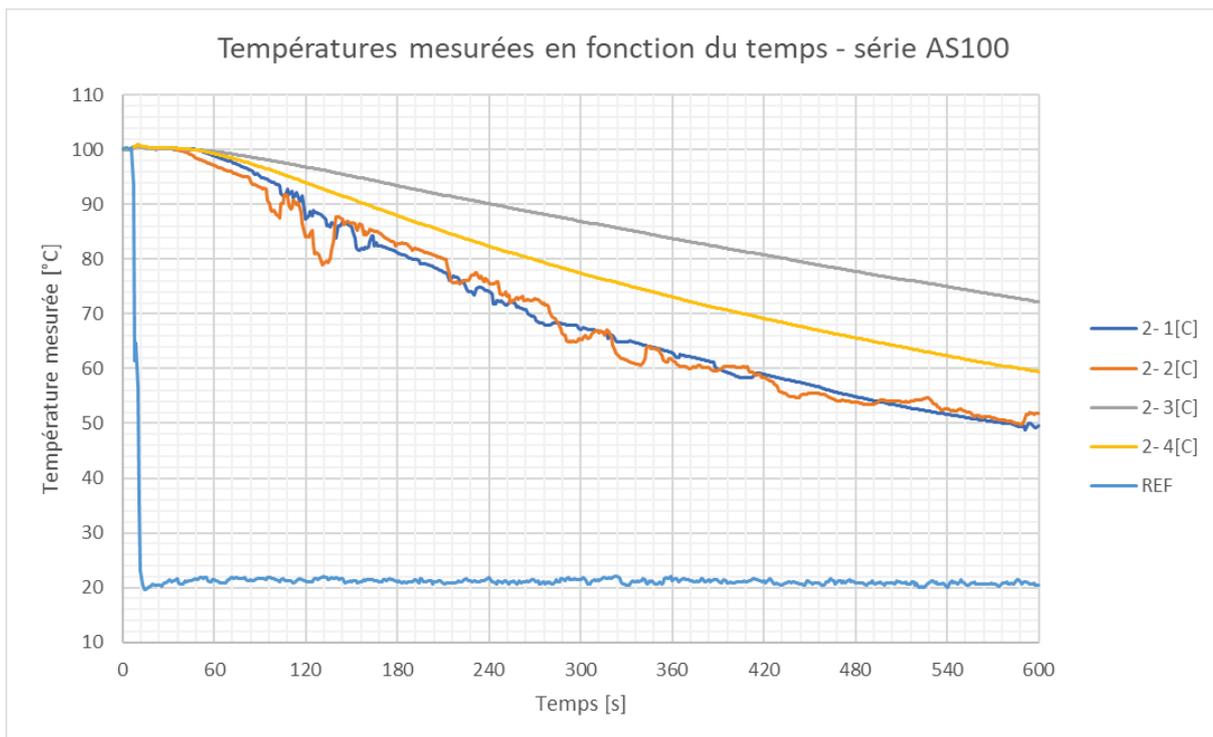


Figure 6.14 : Températures acquises à la sortie d'étuve – série AM60

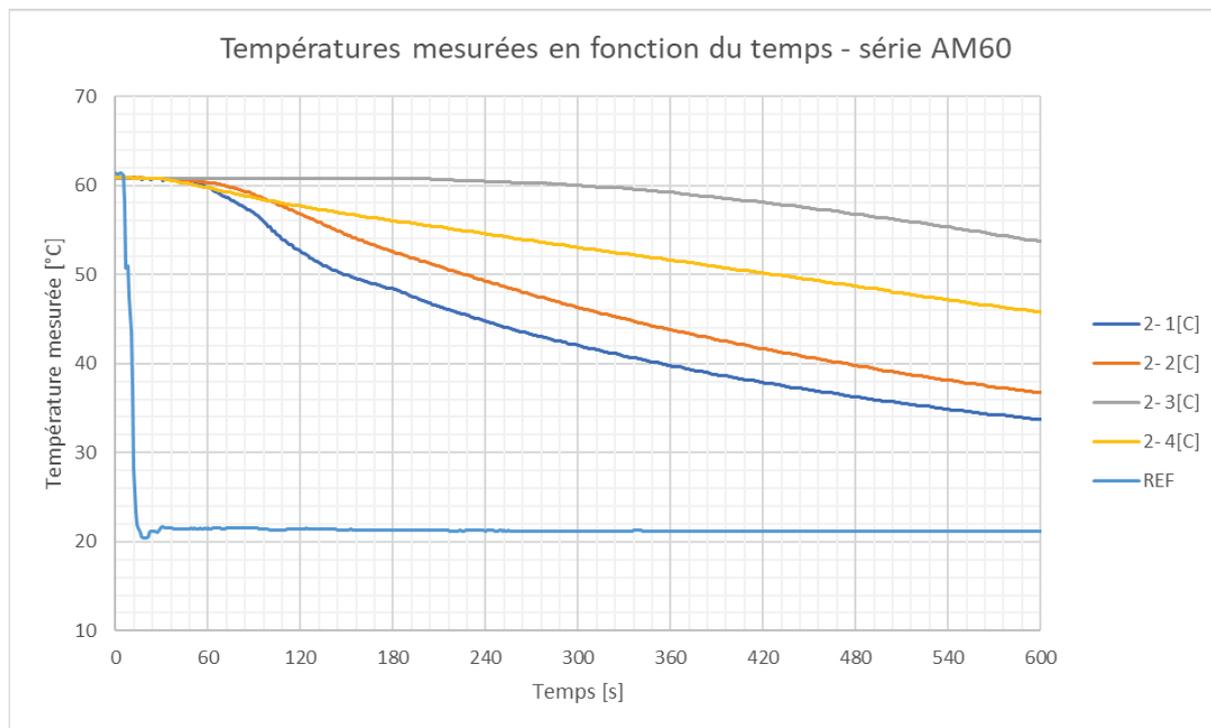


Figure 6.15 : Températures acquises à la sortie d'étuve – série AM60 étendue pour AR60

