



INSTITUT
TECHNOLOGIQUE

Etude INFIPERF

Nouveaux Critères de Performance des Finitions Extérieures pour Bois

Réf. CODIFAB : B24FCBA32

Rapport final

Rapport Non Confidentiel

Date : Avril 2025

Rédaction : Laurence PODGORSKI – FCBA

Avec le soutien de :

CODIFAB
Développement des Industries Françaises
de l'Ameublement et du Bois

sipev

fcba.fr

Sommaire

1	Remerciements	4
2	Contexte et objectifs	4
3	Matériels et Méthodes	5
3.1	Bois et systèmes de finition étudiés	5
3.2	Essai de vieillissement artificiel.....	5
3.3	Essai de vieillissement naturel.....	6
3.4	Cotations visuelles	6
3.5	Mesures de couleur.....	7
3.6	Mesures de brillant.....	8
3.7	Mesure de dureté Persoz	8
3.8	Champignons de bleuissement.....	8
3.9	Essai de traction.....	9
4	Résultats	10
4.1	Dureté Persoz avant vieillissement	10
4.2	Résultats de vieillissement artificiel.....	11
4.2.1	Craquelage	11
4.2.2	Aspect général.....	12
4.2.3	Variations de brillant.....	12
4.2.4	Variations de couleur	17
4.2.5	Variations de dureté Persoz	20
4.3	Résultat de vieillissement naturel.....	23
4.3.1	Craquelage	23
4.3.2	Adhérence	24
4.3.3	Conformité des systèmes aux exigences de NF EN 927-2.....	24
4.3.4	Aspect général.....	24
4.3.5	Champignons de bleuissement	25
4.3.6	Variations de brillant.....	28
4.3.7	Variations de couleur	32
4.3.8	Variations de dureté.....	34
4.4	Propriétés de traction	35
4.5	Tableau synthétique des résultats principaux.....	41
5	Conclusions et perspectives	42
6	Références bibliographiques	48

1 Remerciements

Nous tenons ici à remercier :

- Le Comité professionnel de Développement des Industries Françaises de l'Ameublement et du Bois (CODIFAB), et le Syndicat des Industries des Peintures, Enduits et Vernis (SIPEV) pour leur soutien financier ;
- Les fabricants de finition ayant fourni les produits de finition : Akzo Nobel (Messieurs Cédric Meney et Frédéric Hély), Blanchon (Monsieur Jacques Cléchet), Cromology (Mme Chloé Derrien et Monsieur Mathieu Couturier), Remmers (Mr David Kennel) ;
- Tous les collaborateurs FCBA ayant contribué à cette étude et plus particulièrement : Claudia Meunier, Thierry Delorme, Dominique Mangin, Livie Ducasse, Marc Sigrist, Martine Gabillé, Jean-Denis Larvin ;
- les membres du Comité de pilotage de l'étude : Mesdames Ludivine Menez et Maelenn Rougié UFME, Monsieur Adrien Parquier UMB, Madame Sabine Boury CAPEB, Mr Pierre Pfihl SIPEV.

2 Contexte et objectifs

La détermination de la performance des finitions extérieures pour bois repose actuellement sur des critères visuels (craquelage, écaillage, cloquage, adhérence) relevés après 12 mois de vieillissement naturel. Subjectifs car visuels, ces critères de performances peuvent être critiquables. En complément, un essai de perméabilité à l'eau est requis et permet d'apprécier la barrière à l'eau procuré par les systèmes de finition à l'état initial (sans vieillissement).

Ces critères de performances sont inclus dans la norme NF EN 927-2¹. Pour la protection des menuiseries, les valeurs limites à ne pas dépasser pour la moyenne des trois éprouvettes exposées au vieillissement sont reportées dans le Tableau 1 pour les différentes propriétés évaluées visuellement (cloquage, craquelage, écaillage) et pour l'adhérence évaluée, elle aussi visuellement, par le test du quadrillage.

	Valeurs limites pour la catégorie stable (emploi type menuiserie)
Cloquage	0,3
Craquelage	0,7
Ecaillage	0,3
Adhérence	1
Perméabilité à l'eau NF EN 927-5 ²	< 175 g /m ²

Tableau 1: extrait des spécifications de performances de NF EN 927-2

Suite à l'étude CODIFAB MECAFINIT³, d'autres indicateurs de performances utiles à investiguer ont pu être identifiés⁴ : dureté Persoz, brillant, propriétés mécaniques des films de finitions.

L'objectif du projet INFIPERF est d'établir de nouveaux critères de performance des finitions extérieures pour menuiseries bois mesurables et fiables. Ces critères devraient permettre une sélection plus pertinente des produits du marché et devraient contribuer à faire évoluer les référentiels en vigueur. Deux nouveaux critères sont envisagés : variation de dureté Persoz et variations de brillant. Ils sont quantitatifs, faciles à mesurer. L'étude a pour objectif de définir la plage de dureté Persoz et de rétention de brillant dans laquelle la finition doit se situer pour être performante sur le bois. La conservation de la flexibilité de la finition est un critère supplémentaire envisagé. Il s'agit de vérifier qu'un essai de traction sur film de finition vieilli 3 semaines en enceinte de type QUV permet de quantifier cette conservation. Le projet étudiera si cette durée de vieillissement est adaptée à un ensemble de finitions représentatif du marché.

3 Matériels et Méthodes

3.1 Bois et systèmes de finition étudiés

Les échantillons de pin sylvestre ont été préparés par FCBA. Ils étaient conformes aux exigences de NF EN 927-6⁵ pour les essais de vieillissement artificiel et NF EN 927-3⁶ pour les essais de vieillissement naturel.

Onze systèmes de finition ont été retenus et validés par le Comité de Pilotage de l'étude (Tableau 2). Ils ont été fournis par Akzo Nobel, Blanchon, Cromology, Remmers. Dans la suite de ce rapport, les fabricants sont désignés par des lettres (A, B, C et D) dans un ordre qui ne reflète pas l'ordre alphabétique dans lequel ils sont cités ci-dessus.

Les systèmes 1 et 2 sont issus du fabricant A ; les systèmes 3 à 6 du fabricant B, les systèmes 7 et 8 du fabricant C, et les systèmes 9 à 11 du fabricant D.

Tous les systèmes ont été appliqués sur du bois de pin sylvestre selon les recommandations fournies par les fabricants. Les systèmes 1 à 6 ont été appliqués à la brosse. Les systèmes 7 à 11 ont été appliqués par tempage et pulvérisation.

Système	Description
1	Peinture, Gris RAL 7016, 2 couches, 125 g/m ² /couche
2	Peinture, idem 1 mais Blanc, 2 couches, 125 g/m ² /couche
3	Lasure opaque, Gris RAL 7016, 2 couches, 89 g/m ² /couche
4	Lasure opaque, idem 3 mais Blanc, 2 couches, 89 g/m ² /couche
5	Peinture, Gris RAL 7016, 2 couches, 113 g/m ² /couche
6	Peinture, idem 5 mais Blanc, 2 couches, 113 g/m ² /couche
7	System opaque Gris RAL 7016, Primaire (120-180 g/m ²)/midcoat(100-160g/m ²) /topcoat(280g/m ²)
8	Idem 7 mais Blanc, Primaire (120-180 g/m ²)/midcoat(100-160g/m ²) /topcoat(280g/m ²)
9	Système semi-transparent, 10 Unité de brillant (60°), primaire/midcoat /topcoat (250 µm)
10	Système Semi-transparent, idem 9, mais 20 Unité de brillant (60°), Primaire/midcoat/topcoat (250 µm)
11	Système Semi-transparent, idem 9, mais 40 Unité de brillant (60°), Primaire/midcoat/topcoat (250 µm)

Tableau 2 : Description des 11 systèmes étudiés

3.2 Essai de vieillissement artificiel

Le vieillissement artificiel a été réalisé selon la norme NF EN 927-6⁵ en utilisant une enceinte de type QUV (Figure 1) permettant d'exposer les surfaces à l'action des UV, de l'eau et de la température.



Vue extérieure de l'appareil



Vue intérieure de l'appareil

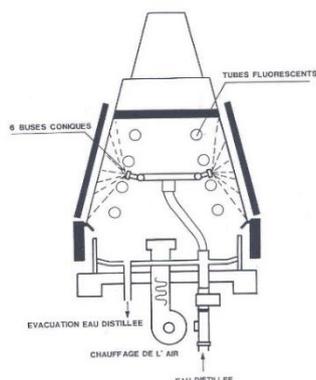
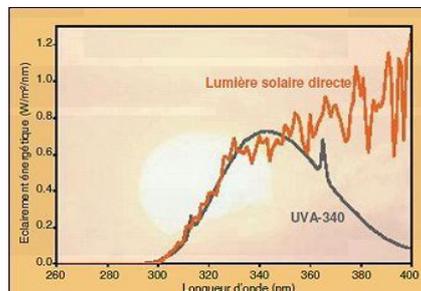


Schéma de l'appareil en coupe transversale



Caractéristiques des lampes UVA-340 nm utilisées dans le QUV

Figure 1: l'appareil de vieillissement artificiel QUV

La norme NF EN 927-6 préconise une exposition de 12 semaines (soit 2 016 heures) à l'issue de laquelle un certain nombre de cotations et/ou mesures peuvent être faites.

Dans cette étude, pour mieux appréhender les changements d'esthétiques, nous avons procédé à des mesures de couleur à différents temps de vieillissement artificiel : 0, 1, 2, 3, 6, 8, 10 et 12 semaines.

3.3 Essai de vieillissement naturel

Le vieillissement naturel a été réalisé sur le site de FCBA à Bordeaux (Figure 2) sur des châssis inclinés à 45° face au sud conformément à la norme NF EN 927-3 (essai de vieillissement naturel). Pour chaque système de finition, 3 échantillons ont été exposés soit au total 33 échantillons destinés aux cotations classiques (visuelles). Pour chaque système, 5 échantillons supplémentaires ont été exposés afin de les retirer périodiquement pour la mesure de dureté Persoz. Au total 88 échantillons ont été exposés. Pour chaque système de finition, un échantillon témoin (non exposé au vieillissement) est conservé au laboratoire dans des conditions climatiques contrôlées (20°C et 65 % d'humidité relative). Le vieillissement naturel s'est déroulé de mai 2023 à juillet 2024.



Figure 2: Site de vieillissement naturel de FCBA Bordeaux

Après exposition, les échantillons ont été retirés après 1, 3, 6, 9 et 12 mois pour les cotations visuelles, mesures de brillant et couleur ainsi que pour les mesures de dureté Persoz.

Aux temps intermédiaires de 1, 3, 6, 9 mois, les échantillons sont conditionnés 1 semaine à (20±2)°C et (65±5)%RH avant de procéder aux différentes mesures.

3.4 Cotations visuelles

A l'issue du vieillissement artificiel et naturel, les échantillons sont conditionnés durant deux semaines à (20 ± 2) °C et (65 ± 5) % d'humidité relative avant d'être examinés pour relever la présence éventuelle de craquelage (NF EN ISO 4628-4) évalué sur une échelle de 0 à 5 comme détaillé dans le Tableau 3.

Cotation	Quantité des défauts
0	Aucun, c'est-à-dire aucun défaut décelable
1	Très peu, c'est-à-dire petit nombre de défaut, juste significatif
2	Peu, c'est-à-dire petit nombre significatif de défauts
3	Nombre moyen de défauts
4	Nombre important de défauts
5	Dessin dense de défauts

Tableau 3 : Mode de cotation pour la désignation de la quantité des défauts

Le changement d'aspect général (ou apparence générale) de chaque éprouvette est également notée sur une échelle de 0 à 5 (NF EN ISO 4628-1) par comparaison avec l'éprouvette témoin non exposée (Tableau 4). Ce changement d'aspect englobe tous les défauts éventuels (craquelage, écaillage, etc.), les changements de couleur, de brillant, la présence éventuelle de microorganismes, etc.

Cotation	Intensité du changement
0	Inchangé, c'est-à-dire aucun changement perceptible
1	Très léger, c'est-à-dire changement juste perceptible
2	Léger, c'est-à-dire changement nettement perceptible
3	Moyen, c'est-à-dire changement prononcé
4	Considérable, c'est-à-dire changement prononcé
5	Changement très marqué

Tableau 4 : Mode de cotation pour la désignation des changements d'aspect général

3.5 Mesures de couleur

Des mesures de couleur ont été réalisées sur chaque éprouvette selon les paramètres de mesure précisés dans les normes NF EN 927-6 et NF EN 927-3 relatives respectivement aux méthodes d'essai de vieillissement artificiel et naturel.

Pour mesurer la couleur et les variations de couleur des échantillons, un spectrocromimètre portable de la société Datacolor a été utilisé avec la composante spéculaire incluse. Cet appareil utilise le système colorimétrique CIE Lab, représenté ci-dessous (Figure 3). Dans ce référentiel normalisé, une couleur est définie par trois coordonnées L^* , a^* et b^* avec :

- L^* : représentant la clarté, variant de 0 à 100, du noir au blanc ; L^* indique si l'échantillon est clair (L^* élevé) ou foncé (L^* faible).
- a^* et b^* représentent la chromaticité de l'échantillon :
 - a^* indique les couleurs dans le sens du vert
 - + a^* indique les couleurs dans la direction rouge
 - b^* indique les couleurs dans la direction du bleu
 - + b^* indique les couleurs dans la direction du jaune

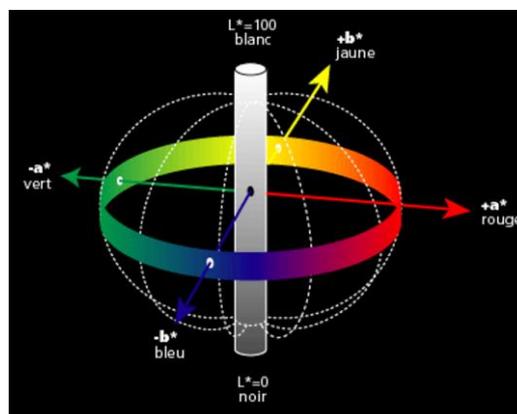


Figure 3 : système colorimétrique CIE $L^*a^*b^*$

La mesure de couleur avant et après vieillissement permet de calculer les écarts de couleur comme suit :

$$\Delta L^* = L^*_{\text{après vieillissement}} - L^*_{\text{avant vieillissement}}$$

$$\Delta a^* = a^*_{\text{après vieillissement}} - a^*_{\text{avant vieillissement}}$$

$$\Delta b^* = b^*_{\text{après vieillissement}} - b^*_{\text{avant vieillissement}}$$

Ces écarts permettent de connaître l'impact du vieillissement sur la couleur des surfaces. En d'autres termes, lorsque :

$\Delta L^* > 0$, la teinte s'éclaircit ;

$\Delta a^* > 0$, la couleur se déplace vers le rouge ;

$\Delta b^* > 0$, la couleur se déplace vers le jaune.

L'écart global de couleur ΔE (ou Delta E) est défini entre deux points de l'espace CIE Lab comme étant égal à la distance entre ces deux points : $\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$. Il reflète le changement global de couleur provoqué par l'exposition au vieillissement. Il est à noter qu'un écart de couleur ΔE inférieur à 3 est difficilement perceptible par l'œil nu.

Sur les éprouvettes de l'étude, après calibration de l'appareil, les composantes L^* , a^* , b^* sont mesurées (composante spéculaire incluse) en 2 endroits différents pour chacune des 3 éprouvettes exposées en vieillissement artificiel (soit 6 mesures par système de finition) et en 3 endroits pour chacune des 3 éprouvettes exposées en vieillissement naturel (soit 9 mesures par système de finition) pour chaque durée de vieillissement.

3.6 Mesures de brillant

Le brillant spéculaire a été mesuré conformément à la norme EN ISO 2813⁷ à l'aide d'un brillancemètre à un angle de lumière incidente de 60°. Pour les éprouvettes exposées en vieillissement artificiel, quatre mesures ont été effectuées sur chacune des trois répliques pour chaque temps d'exposition. Pour les éprouvettes exposées en vieillissement naturel, six mesures ont été effectuées sur chacune des trois répliques pour chaque temps d'exposition. Pour chaque revêtement et chaque temps d'exposition, la brillance moyenne a été calculée ainsi que la rétention de la brillance comme suit :

$$\text{rétention de brillant} = 100 \times \text{brillant mesuré après exposition} / \text{brillant avant vieillissement}$$

3.7 Mesure de dureté Persoz

La dureté Persoz a été mesurée à l'aide du pendule de Persoz mis en oscillation sur le revêtement à tester. Le temps d'amortissement du pendule définit la dureté dite de Persoz, exprimée en secondes. Plus le temps d'amortissement est long, plus le revêtement est dur. Selon la norme EN ISO 1522⁸, la mesure de la dureté de Persoz s'effectue sur les revêtements appliqués sur des plaques de verre. Cependant, la formation du film des revêtements peut être différente sur le bois par rapport au verre, car certaines substances extractibles du bois peuvent influencer la formation du film^{9, 10}. Malassenet *et al.* 2015¹¹ ont montré que la mesure de la dureté Persoz des revêtements filmogènes appliqués sur des échantillons de bois était pertinente et n'était pas influencée par les substrats en bois. En outre, la mesure de la dureté directement sur les échantillons de bois permet d'étudier les variations de dureté lorsque ces échantillons de bois revêtus ont été exposés au vieillissement. Dans cette étude, la dureté Persoz a été mesurée après un conditionnement des éprouvettes durant 2 semaines à (20±2)°C et (65±5) % d'humidité relative.

La dureté initiale moyenne repose sur 50 mesures, réalisées sur les éprouvettes témoins du vieillissement naturel (éprouvettes non vieilles). Pour le vieillissement artificiel, les moyennes de dureté Persoz de chaque système de finition et à chaque temps d'exposition reposent sur 15 valeurs (5 mesures x 3 éprouvettes exposées). Pour le vieillissement naturel, les moyennes de dureté Persoz de chaque système de finition et à chaque temps d'exposition reposent sur 10 valeurs mesurées sur une éprouvette.

3.8 Champignons de bleuissement

Le développement de champignons de bleuissement a été évalué par les mycologues de FCBA. Les éprouvettes sont retirées des racks de vieillissement et la cotation s'effectue en laboratoire. On relève la surface colonisée par les champignons de bleuissement et l'intensité du développement. Ces deux paramètres sont quantifiés selon les échelles de cotation fournies par la norme NF EN 16492¹² et reportées dans le Tableau 5 pour la surface colonisée et le Tableau 6 pour l'intensité du développement.

Rating	Percentage area of disfigurements
0	no growth on the surface of the specimen
1	up to 10 % growth on the surface of the specimen
2	more than 10 % up to 30 % growth on the surface of the specimen
3	more than 30 % up to 50 % growth on the surface of the specimen
4	more than 50 % up to 100 % growth on the surface of the specimen

Tableau 5: Cotation du pourcentage de surface affectée par les champignons de bleuissement

Rating	Intensity of visible growth
0	unchanged, i.e. no visible growth
1	very slight, i.e. just visible growth
2	slight, i.e. clearly visible growth
3	moderate, i.e. very clearly visible growth
4	considerable, i.e. pronounced visible growth
5	very marked visible growth

Tableau 6 : Cotation de l'intensité du développement de champignons de bleuissement

3.9 Essai de traction

Des films libres de finition ont été préparés conformément à la norme EN 927-14¹³. Pour cela le topcoat de chaque système a été appliqué sur des plaques de polyéthylène dans des conditions climatiques standard (20°C ± 2°C et 65%HR ± 5%) et séché durant deux semaines. Pour chaque finition, 10 éprouvettes de forme rectangulaire (80*15 mm*épaisseur du film) sont prélevées de ces films et conditionnées à (20 ± 2) °C et (65 ± 5) % d'humidité relative pendant deux semaines supplémentaires avant d'être testées en traction.

Des films supplémentaires ont été préparés et mis à vieillir dans l'enceinte de vieillissement artificiel QUV pour une durée de trois semaines.

Les essais de traction ont été effectués dans des conditions climatiques standard (20°C , 65%HR) avec une vitesse de déplacement traverse de 10 mm/min.

Au cours de l'essai, la force est augmentée pour provoquer la déformation jusqu'au point de rupture. Un capteur de force détecte la charge entre 100 N et 1000 N. Le changement de direction longitudinale est mesuré par le déplacement de la traverse. Les valeurs de la force et du déplacement conduisent ensuite à des courbes de contrainte-déformation, qui indiquent la performance du film de revêtement sous une charge de traction.

La résistance à la traction σ_{max} est la contrainte de traction à la force maximale subie par l'éprouvette pendant un essai de traction en MPa (ou en N/mm²).

$$\sigma_{max} = \frac{F_{max}}{S}$$

Dans cette formule S est la section du film (épaisseur x largeur).

La déformation à la force de rupture (également dénommé allongement à la rupture) est la différence de longueur de l'éprouvette entre la charge initiale et la charge maximale divisée par la longueur initiale ramenée en pourcentage.

$$\frac{\Delta L}{L} [en \%] = \frac{L_{CR} - L_C}{l_c} * 100$$

LCR est la longueur de serrage de l'échantillon entre les pinces à la rupture en millimètres.

Lc est la longueur de la barre en millimètres. (50 mm).

Le module d'élasticité en traction (E_T en MPa), également appelé module d'élasticité ou module de Young, est une mesure de la résistance d'un matériau à la déformation élastique lorsqu'une force lui est appliquée. Il est défini comme la pente de la courbe contrainte-déformation dans la zone de déformation élastique mais il peut être déterminé en utilisant les données obtenues à partir du tracé de l'essai de traction du graphique force / déformation.

$$E_T = \frac{L_0 * (F_2 - F_1)}{b * h * (w_2 - w_1)}$$

Le module d'élasticité en traction E_T est calculé à partir de l'expression suivante :

- $(F_2 - F_1)$ est un incrément de charge en Newton sur la ligne de régression avec un coefficient de corrélation de 0,90 ou mieux.
- $(w_2 - w_1)$ est l'incrément de déformation en millimètres correspondant à $(F_2 - F_1)$.

4 Résultats

4.1 Dureté Persoz avant vieillissement

La dureté Persoz initiale des éprouvettes avant leur exposition au vieillissement a été réalisées sur les éprouvettes témoins, stabilisées dans une pièce climatisée à $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ et $(65 \pm 5)\% \text{ RH}$. Chaque finition a fait l'objet de 50 mesures de dureté. Les résultats sont consignés dans la Figure 4. Cette figure montre que les systèmes 1, 4 et 9 sont ceux qui présentent les duretés moyennes les plus élevées avant toute épreuve de vieillissement, et se situant au-delà de 70 secondes, limite suggérée

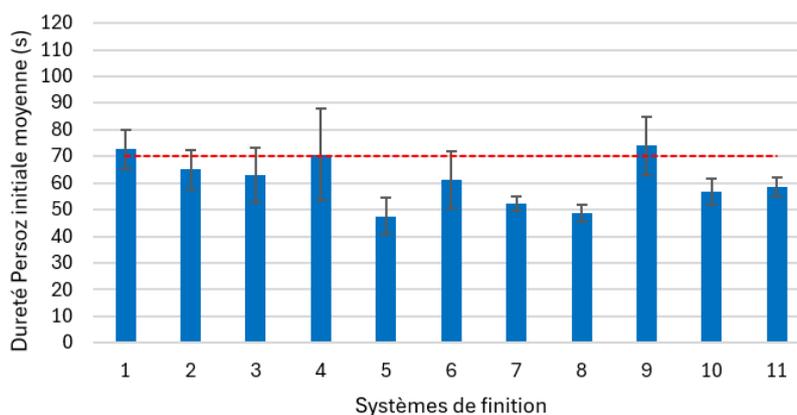


Figure 4: Dureté Persoz des éprouvettes avant exposition au vieillissement

L'observation du maximum de la dureté Persoz avant toute épreuve de vieillissement (Figure 5) montre que les systèmes 5, 7, 8, 10 et 11 ont des valeurs inférieures à la limite de 70 secondes suggérée. Le système 9 se distingue par son maximum approchant les 120 secondes.

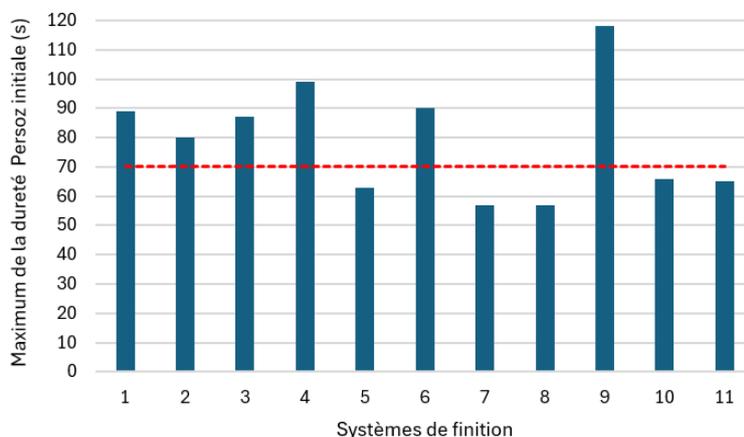


Figure 5: Maximum de la dureté Persoz initiale pour les 11 systèmes de finition

4.2 Résultats de vieillissement artificiel

4.2.1 Craquelage

La Figure 6 montre que l'œil note du craquelage pour les systèmes 3, 4 et 5. Il n'en voit pas pour les systèmes 1, 2, 6, 7, 8, 9, 10, 11.

Il n'y a pas de critère associé à l'essai de vieillissement artificiel. Cependant sur le critère craquelage, toutes les finitions ont un craquelage moyen inférieur à la limite de 0,7. Cette limite est celle qui est exigée pour les systèmes de finition pour menuiserie après un essai de vieillissement naturel d'une durée de 12 mois.

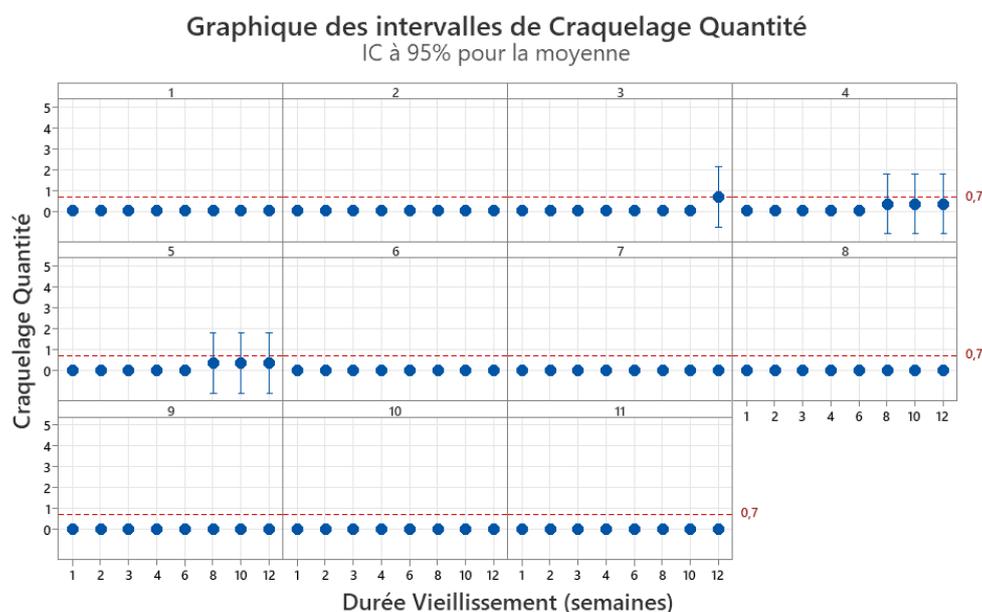


Figure 6: Cotations de quantité de craquelage des systèmes de finition en fonction de la durée de vieillissement artificiel

Le fait que le système 9 présente des changements de brillant notables à l'œil (et confirmé par la mesure, cf § 4.2.3) alerte sur le fait que la surface a subi des changements notables. De ce fait, quelques observations complémentaires ont été réalisées à l'aide d'une loupe binoculaire. Elles montrent que des systèmes comportent du craquelage mais que celui-ci n'a pas été décelé par l'œil nu. C'est le cas par exemple du système 1 (Figure 7) et du système 9 (Figure 8).



Figure 7 : Système 1 - craquelage observé à la loupe binoculaire (X6,3)



Figure 8 : Système 9 - craquelage observé à la loupe binoculaire (X25)

4.2.2 Aspect général

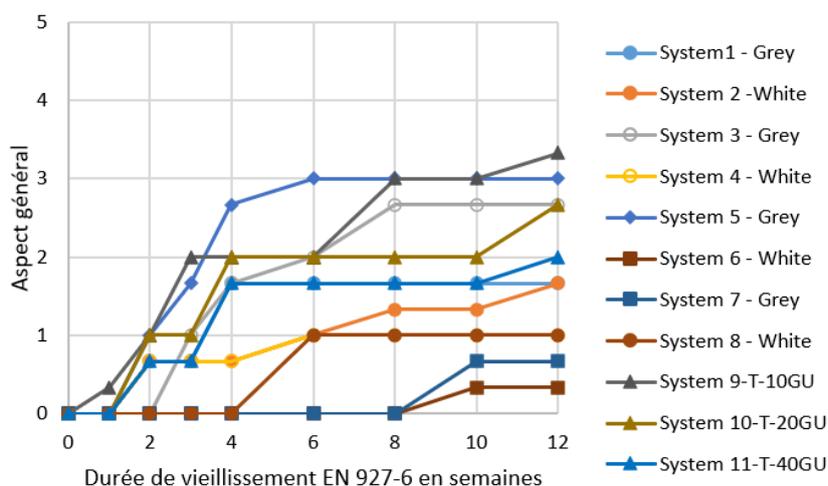


Figure 9: Variation de l'aspect général des systèmes de finition en fonction de la durée de vieillissement artificiel

La cotation de l'aspect général est supérieure pour les systèmes gris par rapport à leurs homologues blancs. C'est le système 9 qui présente la cotation la plus grande (cotation 3).

4.2.3 Variations de brillant

La brillance d'une surface dépend de sa rugosité. Plus la rugosité de la surface du bois revêtu est faible, plus la lumière est réfléchiée et plus la brillance est élevée. Au contraire, si la surface du bois revêtu présente des dommages - par exemple des fissures dues au vieillissement - elle induit une réflexion diffuse de la lumière. Cela réduit la quantité de lumière réfléchiée, ce qui entraîne une diminution de la brillance.

Dans les figures suivantes, les résultats sont d'abord exprimés en variation de brillant en fonction du temps de vieillissement (Figure 10 à Figure 15). On présente ensuite les variations de la rétention de brillant en fonction du temps de vieillissement (Figure 16 à Figure 21).

On observe des niveaux de brillant très différents selon les systèmes. Le système 2 (blanc) est celui qui présente le brillant initial le plus élevé (39 UB), tandis que le système 3 (gris) est celui qui présente le brillant initial le plus

bas (7 UB). On constate que les systèmes 9, 10, 11 ont des brillants moyens de 12, 20, 28 UB contre 10, 20 et 40 UB attendus selon le cahier des charges qui avait été fourni au formulateur.

La Figure 16 montre que les systèmes 3, 5 et 9 avaient la rétention de la brillance la plus faible, ce qui indique la présence de nombreux défauts que l'œil nu n'avait parfois pas vus (cas du système 9). En revanche, le système 4 présentait du craquelage (Figure 6), bien que le brillancemètre n'a pas montré de variation significative. Ceci s'explique par le fait que le craquelage a été trouvé dans des zones non couvertes par le protocole de mesure du brillant. Cette constatation plaide en faveur d'une multiplication du nombre de points de mesure de brillance afin de mieux couvrir la surface exposée aux intempéries.

En termes de rétention de brillant (Figure 16), les systèmes 1, 2, 3, 5, 9 et 10 passent sous la limite de 50% et les systèmes 7, 8 et 11 sont au-dessus. Dans cette figure, la rétention de brillant du système 4 apparaît supérieure à 50% mais avec une couverture plus large de mesure (incluant les zones craquelées de la périphérie), la résultante aurait certainement été inférieure ou proche de 50%.

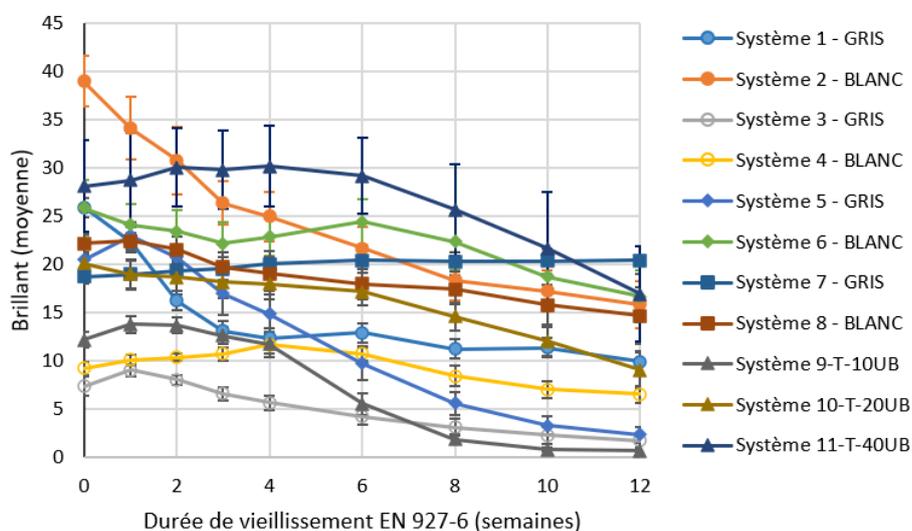


Figure 10: Variation de brillant des systèmes de finition en fonction de la durée de vieillissement artificiel

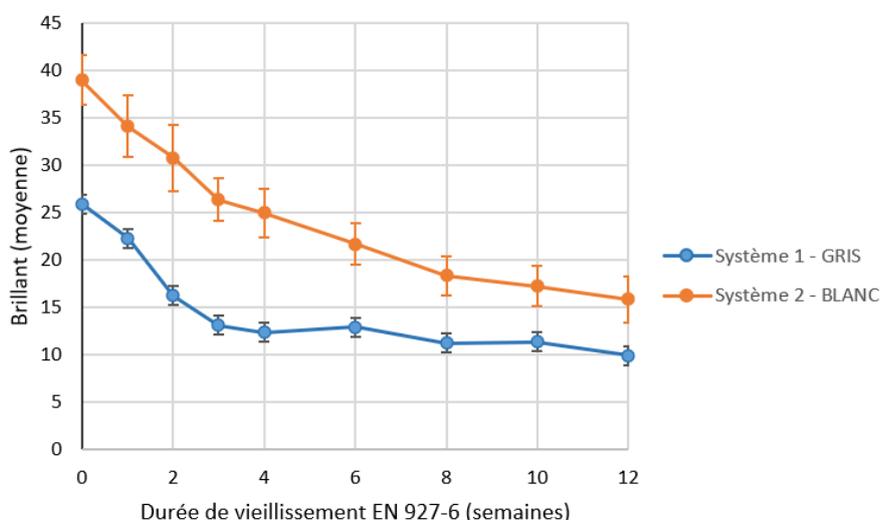


Figure 11: Variation de brillant des systèmes de finition 1 et 2 en fonction de la durée de vieillissement artificiel

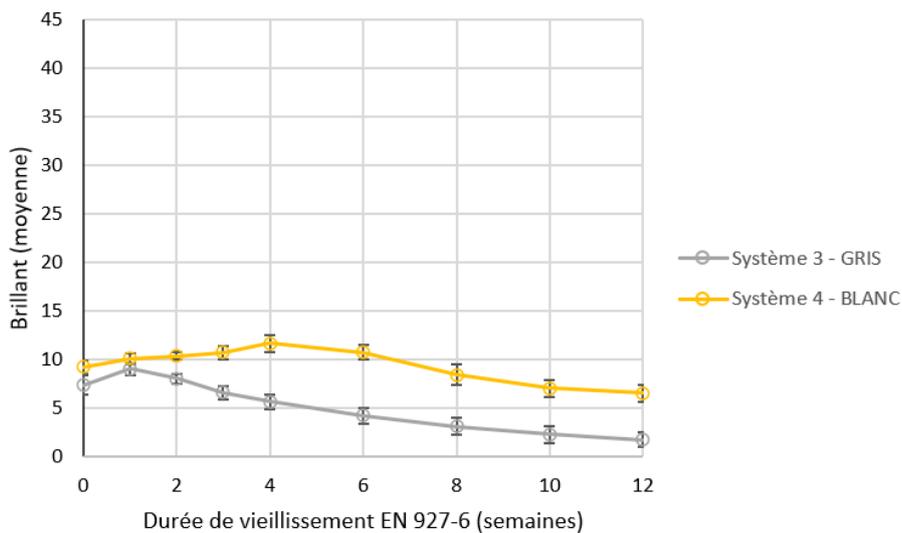


Figure 12: Variation de brillant des systèmes de finition 3 et 4 en fonction de la durée de vieillissement artificiel

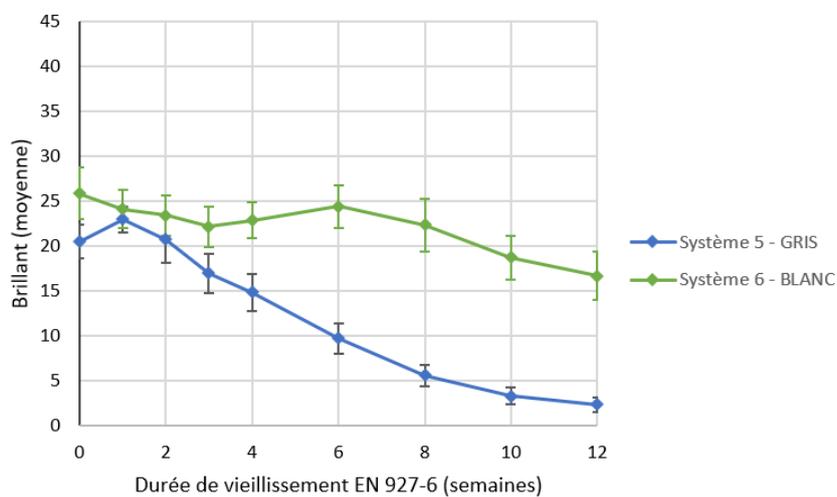


Figure 13: Variation de brillant des systèmes de finition 5 et 6 en fonction de la durée de vieillissement artificiel

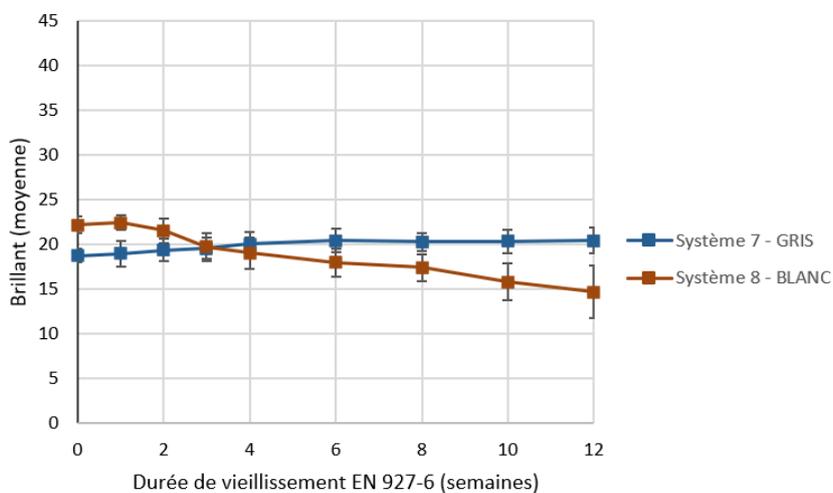


Figure 14: Variation de brillant des systèmes de finition 7 et 8 en fonction de la durée de vieillissement artificiel