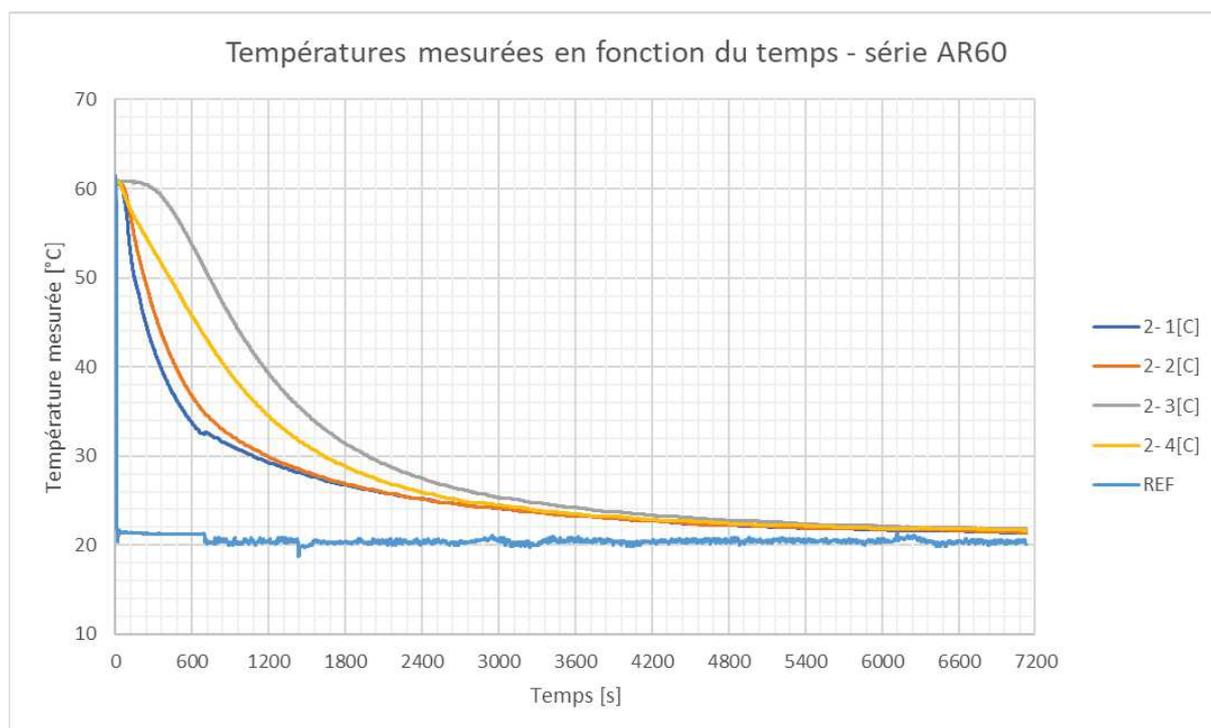


Figure 6.16 : Températures acquises à la sortie d'étuve – série AE60