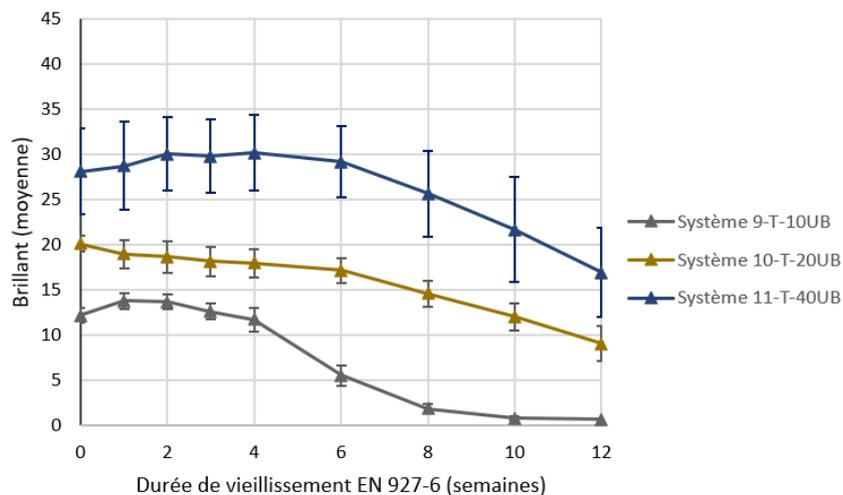


Figure 15: Variation de brillant des systèmes de finition 9, 10 et 11 en fonction de la durée de vieillissement artificiel

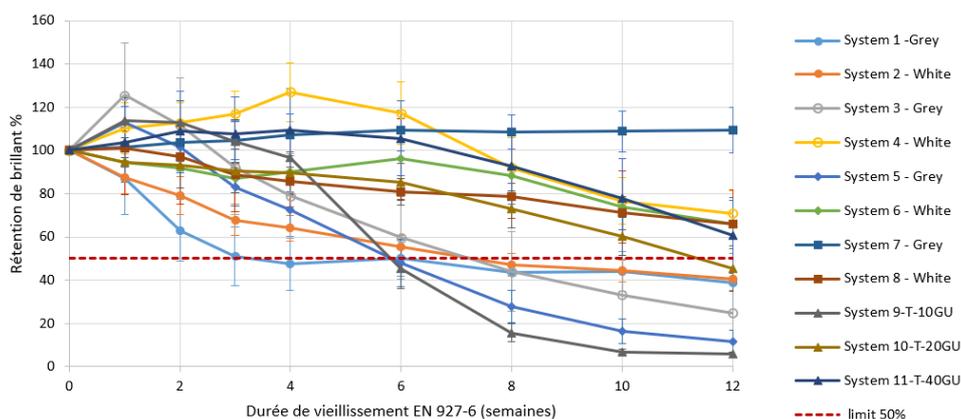


Figure 16: Variation de la rétention de brillant des systèmes de finition en fonction de la durée de vieillissement artificiel

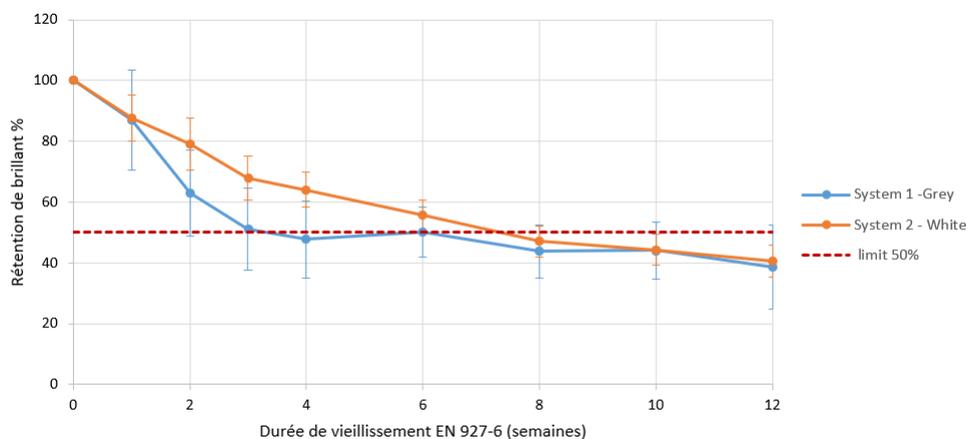


Figure 17: Variation de la rétention de brillant des systèmes de finition 1 et 2 en fonction de la durée de vieillissement artificiel

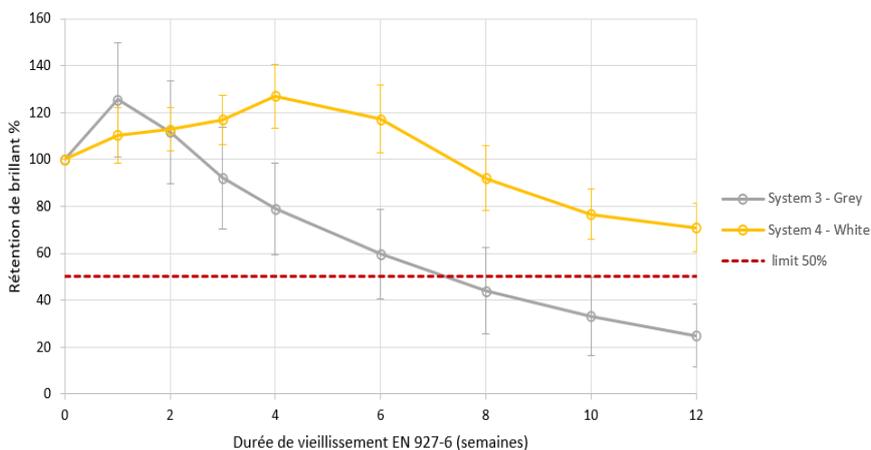


Figure 18: Variation de la rétention de brillant des systèmes de finition 3 et 4 en fonction de la durée de vieillissement artificiel

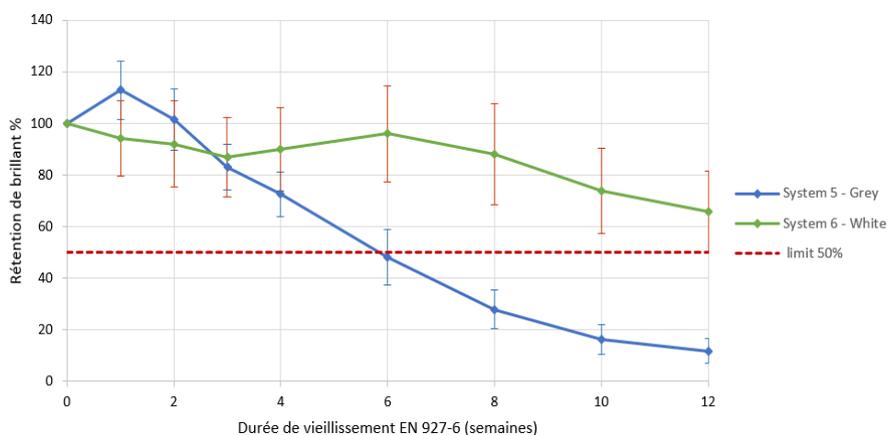
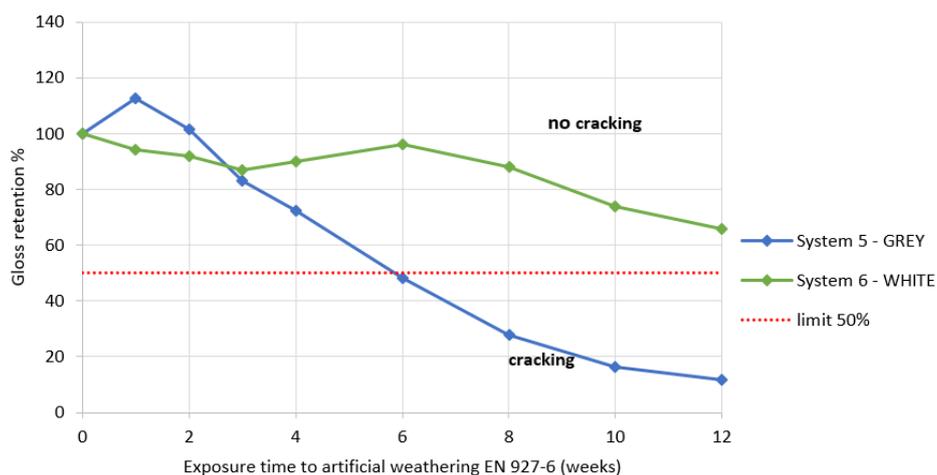


Figure 19: Variation de la rétention de brillant des systèmes de finition 5 et 6 en fonction de la durée de vieillissement artificiel

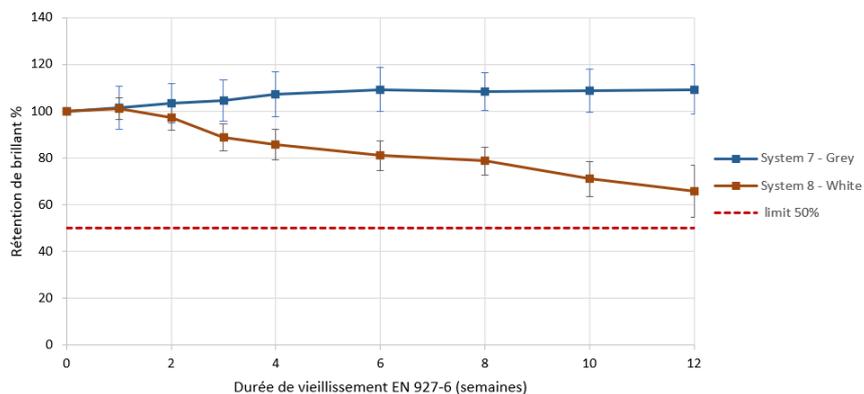


Figure 20: Variation de la rétention de brillant des systèmes de finition 7 et 8 en fonction de la durée de vieillissement artificiel

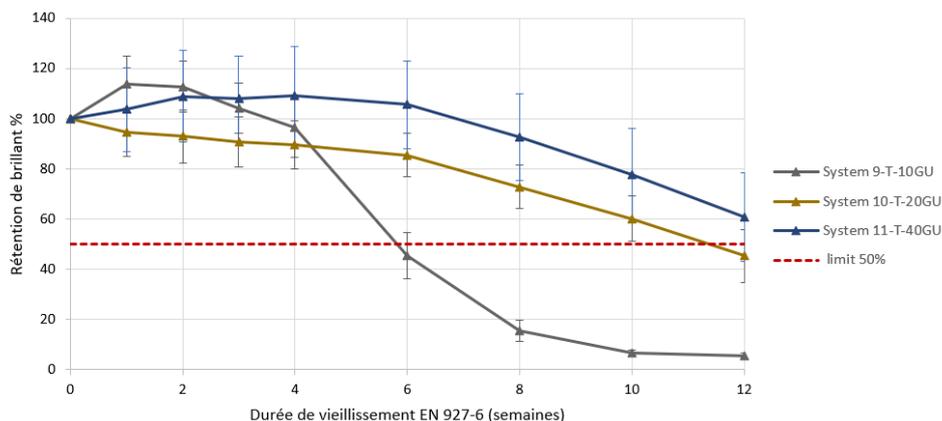
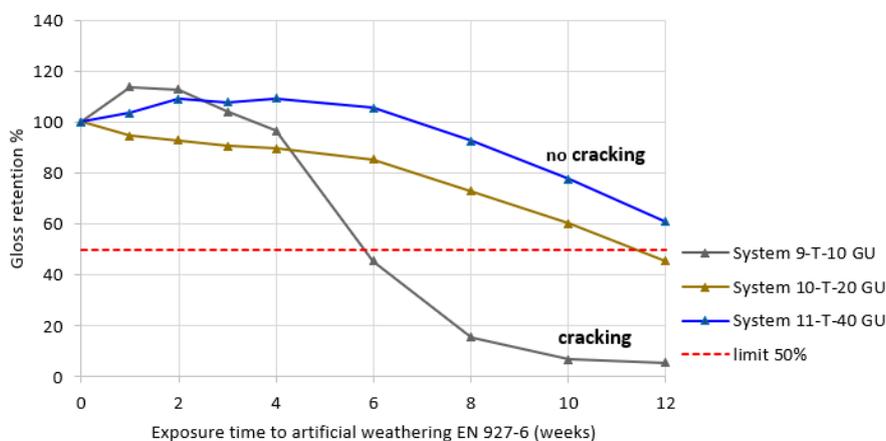


Figure 21: Variation de la rétention de brillant des systèmes de finition 9, 10 et 11 en fonction de la durée de vieillissement artificiel

4.2.4 Variations de couleur

Les variations de l'écart total de couleur ΔE sont reportées pour tous les systèmes dans la Figure 22 et la Figure 23 fait un focus sur les systèmes opaques. Ces figures montrent que l'exposition au vieillissement artificiel conduit à des changements de couleur peu perceptibles à l'œil pour les systèmes opaques ($\Delta E < 3$) tandis que des systèmes semi-transparents présentent des variations de couleur plus marquées.

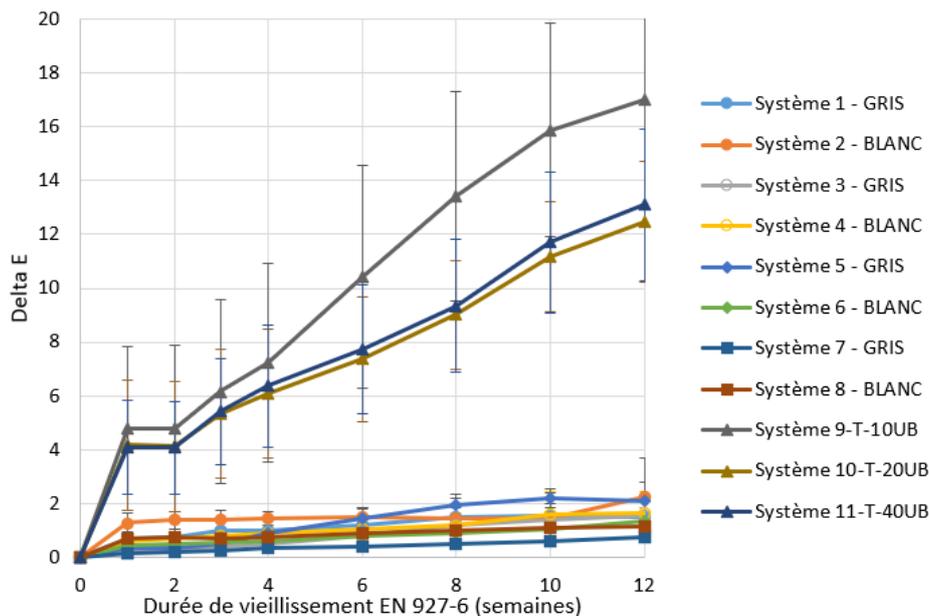


Figure 22: Variation de l'écart total de couleur des systèmes de finition en fonction de la durée de vieillissement artificiel

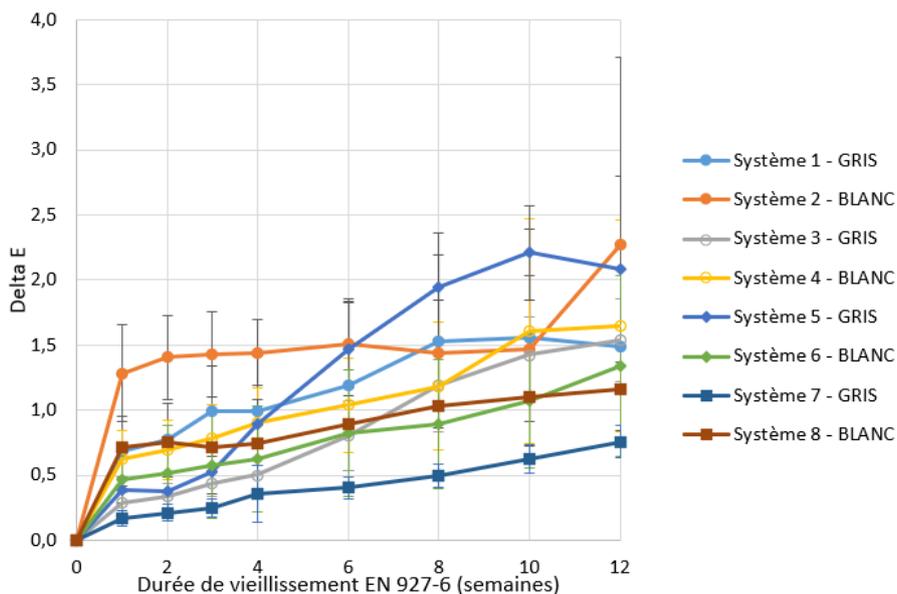


Figure 23: Variation de l'écart total de couleur des systèmes de finition opaques (1 à 8) en fonction de la durée de vieillissement artificiel

L'influence du vieillissement sur les variations de la luminance L^* , de la chroma a^* et de la chroma b^* est reportée respectivement dans la Figure 24, Figure 25, et Figure 26. Ces trois figures montrent que :

- pour les systèmes opaques, les changements de couleur sont principalement dus à des variations de la luminance L^* : les systèmes gris s'éclaircissent tandis que les systèmes blancs s'assombrissent. Les variations des chromas a^* et b^* sont très faibles ;
- pour les trois systèmes semi-transparents, les changements de couleur proviennent de variations de la luminance L^* (les systèmes s'assombrissent) et de la chroma b^* (la couleur se déplace vers le bleu). Les variations sont plus marquées pour le système le moins brillant (système 9).