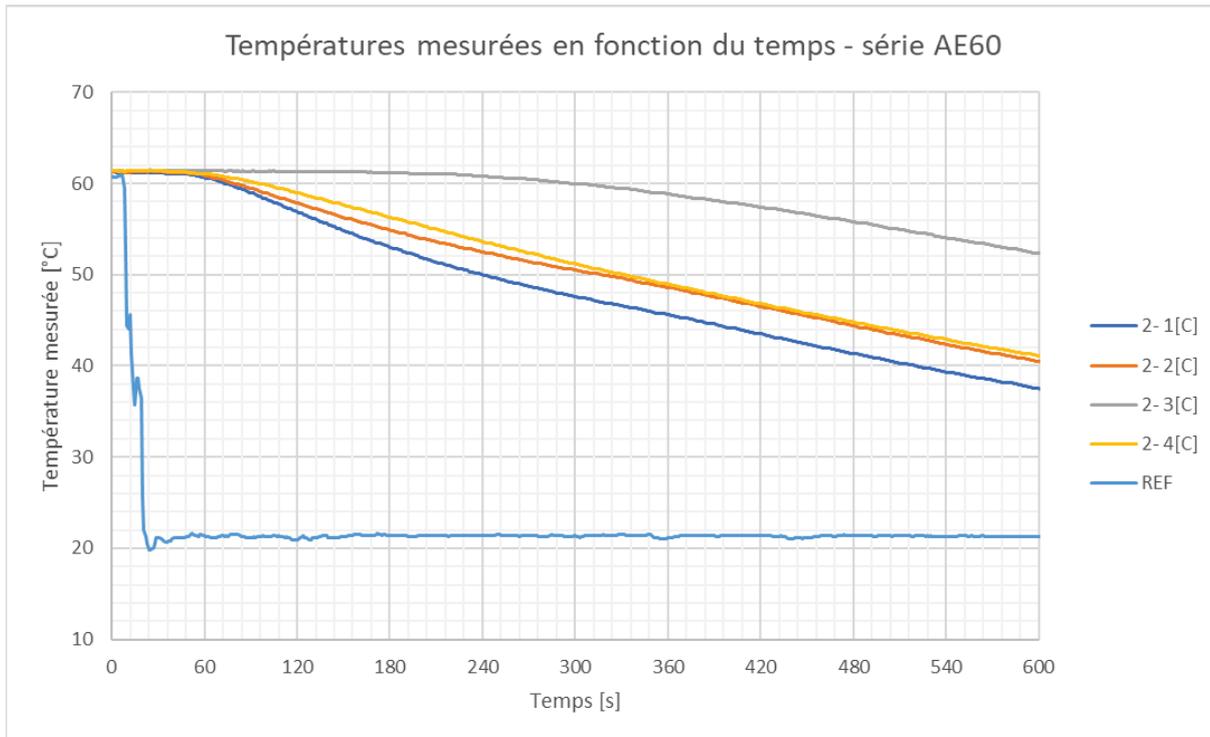
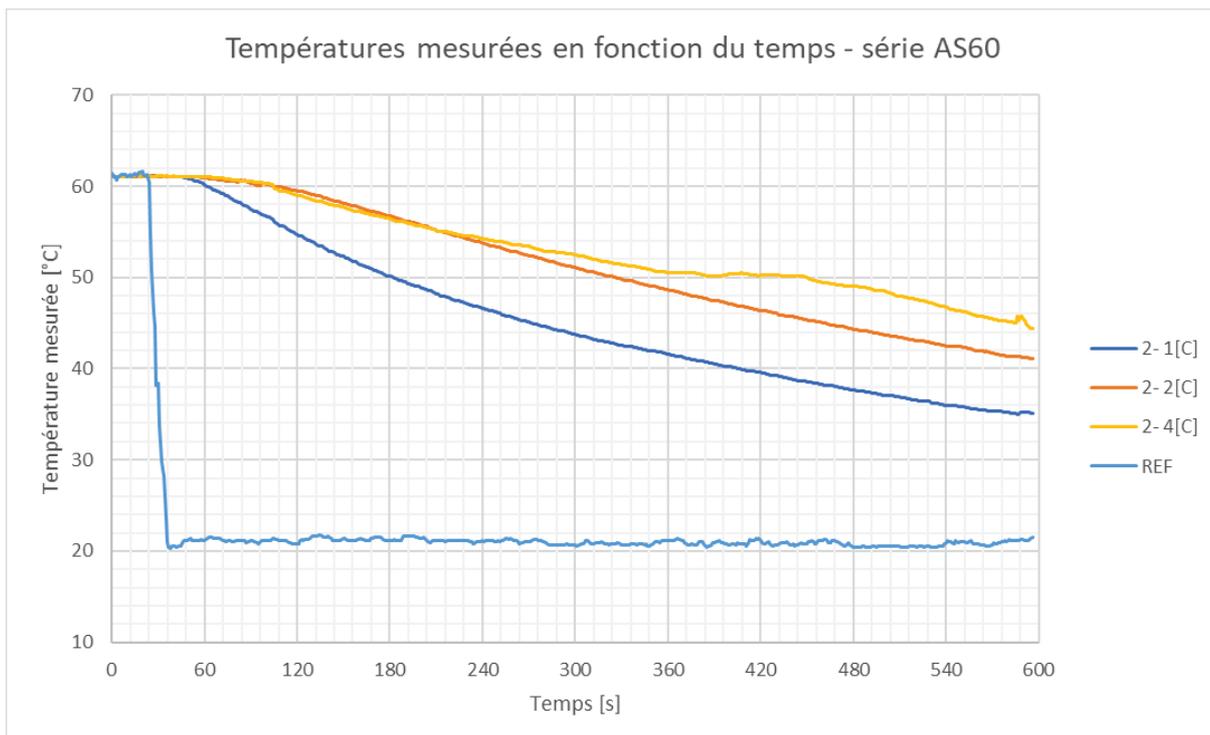