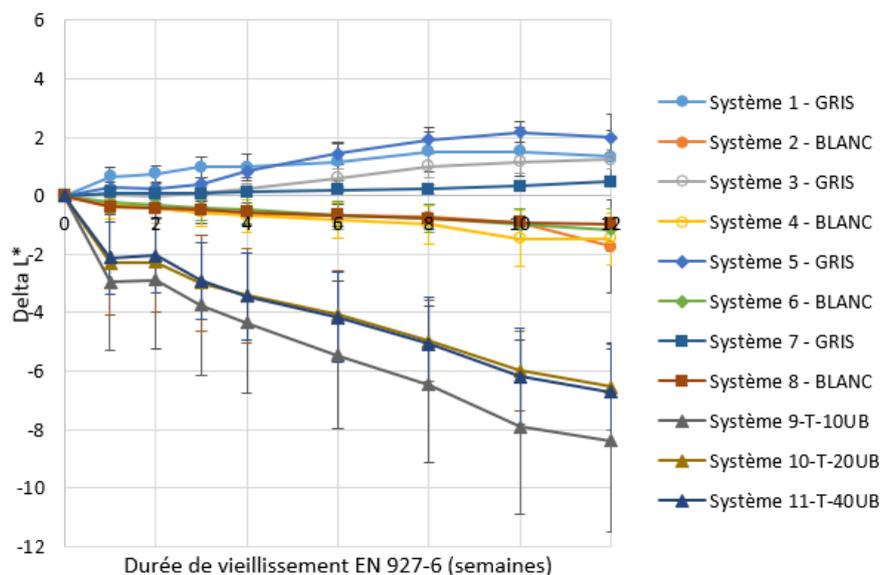


Figure 24: Variation de l'écart de luminance delta L* des systèmes de finition en fonction de la durée de vieillissement artificiel

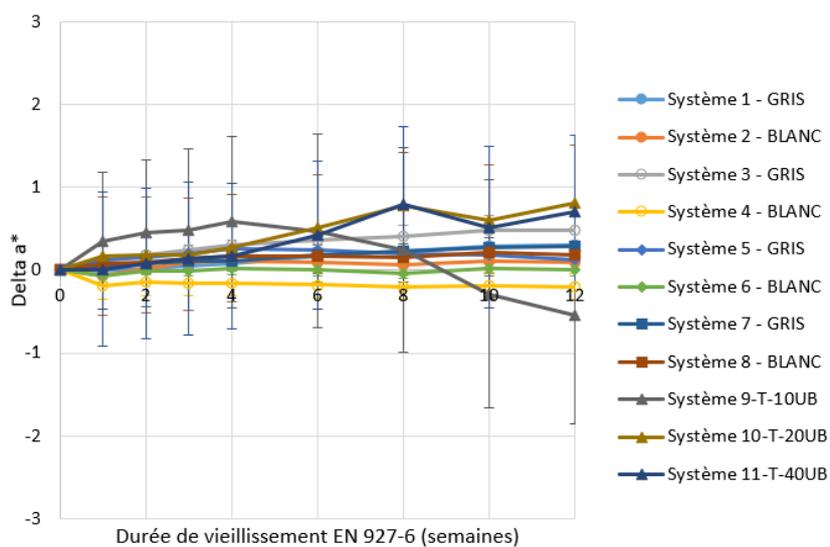


Figure 25: Variation de l'écart de chroma delta a* des systèmes de finition en fonction de la durée de vieillissement artificiel

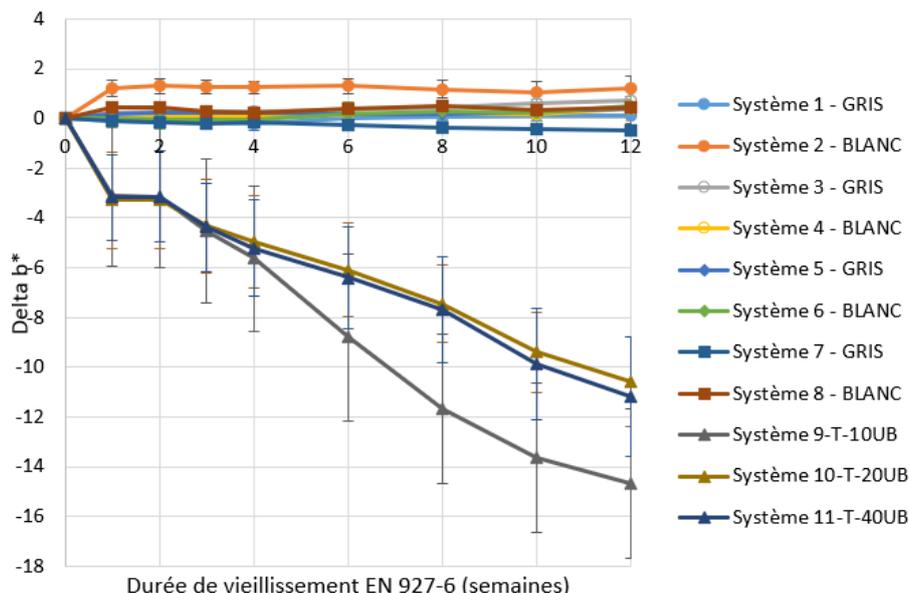


Figure 26: Variation de l'écart de chroma delta b* des systèmes de finition en fonction de la durée de vieillissement artificiel

4.2.5 Variations de dureté Persoz

Les variations de la dureté Persoz au cours de l'exposition aux intempéries artificielles sont présentées dans la Figure 27. Dans l'ensemble, la dureté Persoz était inférieure à la limite de 100 secondes suggérée comme point de départ du craquelage, à l'exception des systèmes 7 et 10 dont la dureté Persoz moyenne dépassait 100 secondes à 10 semaines de vieillissement (113 et 104 secondes respectivement). Les variations de dureté ont montré une cinétique différente en fonction du système de finition.

Le système 1 (Figure 28) a montré une diminution de la dureté entre les semaines 1 et 2. Ceci suggère une possible augmentation plus significative entre 1 et 2 semaines. Le système 2 a également montré une diminution, mais entre les semaines 0 et 1.

Les systèmes 3 et 4 (Figure 29) ont montré une tendance générale à l'augmentation de la dureté au cours des premières semaines, suivie d'une diminution après la 4ème semaine.

La dureté Persoz moyenne des systèmes 5 et 6 a augmenté progressivement au cours des 12 semaines (Figure 30).

La dureté des systèmes 7 et 8 a également augmenté progressivement (Figure 31). Le système 7 s'est approché des 100 secondes à partir de la 4ème semaine et a dépassé les 100 secondes à partir de la 10ème semaine (113 secondes). La dureté Persoz moyenne du système 8 a approché les 100 secondes à 10 semaines de vieillissement et a présenté une baisse entre 10 et 12 semaines, ce qui indique des changements à la surface des films.

Pour les trois systèmes 9, 10 et 11 pour lesquels nous avons fait varier le niveau de brillance, le système le moins brillant (système 9, 10 UB) a présenté la dureté la plus élevée dans le temps, tandis que le système le plus brillant (système 11, 40 UB) a montré la dureté la plus faible (Figure 32). Les systèmes 9 et 10 ont présenté une baisse significative de la dureté entre 10 et 12 semaines, indiquant des changements à la surface des films, tandis que la dureté Persoz du système 11 a augmenté progressivement au cours des 12 semaines et s'approche des 100 secondes en fin d'exposition compte tenu du large écart type observé autour de la moyenne de 92 secondes.

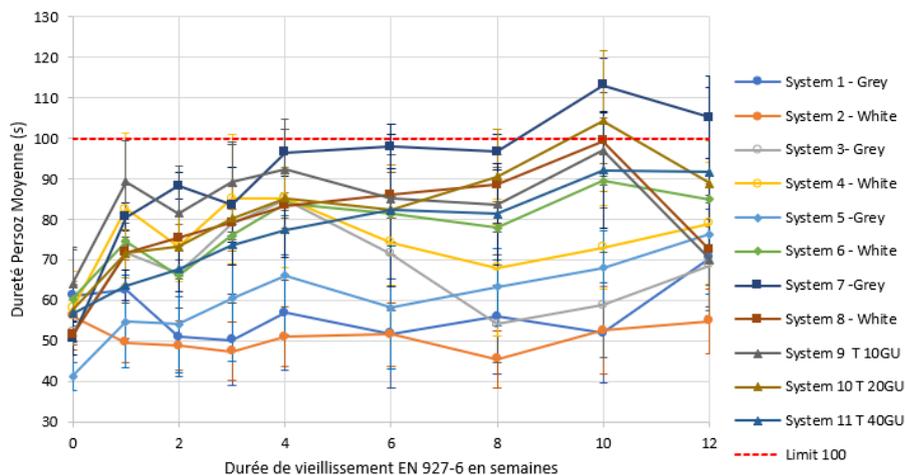


Figure 27: Variation de la dureté Persoz des systèmes de finition en fonction de la durée de vieillissement artificiel

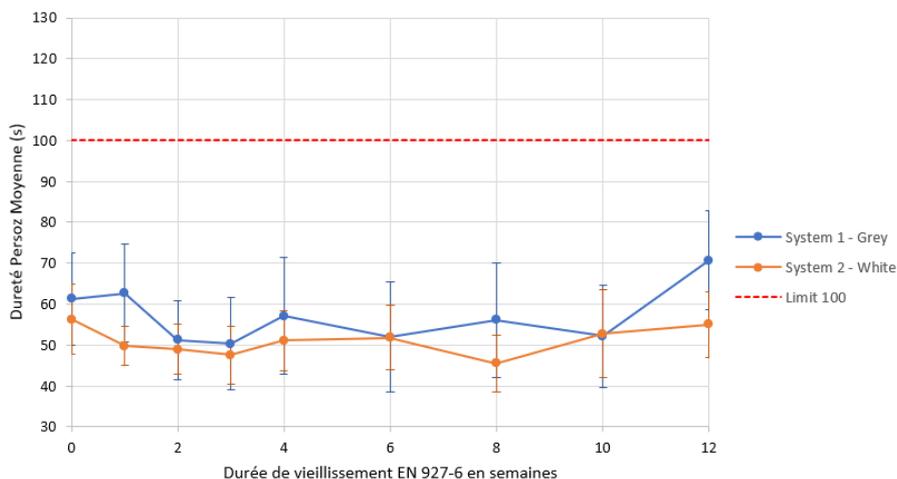


Figure 28: Variation de la dureté Persoz des systèmes de finition 1 et 2 en fonction de la durée de vieillissement artificiel

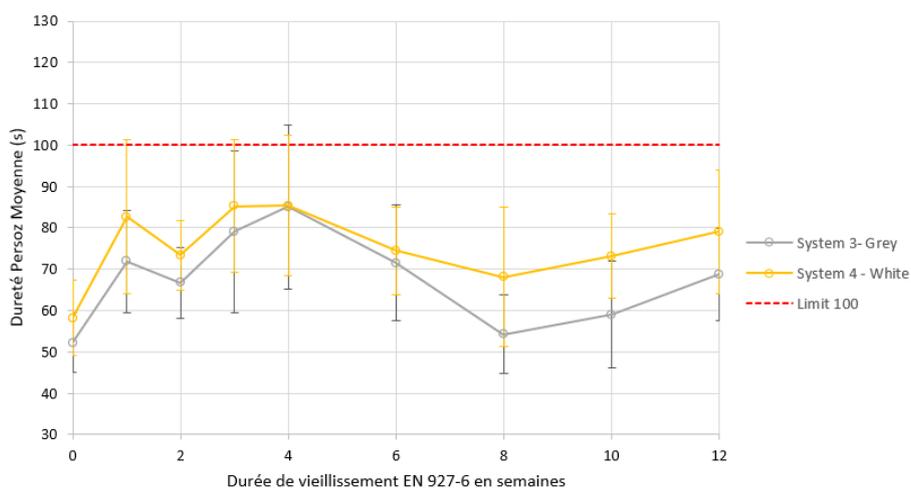


Figure 29: Variation de la dureté Persoz des systèmes de finition 3 et 4 en fonction de la durée de vieillissement artificiel

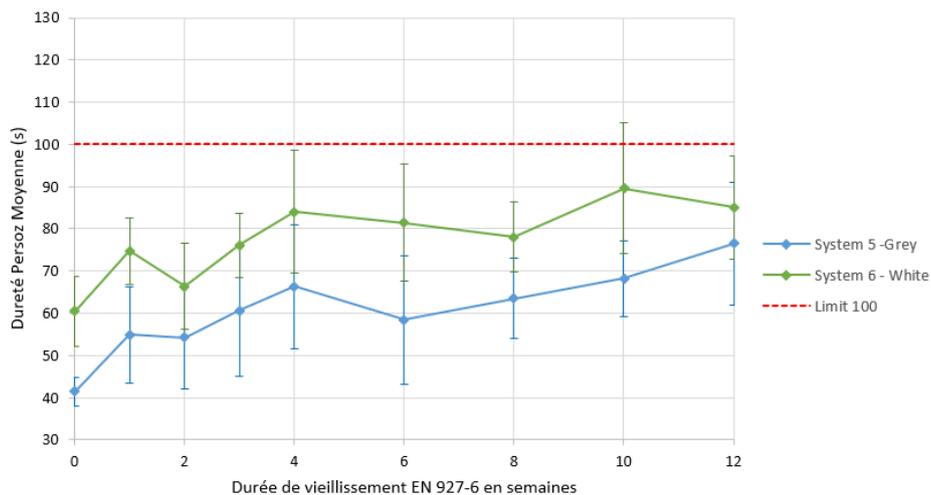


Figure 30: Variation de la dureté Persoz des systèmes de finition 5 et 6 en fonction de la durée de vieillissement artificiel

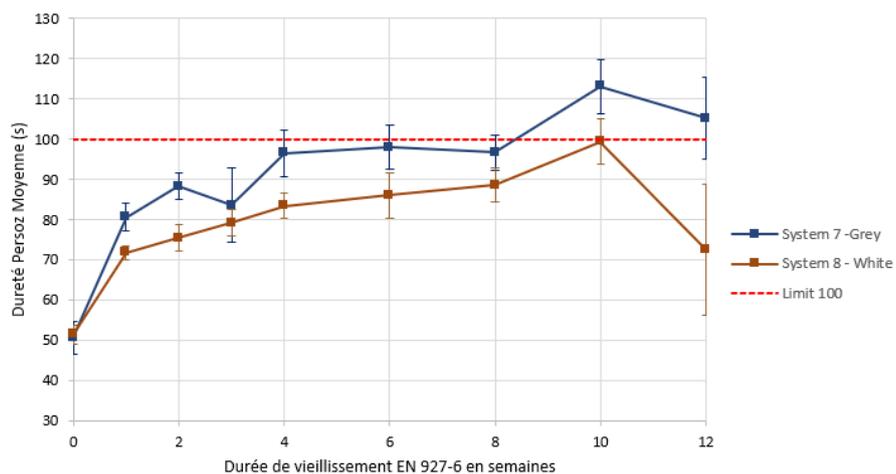


Figure 31: Variation de la dureté Persoz des systèmes de finition 7 et 8 en fonction de la durée de vieillissement artificiel

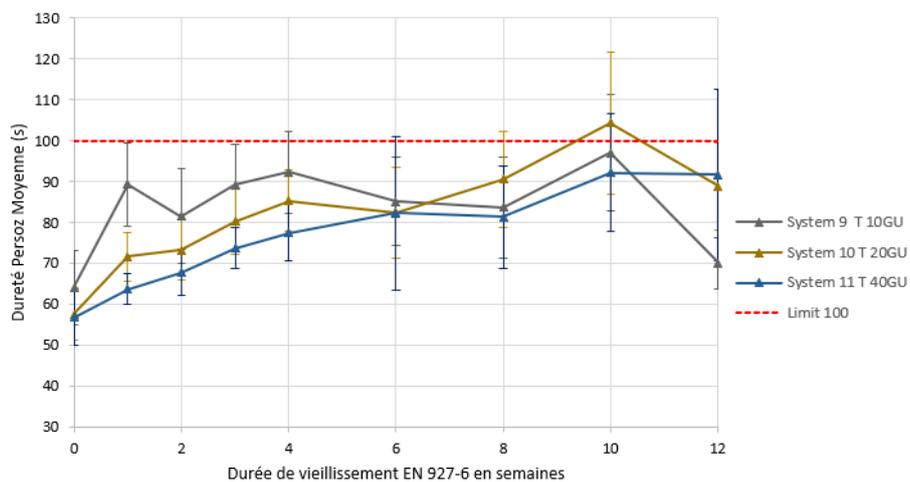


Figure 32: Variation de la dureté Persoz des systèmes de finition 9, 10 et 11 en fonction de la durée de vieillissement artificiel

L'analyse des variations du maximum de dureté de Persoz fournit des informations supplémentaires (Figure 33). Le système 4 présentait la dureté maximale la plus élevée (127 secondes) dès la première semaine de vieillissement. Le système 9 a également atteint une dureté maximale de 105 secondes au cours de la première semaine. Le maximum des systèmes 3 et 5 a dépassé 100 secondes (126 et 103 secondes respectivement) dès la troisième semaine. Le système 1 ne semblait pas avoir un maximum dépassant 100 secondes, mais il avait le maximum initial le plus élevé (86 secondes) et la chute de son maximum entre 1 et 2 semaines indiquait des changements probables à la surface du film.

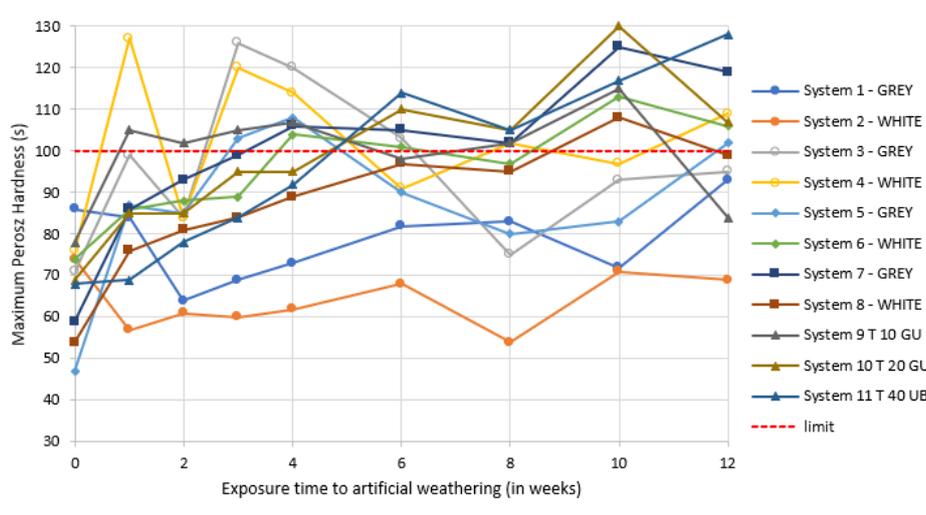


Figure 33: Variation du maximum de la dureté Persoz des systèmes de finition en fonction de la durée de vieillissement artificiel

4.3 Résultat de vieillissement naturel

4.3.1 Craquelage

La Figure 34 rassemble résultats de craquelage observé visuellement en fonction du temps de vieillissement. Selon les relevés faits à l'œil, les systèmes 5, 6, 7, 9, 10 et 11 ne présentent pas de craquelage, tandis que les systèmes 1, 2, 3, 4 et 8 en présentent. Les systèmes 1, 3, 4 et 8 dépassent le seuil limite de 0,7 issu de la norme de spécifications de performances. Le système 1 est celui qui développe le craquelage le plus élevé (craquelage 2) ; En comparaison, le même système pigmenté en blanc présente un craquelage plus faible (craquelage moyen 0,7).

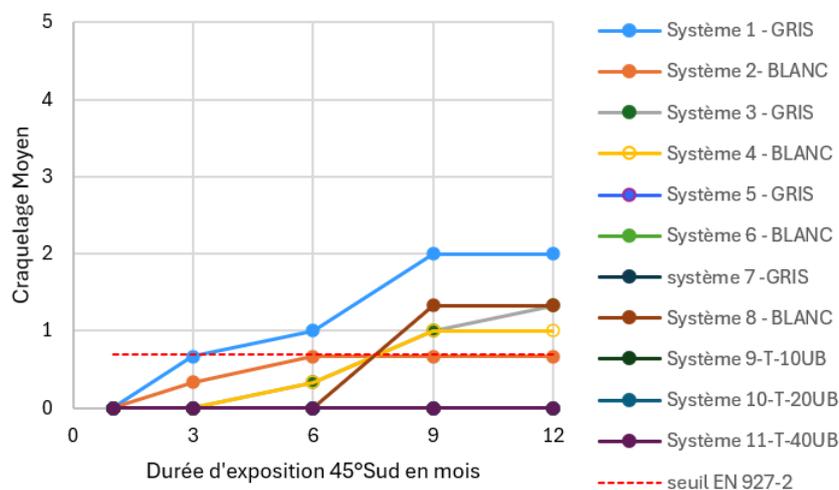


Figure 34: Développement de craquelage en fonction du temps de vieillissement naturel

4.3.2 Adhérence

La Figure 35 rassemble les résultats d'adhérence évalués après exposition de 12 mois au vieillissement naturel. Bien qu'elle ne soit pas demandée dans la norme NF EN 927-2 (spécifications de performance), nous avons également procédé à la mesure d'adhérence avant vieillissement sur les éprouvettes témoins non exposées.

Les résultats montrent que toutes les adhérences après vieillissement sont inférieures ou égales à la limite de 1 (seuil limite de NF EN 927-2). Les systèmes 2, 3, 4, 5 et 6 sont ceux pour lesquelles la cotation est égale à la limite de spécification (cotation 1).

Les systèmes 8 et 10 ont une bonne adhérence (cotation 0) avant et après 12 mois de vieillissement. Les systèmes 3 (gris) et 4 (blanc) ont la moins bonne adhérence initiale (cotation 1) mais qui ne semble pas dégradée par un an de vieillissement naturel.

La figure montre que le vieillissement dégrade l'adhérence de certains systèmes : c'est le cas des systèmes 1, 2, 5, 6, 7, 9, 11.

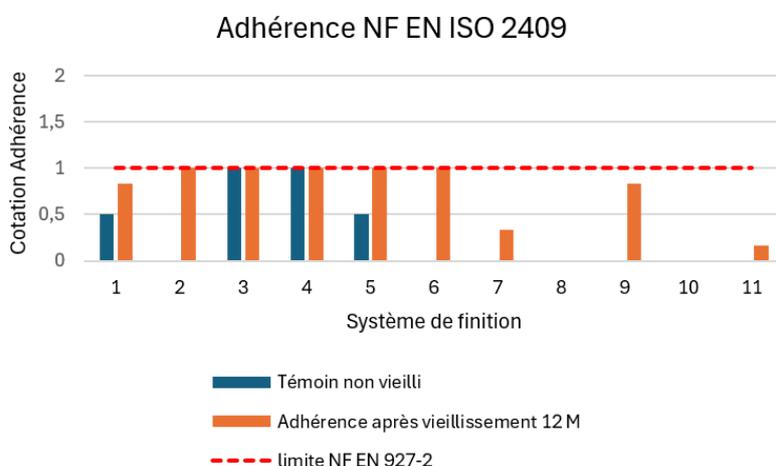


Figure 35: Adhérence des différents systèmes avant et après 12 mois de vieillissement naturel

4.3.3 Conformité des systèmes aux exigences de NF EN 927-2

Sur la base des critères actuels de craquelage et adhérence de NF EN 927-2 relevés après 1 an de vieillissement naturel, les systèmes de finition conformes aux exigences actuelles sont les systèmes 2, 5, 6, 7, 9, 10, 11.

Les analyses des prochains résultats (aspect général, variation de brillant, dureté, champignons de bleuissement, etc.) modulent permettent d'affiner les performances.

4.3.4 Aspect général

L'aspect général des éprouvettes (après lavage) après vieillissement est reporté dans la Figure 36. Le système 4 (blanc) et le système 9 (semi-transparent) sont les deux systèmes qui ont la cotation d'aspect général la plus haute (moyenne 4). Cela reflète des changements importants à la surface des éprouvettes. Le système dont l'aspect est le moins affecté par le vieillissement (cotation 1) est le système 7 (gris).

Alors que les systèmes gris présentaient un aspect général moins bon que leurs homologues blancs lors du vieillissement artificiel, on ne retrouve pas cette tendance pour le vieillissement naturel du fait d'un développement de champignons de bleuissement qui contribuent à la cotation d'aspect général.

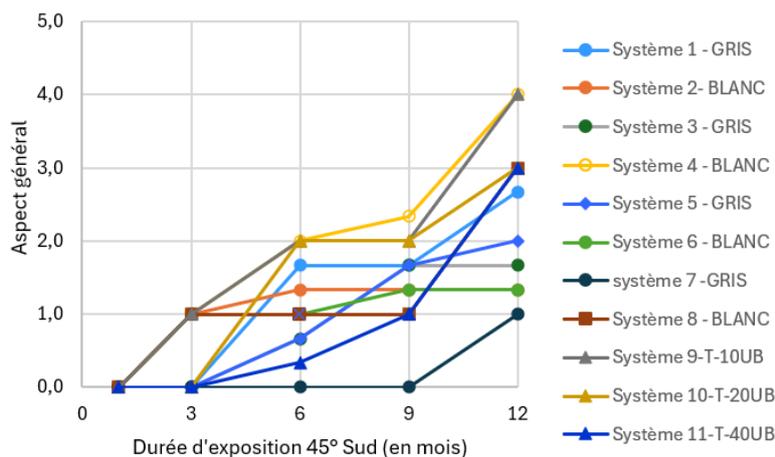


Figure 36 : Aspect général des systèmes de finition en fonction du temps d'exposition au vieillissement naturel

4.3.5 Champignons de bleuissement

La cotation de surface colonisée par les champignons de bleuissement et l'intensité du développement sont reportées dans la Figure 37 et la Figure 38 respectivement.

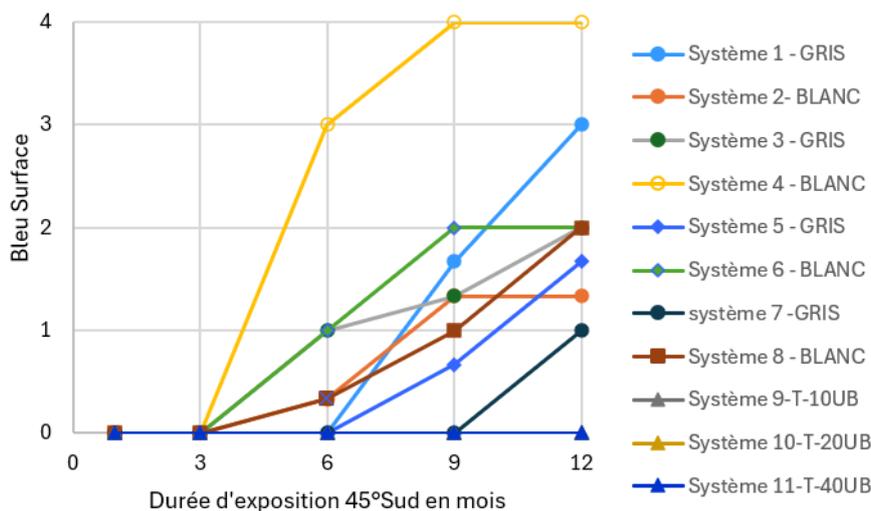


Figure 37: Cotation de la surface colonisée par les champignons de bleuissement

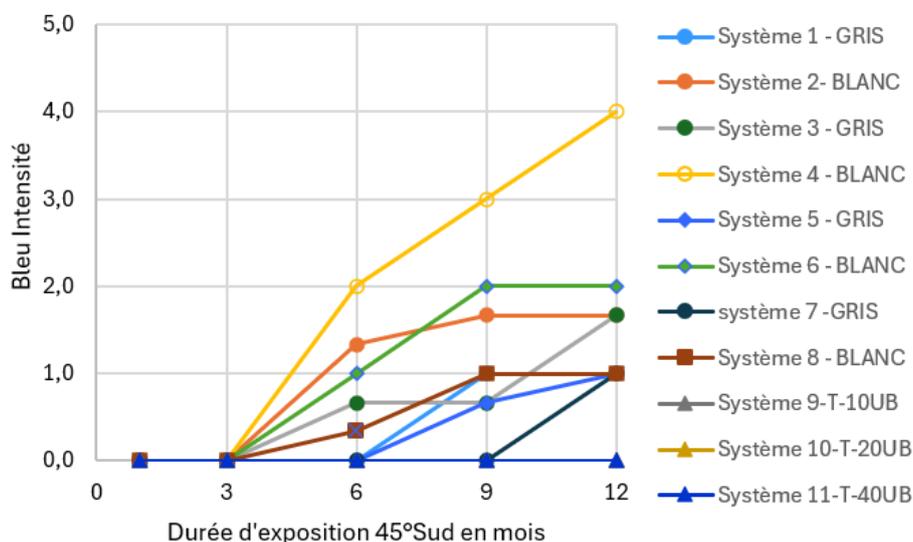


Figure 38: Cotation d'intensité liée à la colonisation de la surface par les champignons de bleuissement

Le système 4 (blanc) se distingue des autres systèmes par le fait que sa surface est rapidement colonisée par les champignons de bleuissement : dès 6 mois d'exposition, la cotation atteint la valeur de 3. Après 9 et 12 mois, la cotation est maximale (cotation 4). Sa cotation d'intensité du développement atteint, elle aussi, une valeur forte (cotation 4) comparativement aux autres systèmes. La Figure 39 permet une visualisation du développement fongique au moyen d'une loupe binoculaire. En comparaison, son homologue teinté gris (système 3) présente nettement moins de champignons (cotation 2 pour la surface ; cotation 1,7 pour l'intensité).

Le système 1 (gris) présente lui aussi une surface colonisée importante (cotation 3), avec une intensité faible (cotation 1) au terme des 12 mois de vieillissement. En comparaison, son homologue teinté en blanc (système 2) présente une surface plus faible (cotation 1,3) et une intensité légèrement plus grande (cotation 1,7). La Figure 40 montre le développement observé sur la surface du système 2 au moyen d'une loupe binoculaire. Cette observation révèle que la surface est perforée en de nombreux endroits, ce qui compromet vraisemblablement la capacité du système de finition à faire barrière à l'eau. Une évaluation de sa perméabilité à l'eau liquide après vieillissement permettrait d'investiguer l'impact des champignons de bleuissement sur les propriétés de barrière à l'eau du système.

A l'exception du système 2, les systèmes blancs présentent une surface colonisée plus grande que leurs homologues gris, et une intensité du développement fongique en général plus grande que sur les surfaces grises.

Selon les cotations visuelles, les systèmes semi-transparents 9, 10 et 11 ne présentent pas de champignons de bleuissement au terme des 12 mois d'exposition.



Figure 39: Champignons de bleuissement à la surface du système 4 (X 10)

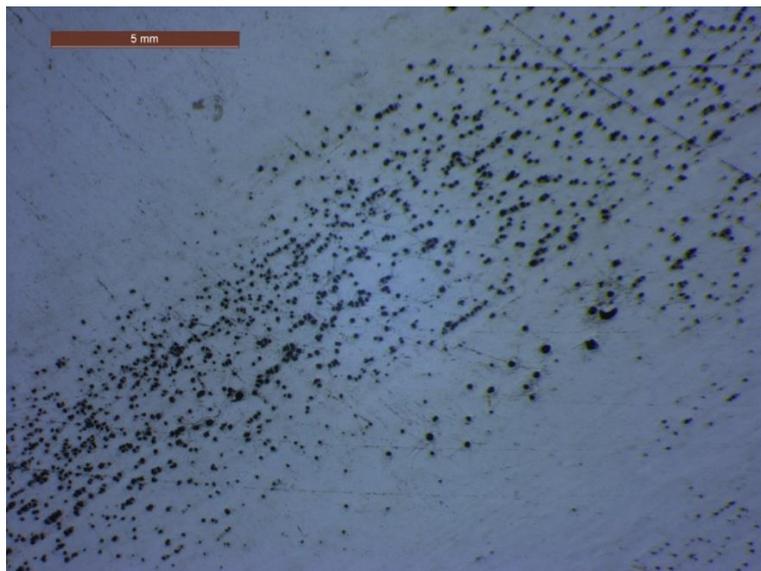


Figure 40: Champignons de bleuissement à la surface du système 2 (X 12,5)

Les cotations (surface et intensité) relatives aux champignons de bleuissement ne sont aujourd'hui pas intégrées dans les critères de performance des finitions extérieures pour bois. Autrement dit, une finition qui visuellement ne présente pas de craquelage (ou un craquelage inférieur à 0,7) mais qui présente des champignons de bleuissement passe théoriquement l'essai de vieillissement naturel et est conforme aux exigences des spécifications de performances associées (NF EN 927-2). Cela soulève des questionnements : dans la mesure où la présence de champignons de bleuissement est accompagnée de perforations du système de finition, la barrière à l'eau du système de finition est-elle encore suffisante pour protéger le bois ? Etudier l'influence du vieillissement naturel et de la contribution des champignons de bleuissement sur les propriétés de barrière à l'eau des finitions s'avère incontournable dans le futur.

Les champignons de bleuissement utilisent-ils le craquelage des systèmes de finition pour se développer via les microrugosités générées ou sont-ils des précurseurs du craquelage ? Les exemples ci-dessus contribuent à apporter des éléments de réponse.

- Le système 1 (gris), selon les cotations visuelles, présente du craquelage à partir de 3 mois (craquelage 0,7) puis du développement de champignons de bleuissement est observé à partir de 9 mois.
- Le système 4 (blanc) présente après 6 mois de vieillissement un craquelage faible (cotation 0,3) mais une cotation déjà importante de champignons de bleuissement (Surface 3, Intensité 2). Son aspect général est dégradé (Cotation 4) et doit questionner la performance du système. La présence significative de champignons de bleuissement dès 6 mois de vieillissement révèle que ces microorganismes ont vraisemblablement commencé plus précocement (vraisemblablement entre 3 et 6 mois d'exposition). Ils contribuent à dégrader le revêtement (Surface 4 et Intensité 4 après 12 mois de vieillissement) et participent certainement au développement de craquelage. Ce système dépasse le seuil limite de 0,7 après 12 mois de vieillissement (cotation craquelage 1).
- Le système 6 (blanc) n'a pas révélé de craquelage détecté par l'œil. Cependant la présence de champignon de bleuissement (cotation surface 2 et cotation intensité 2) questionne sur le maintien des performances et laisse penser qu'une exposition de quelques mois supplémentaires révéleraient un développement de craquelage. Pour lever le doute sur la performance de ce système, des essais de perméabilité à l'eau liquide après un vieillissement de 12 mois permettrait de mieux cerner la protection apportée par le système et de vérifier que sa barrière à l'eau est toujours adaptée.
- Le système 8 (blanc) a présenté du craquelage à partir de 9 mois de vieillissement (craquelage 1,3). Cependant la présence de champignons de bleuissement est détectée en amont et dès 6 mois d'exposition (Surface 0,3 ; Intensité 0, 3). Elle s'amplifie sur les trois derniers mois.

En réponse à la question posée ci-dessus, ces résultats montrent que les champignons de bleuissement précèdent parfois le craquelage. Dans d'autres cas, ils peuvent survenir après, ou être concomitant au craquelage.

4.3.6 Variations de brillant

Dans les figures suivantes, les résultats sont d'abord exprimés en variation de brillant en fonction du temps de vieillissement (Figure 41 à Figure 45). On présente ensuite les variations de la rétention de brillant en fonction du temps de vieillissement (Figure 46 à Figure 50).

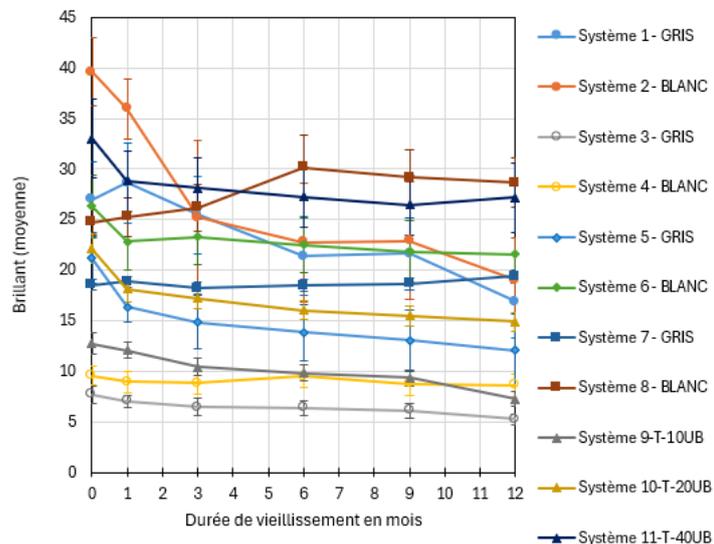


Figure 41: Variation de brillant des systèmes de finition en fonction de la durée de vieillissement naturel

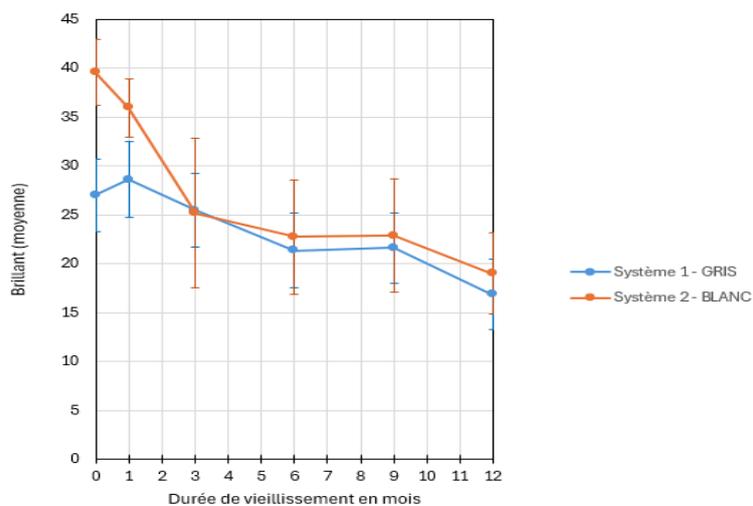


Figure 42: Variation de brillant des systèmes de finition 1 et 2 en fonction de la durée de vieillissement naturel

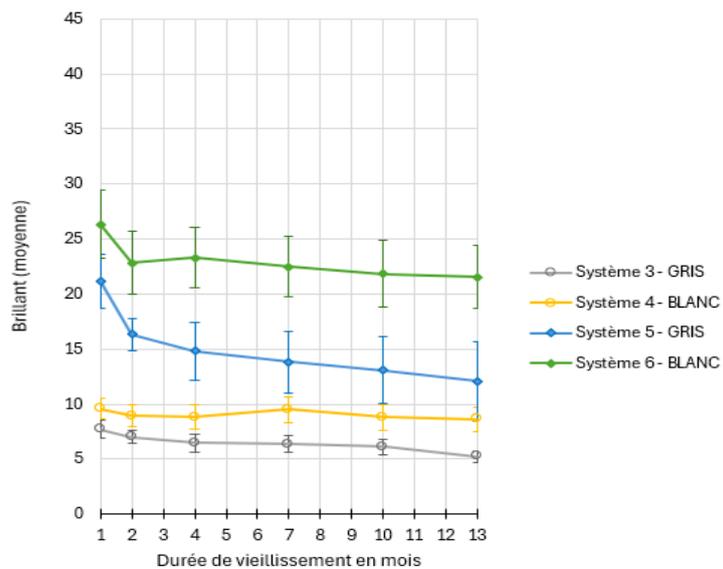


Figure 43: Variation de brillant des systèmes de finition 3, 4, 5 et 6 en fonction de la durée de vieillissement naturel

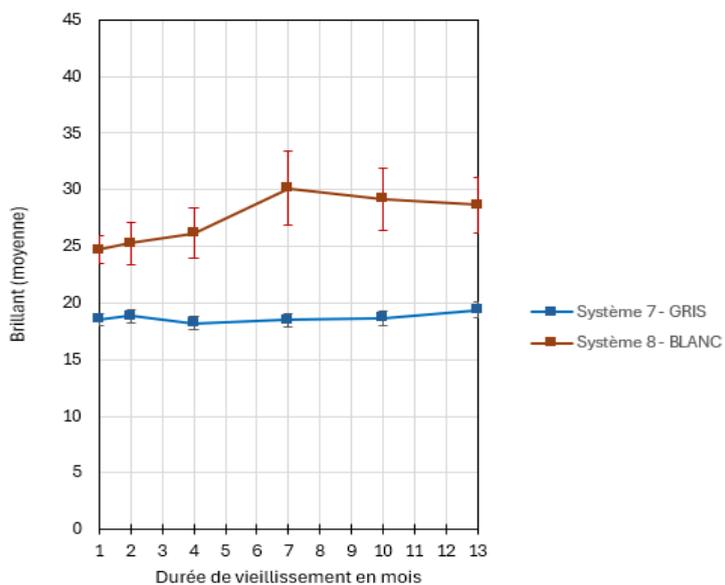


Figure 44: Variation de brillant des systèmes de finition 7 et 8 en fonction de la durée de vieillissement naturel