Figure 6.17 : Températures acquises à la sortie d'étuve – série AS60 (TC n°3 défectueux)



Rapport d'essais n° EEM/EA2R 20 26087828

Tableau 6.32: Pesée des spécimens équipés en thermocouples

N°	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Hauteur (mm)	Masse								
				Avant essai Bois + thermocouples [g]	Avant essai, saturée en eau [g]	+ équipements [g]	Poids équipement déduits [g]	24h en étuve (avec équipement) [g]	24h en étuve (sans équipement) [g]	Après essais (avec équipement) [g]	Après essais (sans équipement) [g]	Masse eau perdue au passage en étuve [g]
AE 60-TC	40.27	37.42	81.57	60.37		1084.7	1024.33	1084.5	60.17	1083.80	59.47	0.90
AE 100-TC	40.18	37.01	81.07	60.57		1082.8	1022.23	1081.6	59.37	1080.7	58.47	2.10
AS 60-TC	40.22	37.70	81.22	58.51	101.15	1119.9	1018.75	1111.6	92.85	1111.3	92.55	8.60
AS 100-TC	40.07	36.74	80.62	66.18	115.28	1135.7	1020.42	1094.3	73.88	1080.7	60.28	55.00
AM 60-TC	40.15	37.41	81.57	59.25		1071.8	1012.55	1067.7	55.15	1068.20	55.65	3.60
AM 100-TC	40.28	36.56	81.09	65.4		1083.9	1018.50	1078.3	59.80	1078.50	60.00	5.40
Moyenne	40.20	37.14	81.19	61.71	108.22							
<i>écart type</i>	0.08	0.44	0.36	3.26	9.99							

Note : On note une perte d'étanchéité importante sur l'éprouvette AS 100 -TC avec une perte de 55 g à la suite du passage en étuve.

Fin du rapport d'essais



A D I V B O I S

www.adivbois.org

CODIFAB

comité professionnel de développement
des industries françaises de l'ameublement et du bois