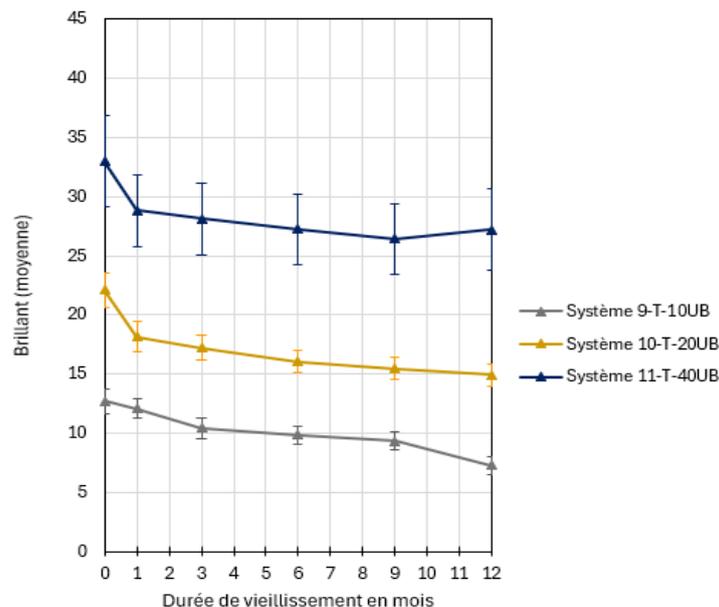


Figure 45: Variation de brillant des systèmes de finition 8, 9 et 10 en fonction de la durée de vieillissement naturel

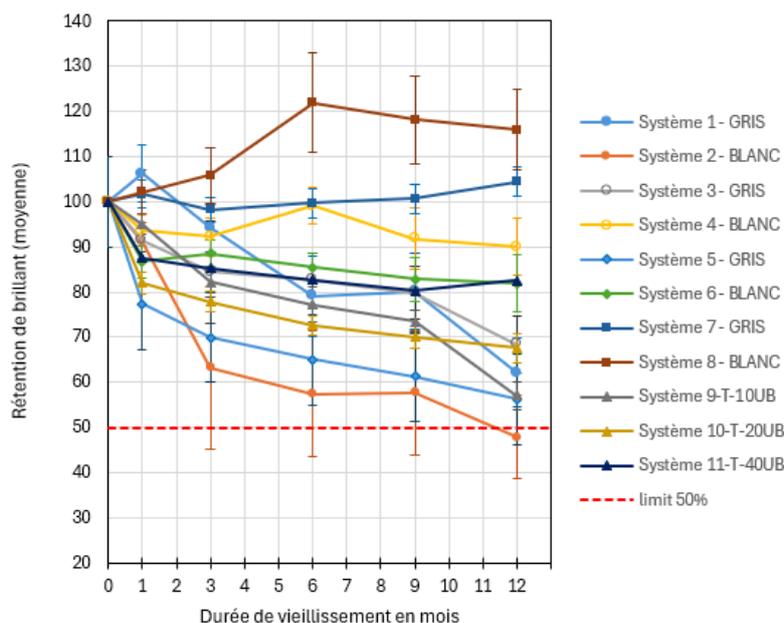


Figure 46: Variation de la rétention de brillant des systèmes de finition en fonction de la durée de vieillissement naturel

La Figure 46 montre que les systèmes 2, 5 et 9 avaient la rétention de la brillance la plus faible (respectivement 48%, 56%, 57%), ce qui indique vraisemblablement la présence de défauts. Parmi ces 3 systèmes, l'œil n'a pas vu de craquelage sur les systèmes 5 et 9. Il en a vu pour le système 2 (Craquelage 0.7). Des observations à la loupe binoculaire révèlent des défauts que l'œil n'a pas vu : du microcraquelage est visible sur le système 9. Le système 8 présente des amorces de rupture.

Le système 4 présentait du craquelage, bien que le brillancemètre n'a pas montré de variation significative (rétention de brillant moyenne de 90%). Ceci s'explique par le fait que le craquelage a été trouvé dans des zones non couvertes par le protocole de mesure du brillant. Le brillant, ainsi que la couleur, est mesuré à l'aide d'un gabarit qui permet de s'assurer que les mesures avant et après vieillissement sont faites aux mêmes endroits. Par ce protocole, il est possible que les mesures soient réalisées dans des zones exemptes de craquelage, de champignons de bleuissement.

Cette constatation plaide en faveur soit d'une multiplication du nombre de points de mesure de brillance afin de mieux couvrir la surface exposée aux intempéries, soit d'une mesure ciblée sur les zones dégradées.

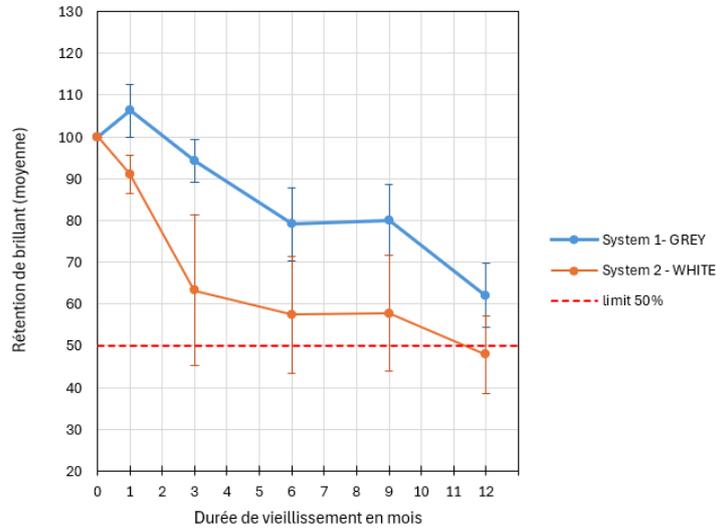


Figure 47: Variation de la rétention de brillant des systèmes de finition 1 et 2 en fonction de la durée de vieillissement naturel

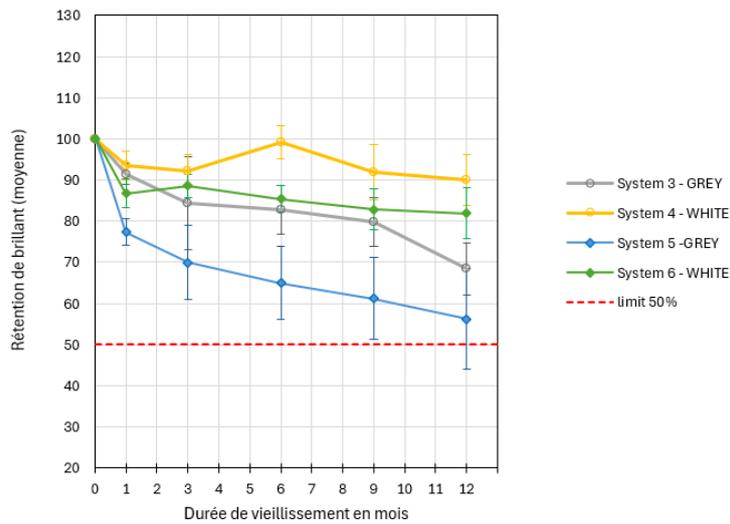


Figure 48: Variation de la rétention de brillant des systèmes de finition 3, 4, 5 et 6 en fonction de la durée de vieillissement naturel

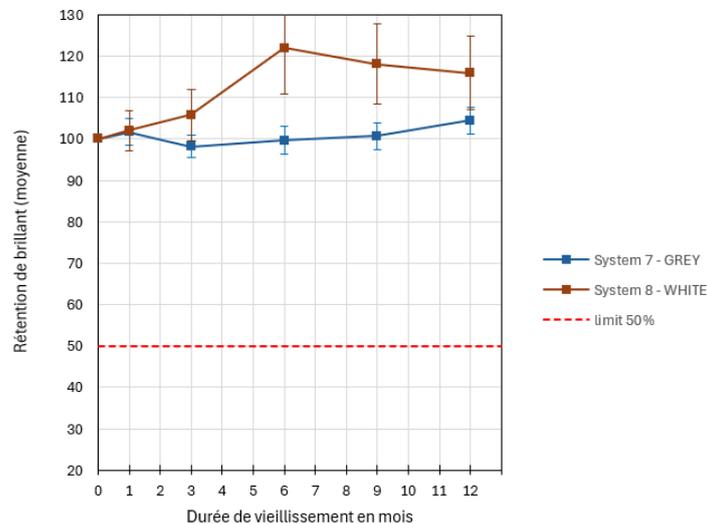


Figure 49: Variation de la rétention de brillant des systèmes de finition 7 et 8 en fonction de la durée de vieillissement naturel

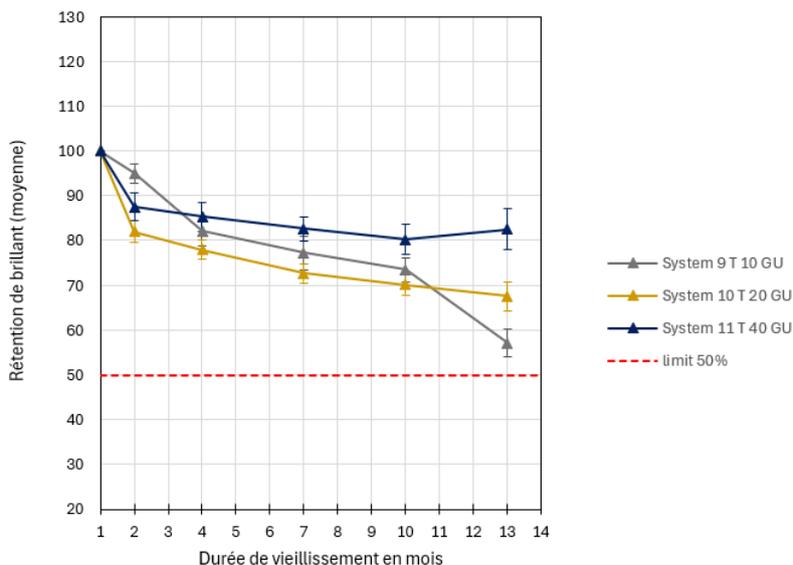


Figure 50: Variation de la rétention de brillant des systèmes de finition 9, 10 et 11 en fonction de la durée de vieillissement naturel

4.3.7 Variations de couleur

Les variations de l'écart total de couleur ΔE sont reportées pour tous les systèmes dans la Figure 51. Elle montre que l'exposition au vieillissement naturel conduit à des changements de couleur nettement perceptibles à l'œil ($\Delta E > 3$) pour tous les systèmes sauf les systèmes 2 et 6 ($\Delta E < 3$).

Globalement, les systèmes blancs présentent des écarts totaux de couleur faibles, alors qu'on s'attendait à ce que les résultats de colorimétrie révèlent davantage la présence de champignons de bleuissement. Cela montre que la prise de mesure de couleur devrait couvrir une surface plus large de manière à mieux intégrer les développements de champignons de bleuissement souvent en périphérie des éprouvettes. Cette observation montre aussi l'importance des cotations de champignons de bleuissement, aujourd'hui absente des critères de performance des finitions extérieures pour bois. Pour les systèmes blancs, les écarts totaux de couleur sont principalement dus à des variations de la luminance L^* (Figure 52) : les surfaces s'assombrissent. Les variations sur l'axe a^* et b^* sont quasi nulles (Figure 53, Figure 54).

Pour les systèmes gris, alors que les changements de couleur sont peu perceptibles jusqu'à 9 mois, ils deviennent nettement visibles à 12 mois. Ils résultent d'une modification de la luminance L^* (éclaircissement des teintes), ainsi qu'un déplacement de la couleur vers le rouge ($\Delta a^* > 0$) et le jaune ($\Delta b^* > 0$).

Les systèmes semi-transparents (9, 10, 11) présentent des variations de couleur plus marquées que les systèmes opaques. Ils résultent principalement d'une modification de la luminance L^* (assombrissement des teintes) et d'un déplacement de la couleur vers le bleu ($\Delta b^* < 0$).

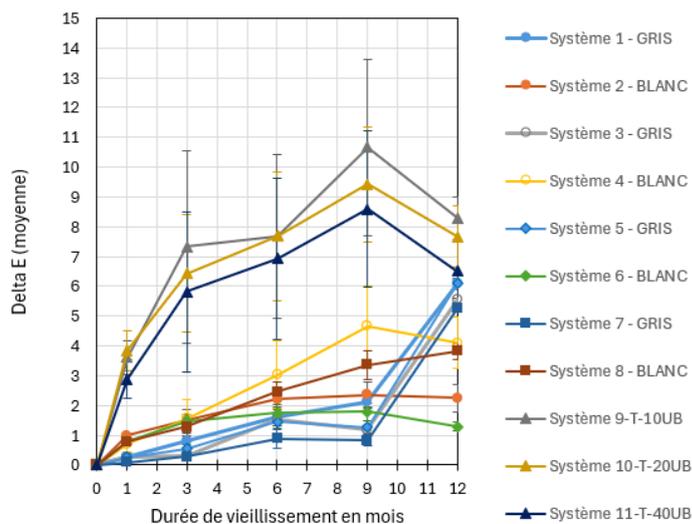


Figure 51: Variation de l'écart total de couleur des systèmes de finition en fonction de la durée de vieillissement naturel

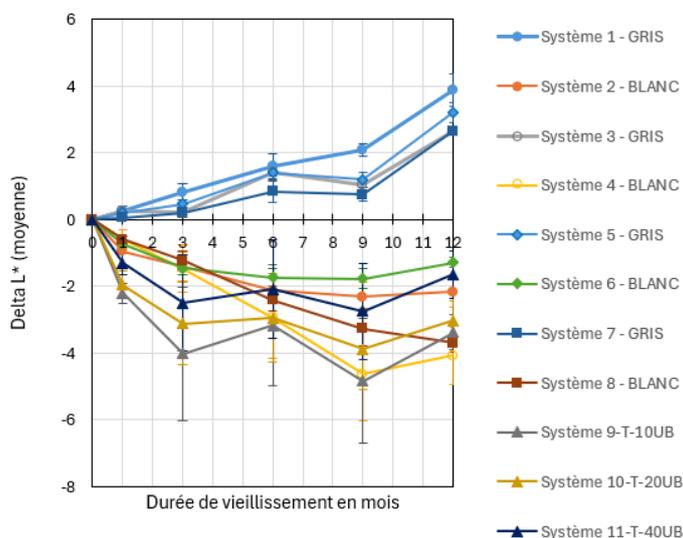


Figure 52: Variation de l'écart de luminance delta L* des systèmes de finition en fonction de la durée de vieillissement naturel

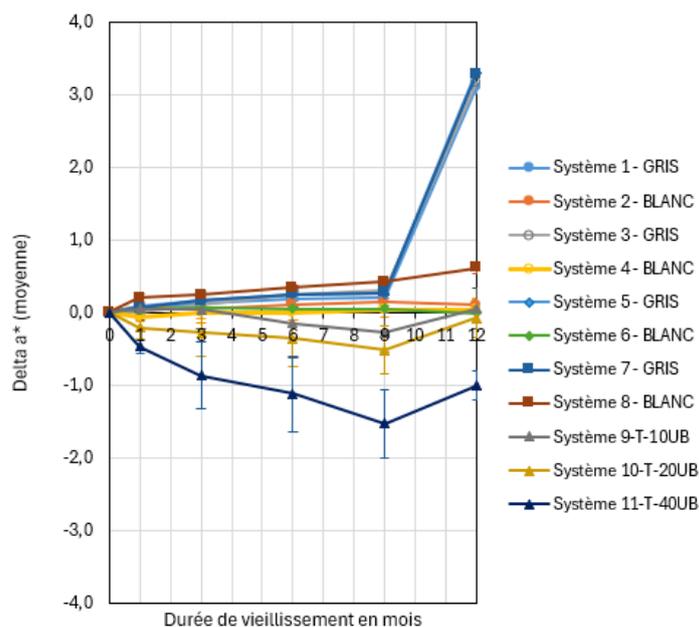


Figure 53: Variation de l'écart de chroma delta a* des systèmes de finition en fonction de la durée de vieillissement naturel

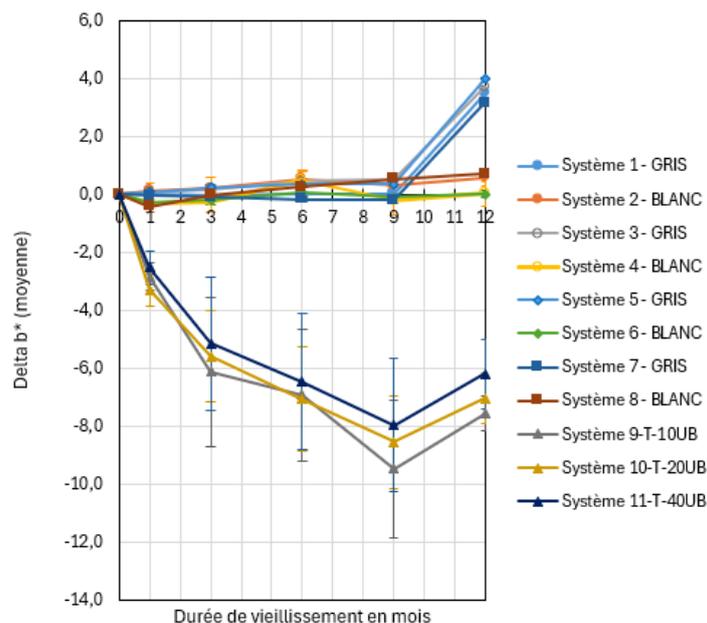


Figure 54: Variation de l'écart de chroma delta b* des systèmes de finition en fonction de la durée de vieillissement naturel

4.3.8 Variations de dureté

Les variations de la dureté Persoz au cours de l'exposition au vieillissement naturel sont présentées dans la Figure 55.

La dureté Persoz était globalement inférieure à la limite de 100 secondes pressentie comme favorable au développement du craquelage. Quelques cas font exception.

- Compte-tenu des écarts-type obtenus, la dureté du système 1 s'approche de cette limite dès le 1^{er} mois de vieillissement ($84 \text{ s} \pm 12 \text{ s}$) et la dépasse après 3 mois de vieillissement ($95 \text{ s} \pm 7 \text{ s}$). Ce système a révélé du craquelage dès 3 mois de vieillissement naturel.

- Le système 9 présente lui aussi des duretés parmi les plus élevées. Il n'a pas révélé de craquelage évalué par l'œil mais l'observation à la loupe binoculaire a révélé la présence de craquelage. Pour ce système, un vieillissement supplémentaire de quelques semaines aurait certainement intensifié le craquelage et l'aurait rendu visible par l'œil.
- Le système 10, après 12 mois de vieillissement, présente une dureté moyenne de $89 \text{ s} \pm 15 \text{ s}$. Comme pour le système 9, l'œil ne détecte pas encore de craquelage, mais la loupe binoculaire confirme un début de fissuration superficielle du système.

Pour les trois systèmes 9, 10 et 11 pour lesquels nous avons fait varier le niveau de brillance, le système le moins brillant (système 9, 10 UB) a présenté la dureté la plus élevée dans le temps, tandis que le système le plus brillant (système 11, 40 UB) a montré la dureté la plus faible.

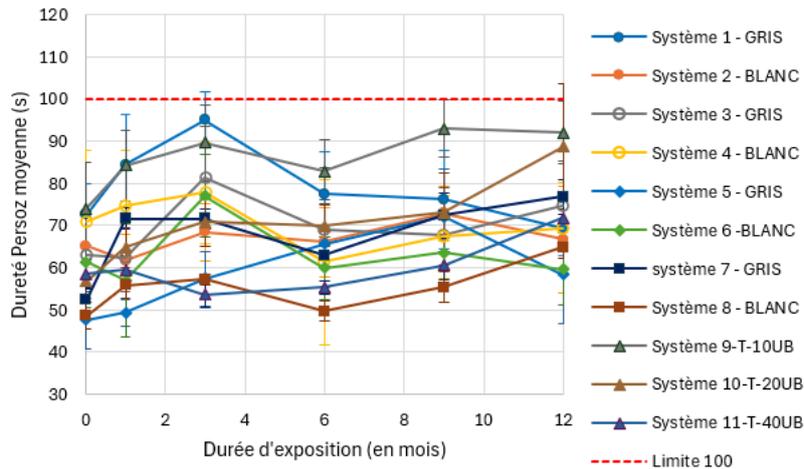


Figure 55: Variation de la dureté Persoz des systèmes de finition en fonction de la durée de vieillissement naturel

La Figure 56 montre le maximum de la dureté Persoz pour chaque durée de vieillissement. Les systèmes 1, 3, 4, et 9 sont ceux dont les valeurs de maximum dépassent 100 secondes ou en sont très proches. Ce sont aussi les systèmes dont la dureté initiale était la plus élevée laissant pressentir un risque de craquelage. En fin de vieillissement, après 12 mois d'exposition, le maximum de dureté du système 10 atteint lui aussi une valeur au-delà de 100 secondes (112 secondes).

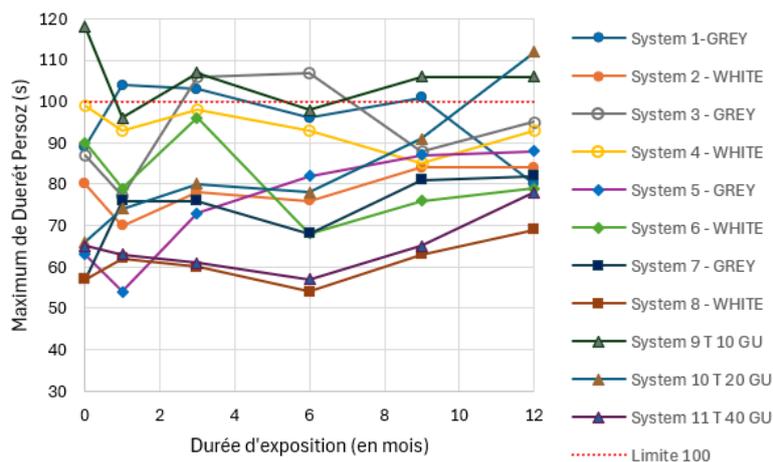


Figure 56: Variation du maximum de la dureté Persoz des systèmes de finition en fonction de la durée de vieillissement naturel

4.4 Propriétés de traction

Dans les figures suivantes (Figure 57 à Figure 67), on présente les courbes contrainte *versus* déformation de chaque topcoat avant et après trois semaines de vieillissement artificiel au QUV. Ces figures montrent que les propriétés mécaniques des 11 topcoats sont différentes les unes des autres et sont toutes modifiées par le vieillissement. L'analyse des courbes à l'état initial permet déjà d'identifier que les systèmes 4, 8, et 9 présentent un comportement peu ductile voire fragile (topcoat 9). Ils présentent a priori un risque de craquelage.

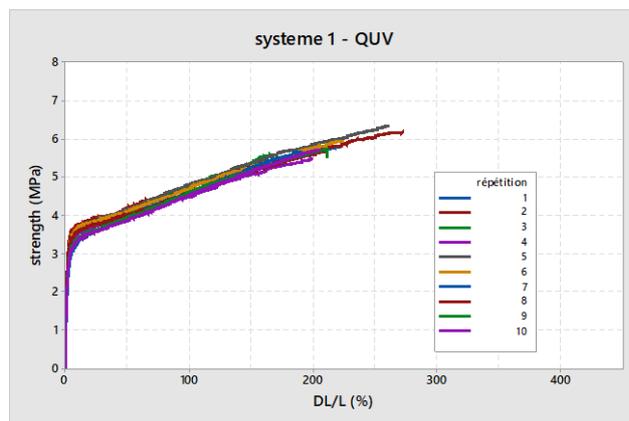
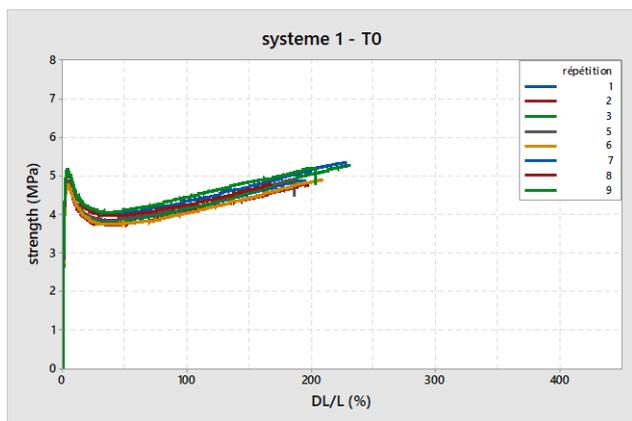


Figure 57: Courbes contrainte versus déformation du système 1 avant (gauche) et après vieillissement (droite)

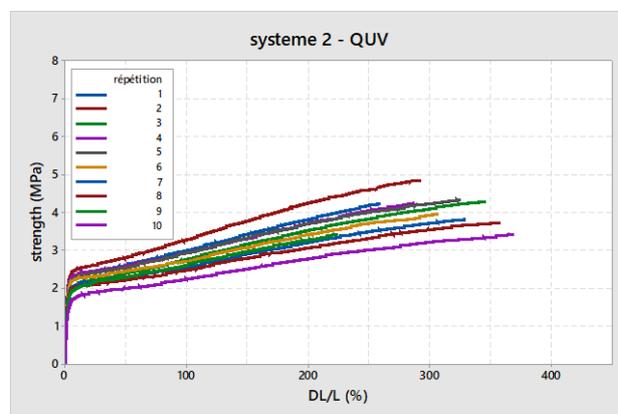
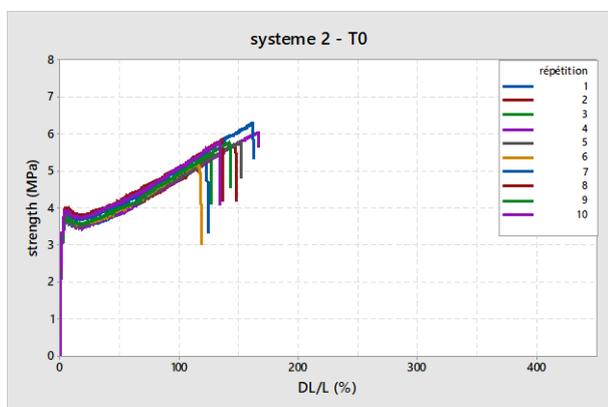


Figure 58: Courbes contrainte versus déformation du système 2 avant (gauche) et après vieillissement (droite)

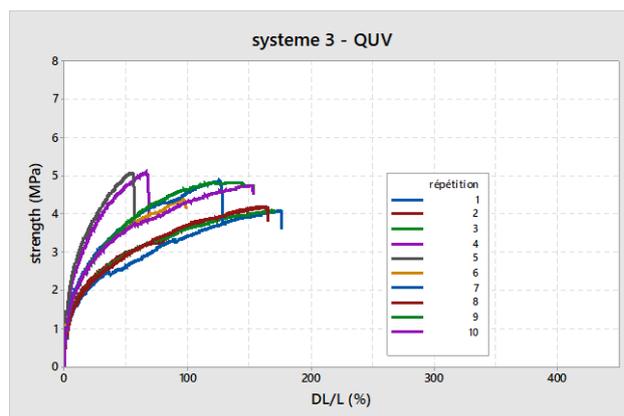
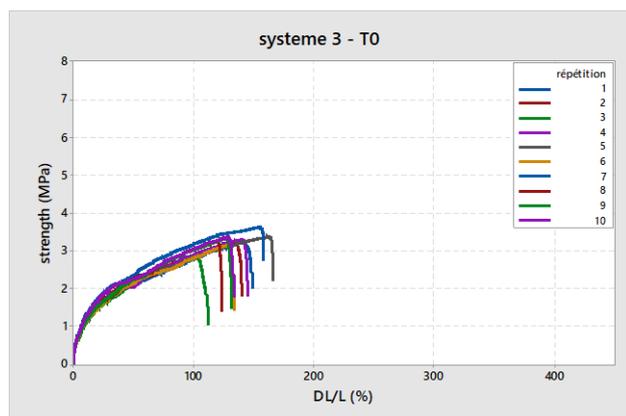


Figure 59: Courbes contrainte versus déformation du système 3 avant (gauche) et après vieillissement (droite)

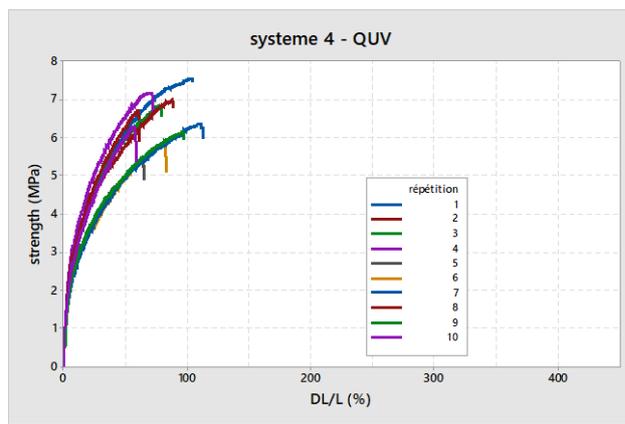
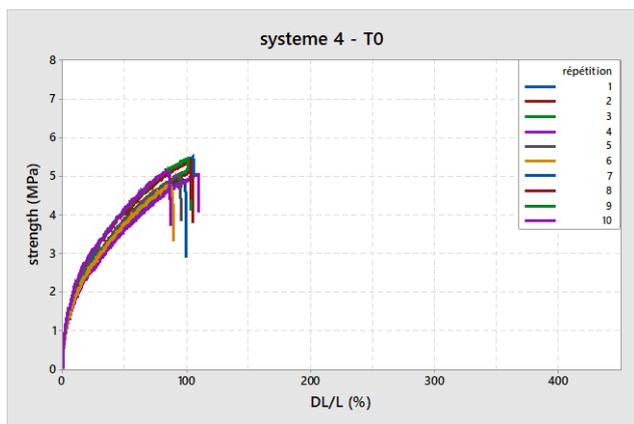


Figure 60: Courbes contrainte versus déformation du système 4 avant (gauche) et après vieillissement (droite)

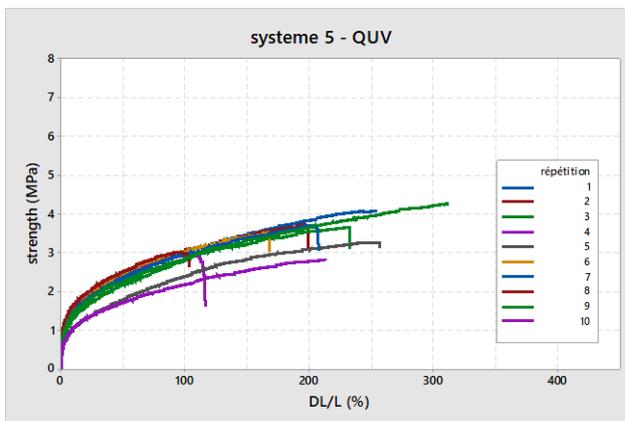
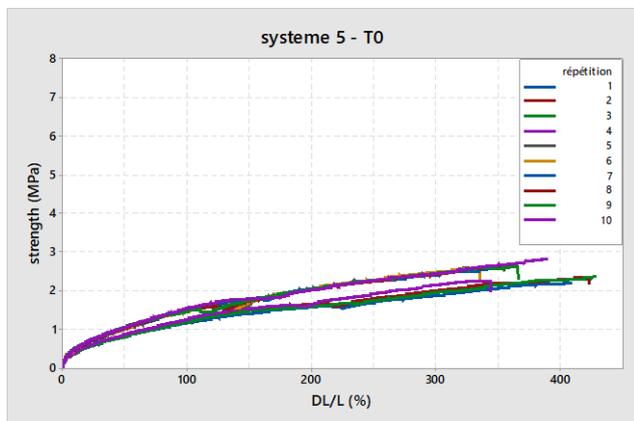


Figure 61: Courbes contrainte versus déformation du système 5 avant (gauche) et après vieillissement (droite)

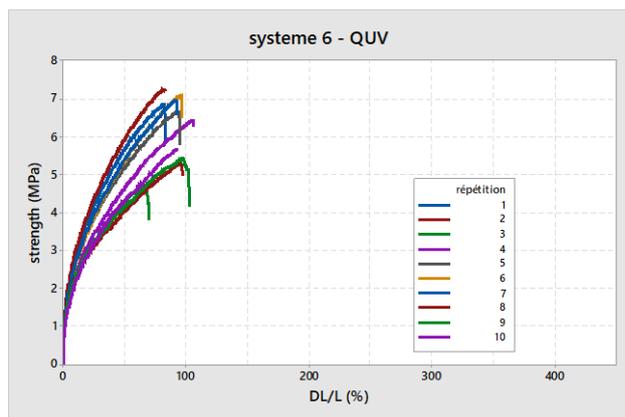
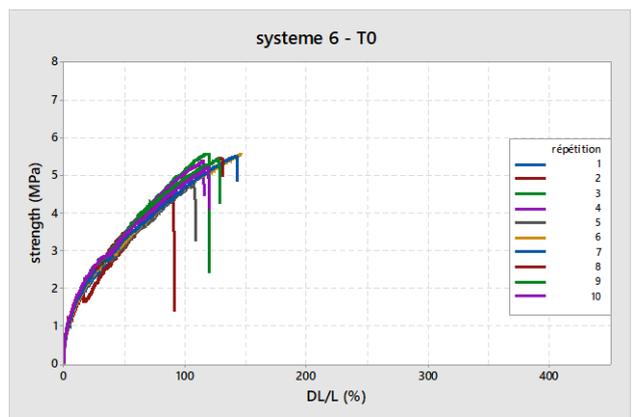


Figure 62: Courbes contrainte versus déformation du système 6 avant (gauche) et après vieillissement (droite)

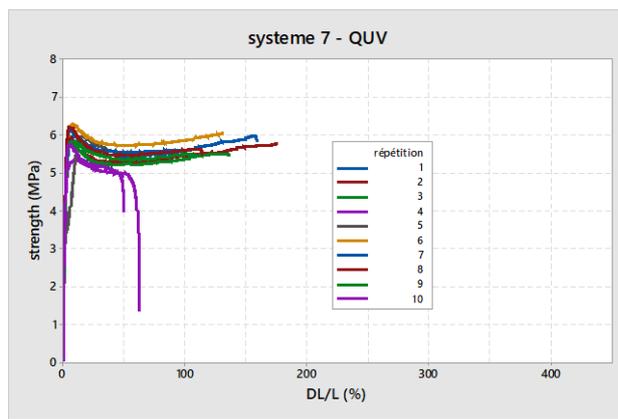
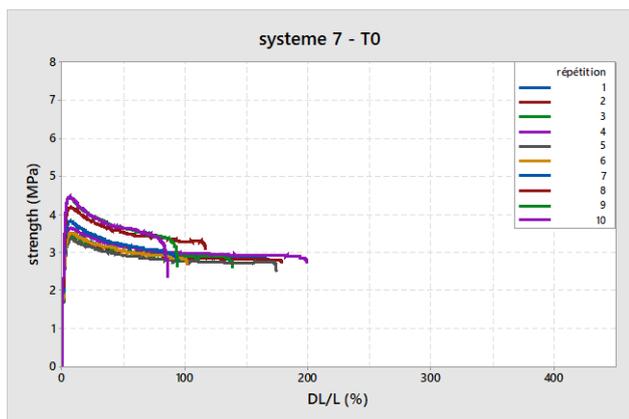


Figure 63: Courbes contrainte versus déformation du système 7 avant (gauche) et après vieillissement (droite)

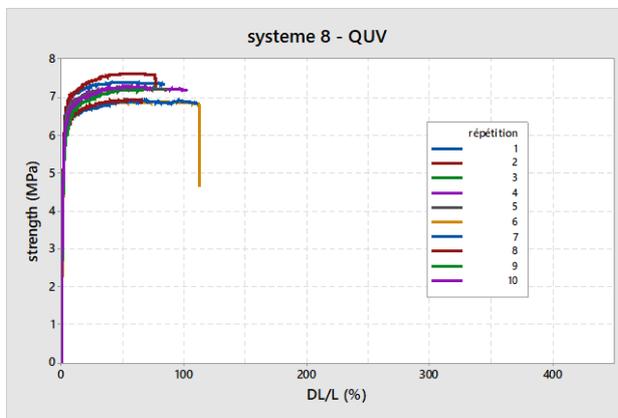
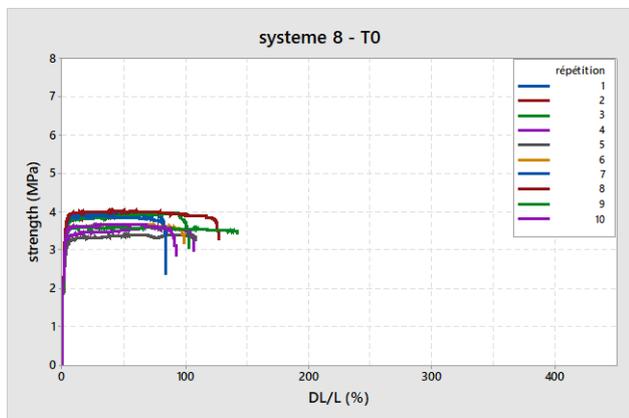


Figure 64: Courbes contrainte versus déformation du système 8 avant (gauche) et après vieillissement (droite)

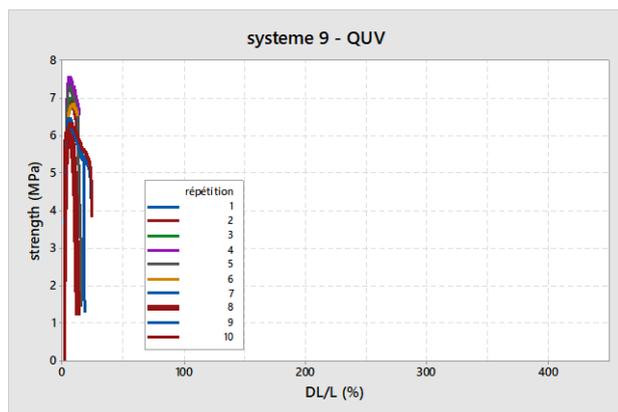
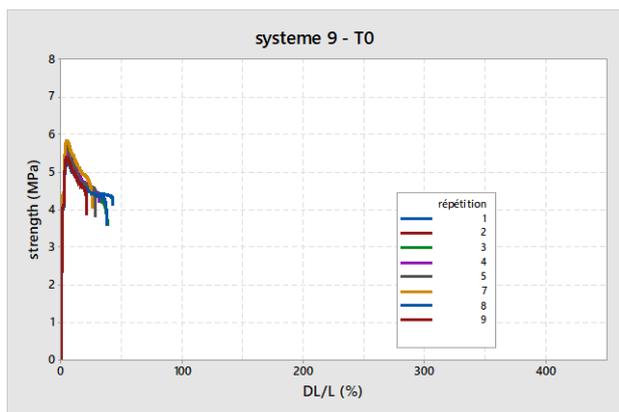


Figure 65: Courbes contrainte versus déformation du système 9 avant (gauche) et après vieillissement (droite)

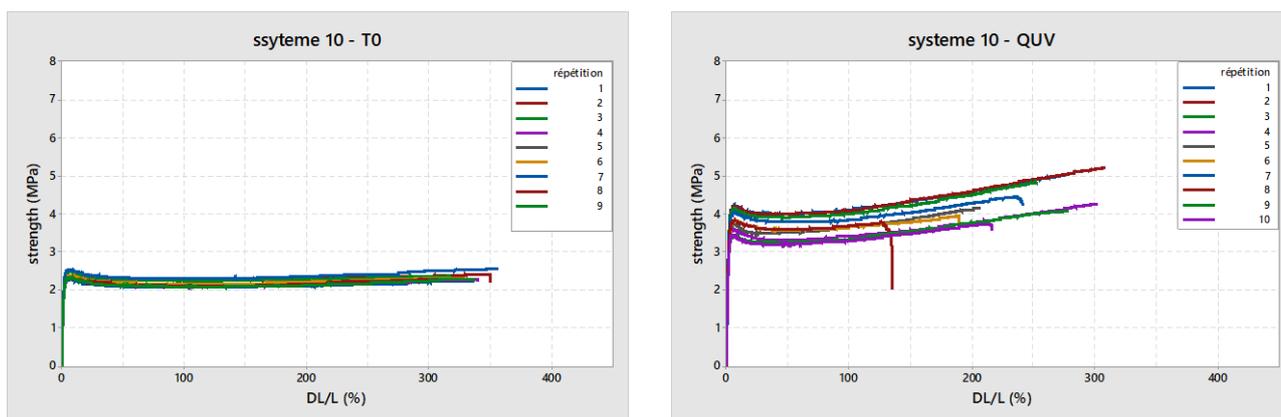


Figure 66: Courbes contrainte versus déformation du système 10 avant (gauche) et après vieillissement (droite)

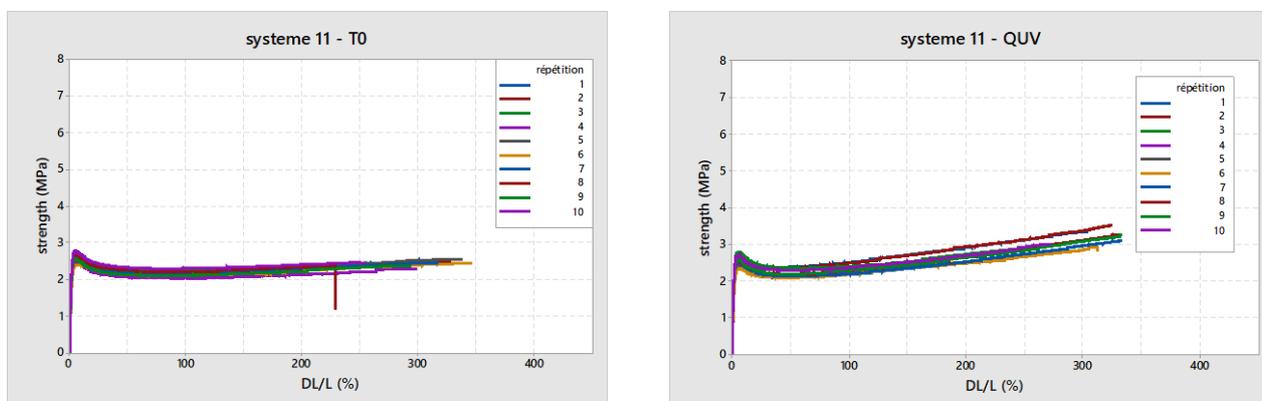


Figure 67: Courbes contrainte versus déformation du système 11 avant (gauche) et après vieillissement (droite)

La Figure 68 permet de comparer la contrainte de traction à la force maximale des 11 topcoats avant et après vieillissement artificiel. Le même type de comparaison est effectué pour le module élastique dans la Figure 69 et pour la déformation à la rupture dans la Figure 70. Le Tableau 7 et le Tableau 8 synthétisent les valeurs caractéristiques de traction des 11 topcoats avant et après trois semaines de vieillissement artificiel.

Le topcoat 5 et 10 sont ceux présentant la contrainte de traction initiale la plus faible (Figure 68). Le topcoat 2 présente la contrainte initiale la plus forte. A l'exception du système 2, le vieillissement de trois semaines au QUV augmente la contrainte de traction de tous les topcoats.

Les modules élastiques de traction sont très disparates. Les topcoats 3, 4, 5 et 6 sont ceux ayant le module élastique initial le plus faible (< 50 MPa). Le système 1 est celui qui présente le module élastique initial le plus élevé (moyenne 325,1 MPa). Parmi les trois systèmes dont on a fait varier le brillant (systèmes 9, 10 et 11), le topcoat 9 se distingue par un module élastique globalement deux fois plus grand que celui des topcoats 10 et 11. Globalement, tous les topcoats ont un module initial inférieur à 400 MPa. Le vieillissement conduit à une augmentation du module élastique sauf dans le cas du topcoat 1 et 2. Après le vieillissement de trois semaines, tous les modules restent globalement inférieurs à la limite de 400 MPa pré-établie à la suite de l'étude CODIFAB MECAFINIT. Cependant le topcoat 8 présente quelques valeurs individuelles ayant dépassé les 400 MPa.

L'allongement à la rupture initial est très différent selon les topcoats. Le topcoat 9 est clairement celui qui présente l'allongement à la rupture le plus faible (moyenne 30,5%) tandis que le topcoat 5 est celui qui a le plus fort allongement à la rupture (moyenne 373,6%). Les topcoats dont l'allongement à la rupture initial était inférieur à 100% ont présenté un risque de craquelage plus élevé. Cependant un allongement à la rupture initial supérieur à 100% ne garantit pas un risque de craquelage faible. Il convient de vérifier l'impact du vieillissement sur l'allongement à la rupture. Étonnamment, l'allongement à la rupture du topcoat 2 semble être amélioré par trois semaines de vieillissement. Pour les topcoats 1 et 11, les trois semaines de vieillissement ne semblent pas modifier leur allongement à la rupture. Cela devrait préjuger d'un risque craquelage faible. Pourtant le topcoat 1 a présenté du craquelage durant les essais de vieillissement naturel (12 mois), ce qui n'est pas le cas du topcoat 11 (pas de

craquelage visible à l'œil). Une durée de vieillissement artificiel plus longue sur les films soumis à la traction permettrait de mieux rendre compte des performances et de mieux comprendre l'impact du vieillissement sur les topcoats 1 et 2 par exemple. Pour tous les autres topcoats, le vieillissement diminue l'allongement à la rupture.

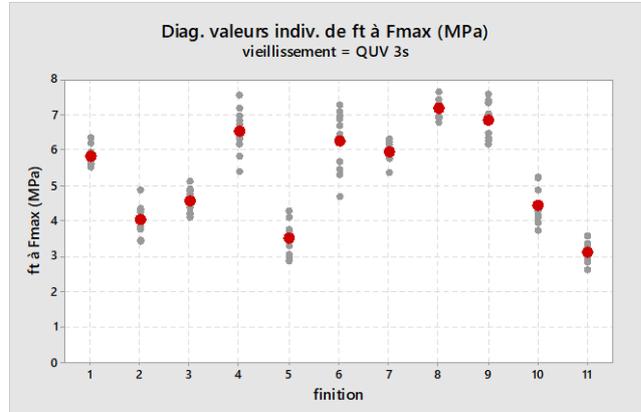
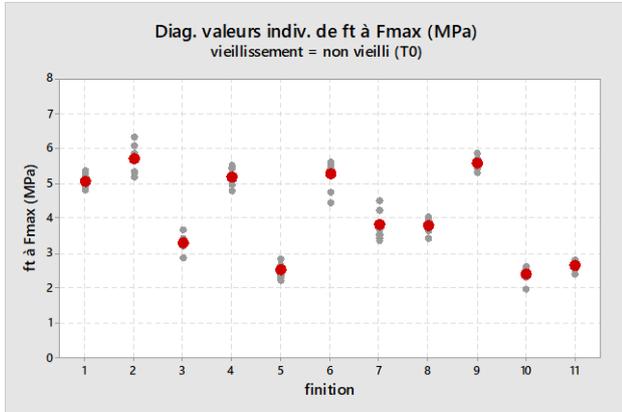


Figure 68: Contrainte de traction des 11 topcoats avant (gauche) et après vieillissement (droite). Moyenne en rouge, valeurs individuelles en gris

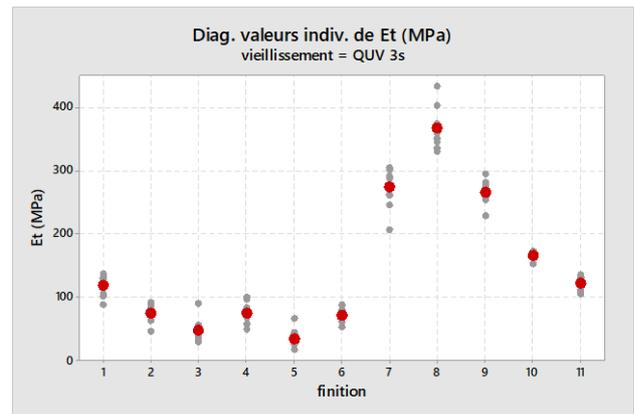
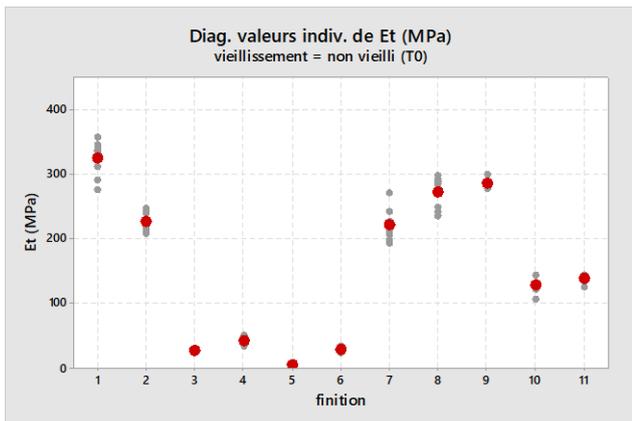


Figure 69: Module élastique de traction des 11 topcoats avant (gauche) et après vieillissement (droite) Moyenne en rouge, valeurs individuelles en gris

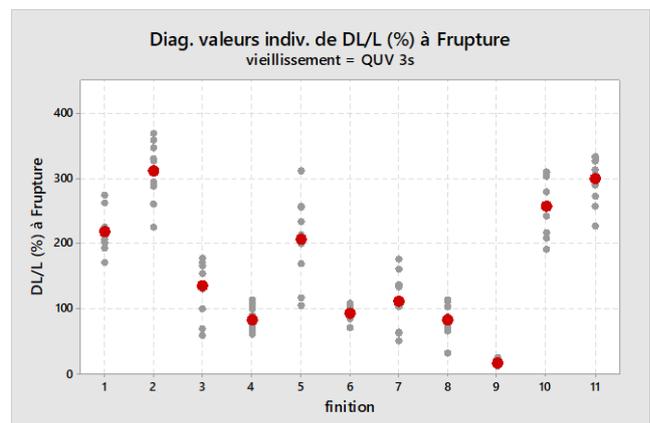
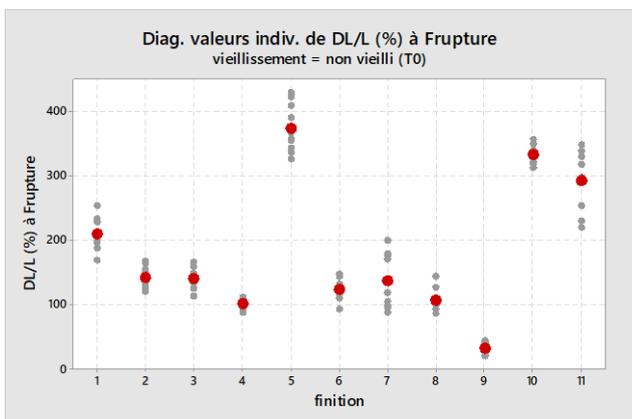


Figure 70: Déformation à la rupture des 11 topcoats avant (gauche) et après vieillissement (droite) Moyenne en rouge, valeurs individuelles en gris

Système de finition		σ_{Fmax} (MPa)		Et (MPa)		$\Delta L/L$ à $F_{rupture}$ (%)	
		Moyenne	CV %	Moyenne	CV %	Moyenne	CV %
Gris	1	5,05	3,9	325,1	7,8	208,6	11,7
Blanc	2	5,70	6,2	226,0	7,0	141,2	11,5
Gris	3	3,27	6,3	24,7	6,4	139,1	11,4
Blanc	4	5,16	4,5	41,0	11,6	100,3	7,4
Gris	5	2,50	8,1	4,0	13,7	373,6	10,0
Blanc	6	5,26	7,3	27,1	12,3	122,4	13,2
Gris	7	3,79	11,4	221,6	13,2	135,9	30,6
Blanc	8	3,78	5,7	272,1	8,4	104,8	17,2
T-10 GU	9	5,54	3,1	277,9	6,7	30,5	28,0
T-20 GU	10	2,35	6,9	127,6	7,2	309,9	24,8
T-40 GU	11	2,61	4,2	135,3	5,4	294,6	15,6

Tableau 7: Synthèse des propriétés de traction (contrainte, module, déformation) des systèmes de finition avant vieillissement

Système de finition		σ_{Fmax} (MPa)		Et (MPa)		$\Delta L/L$ à $F_{rupture}$ (%)	
		Moyenne	CV %	Moyenne	CV %	Moyenne	CV %
Gris	1	5,82	4,6	117,9	13,8	217,2	14,3
Blanc	2	4,03	11,2	73,7	18,2	310,1	14,6
Gris	3	4,55	9,0	45,4	39,6	133,7	32,7
Blanc	4	6,52	10,0	73,0	21,5	82,3	22,6
Gris	5	3,50	13,9	32,3	45,2	206,1	31,1
Blanc	6	6,23	14,3	70,0	15,4	91,9	11,5
Gris	7	5,93	4,6	273,1	11,5	110,2	38,4
Blanc	8	7,16	3,8	366,6	8,6	80,9	30,2
T-10 GU	9	6,82	7,5	265,0	6,8	15,5	31,4
T-20 GU	10	4,43	12,2	165,3	4,2	255,9	17,6
T-40 GU	11	3,07	9,1	117,9	13,8	298,3	12,4

Tableau 8: Synthèse des propriétés de traction (contrainte, module, déformation) des systèmes de finition après 3 semaines de vieillissement artificiel

4.5 Tableau synthétique des résultats principaux

Le Tableau 9 donne une vision synthétique des principaux résultats obtenus durant les essais. Dans ce tableau les cases surlignées en orange alerte sur la propriété évaluée.

Rappelons que sur la base des critères actuels de craquelage et adhérence selon NF EN 927-2 relevés après 1 an de vieillissement naturel, les systèmes de finition conformes aux exigences actuelles sont les systèmes 2, 5, 6, 7, 9, 10, 11. Cependant :

- Le système 2 présente une rétention de brillant en dessous de 50%, durant l'essai de vieillissement artificiel et durant l'essai de vieillissement naturel. Cela témoigne de changements majeurs à sa surface. L'observation à la loupe binoculaire montre une topographie de surface accidentée. Elle montre une surface érodée ayant donc de probables variations d'épaisseur du système de finition, ce qui constitue une fragilisation de la protection. Un contrôle de la barrière à l'eau permettrait de vérifier les performances.

- Le système 5 présente lui aussi une rétention de brillant basse (12% durant le vieillissement artificiel), associée à un aspect général marqué (cotation 3). L'observation à la loupe binoculaire effectuée pour comprendre la chute importante de rétention de brillant montre la présence de microcraquelage superficiel.
- Le système 6 présente une colonisation par les champignons de bleuissement, que les critères actuels de performances occultent complètement. Sa barrière à l'eau est probablement compromise.
- Le système 9 passe les critères actuels. C'est pourtant le système le plus fragile de la série du point de vue mécanique. Il est donc prédisposé au craquelage. Des observations à la loupe binoculaire confirme la présence de craquelage que le contrôle visuel n'a pas vu. Sa dureté initiale est aussi parmi les plus élevées.
- Le système 10 présente une chute de rétention de brillant, associé à un aspect général dont la moyenne dépasse 2,5. Cela alerte sur des changements majeurs à la surface. L'observation à la loupe binoculaire révèle la présence de microcraquelage.
- Le système 11 n'a qu'une seule case colorée en orange qui concerne un changement d'aspect marqué lors du vieillissement naturel. Il n'est pas associé à une faible rétention de brillant. Cela alerte cependant que des changements significatifs commencent à s'opérer à la surface

Le système 7 est le seul système du tableau sans alerte de propriété (case orange). Il a montré de meilleures performances.

Ces constatations montrent que les critères actuels de NF EN 927-2 sont insuffisants pour refléter correctement les performances des systèmes de finitions en regard des exigences du bois et des évolutions des produits de finition (problématiques des préservateurs de films secs). Les faire évoluer permettrait à la filière bois de se doter de systèmes de finitions performants.

	Systèmes de finition										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Craquelage VA 12 semaines	0	0	0.7	0.3	0.3	0	0	0	0	0	0
Aspect VA 12 semaines	1.7	1.7	2.7	1	3	0.3	0.7	1	3.3	2.7	2
Rétention Brillant VA 12 semaines	39	41	25	71	12	66	109	66	6	45	61
Craquelage VN 1 an	2	0.7	1.3	1	0	0	0	1.3	0	0	0
Adhérence VN 1 an	0.8	1	1	1	1	1	0.3	0	0.8	0	0.2
Aspect VN 1 an	2.7	1.3	1.7	4	2	1.3	1	3	4	3	3
Rétention Brillant VN 1 an	62	48	68	90	56	82	104	116	57	68	82
Bleu Surface VN 1 an	3	1.3	2	4	1.7	2	1	2	0	0	0
Bleu Intensité VN 1 an	1	1.7	1.7	4	1	2	1	1	0	0	0
Dureté initiale	73	65	63	71	48	61	52	49	74	57	58
Profil mécanique	Ductile	Ductile	Ductile	Peu ductile	Ductile	Ductile	Ductile	Peu ductile	Fragile	Ductile	Ductile
Contrainte initiale	5	5,7	3,3	5,2	2,5	5,3	3,8	3,8	5,5	2,4	2,6
Contrainte QUV 3 Semaines	5,8	4	4,6	6,5	3,5	6,2	5,9	7,2	6,2	4,4	3,1
Module E initial	325	226	25	41	4	27	222	272	278	128	135
Module E QUV 3 Semaines	118	74	45	73	32	70	273	367	265	165	118
Allongement initial	209	141	139	100	374	122	136	105	31	310	295
Allongement QUV 3 Semaines	217	310	134	82	206	92	110	81	16	256	298

Tableau 9: Résumé des principaux résultats obtenus pour les 11 systèmes

5 Conclusions et perspectives

La détermination de la performance des finitions extérieures pour bois repose actuellement sur des critères visuels (craquelage, écaillage, cloquage, adhérence) relevés après 12 mois de vieillissement naturel. Subjectifs car visuels, les critères de performances inclus dans NF EN 927-2 peuvent être critiquables. En complément, un essai de perméabilité à l'eau (NF EN 927-5) est requis et permet d'apprécier la barrière à l'eau procurée par les systèmes de finition à l'état initial (sans vieillissement).

Ces critères visuels n'englobent pas certaines problématiques, en particulier ils occultent le développement de champignons de bleuissement. Or ce développement est désormais quasi-omniprésent car les systèmes de finition contiennent très peu de biocides de films secs (biocides de type 7) et que les substances actives de cette catégorie connaissent des restrictions. Ces développements de champignons mettent vraisemblablement en péril la barrière à l'eau procurée par la finition. Ils contribuent aussi à dégrader l'aspect.

En complément des critères actuels, la présente étude s'est donc intéressée à d'autres paramètres : variation d'aspect général, variation de couleur, variation de brillant, dureté Persoz, développement de champignons de bleuissement, variations de propriétés mécaniques des topcoats de finition.

Aspect général : l'aspect général reflète l'ensemble des changements observés visuellement à la surface du système de finition. Il intègre donc a priori le craquelage, les modifications de brillant et de couleur, le développement fongique, etc. Coter l'aspect général fait partie de l'essai de vieillissement naturel (NF EN 927-3). L'aspect général est coté sur une échelle de 0 (pas de changement d'aspect) à 5 (fort changement d'aspect) par rapport au témoin non exposé au vieillissement. Mais, aujourd'hui, cette cotation d'aspect général n'est pas associée à une spécification de performance dans NF EN 927-2. L'étude INFIPERF montre qu'un aspect général moyen supérieur ou égal à 2.5 doit alerter sur la performance, surtout s'il est associé à une chute importante de brillant. C'est le signe que des changements majeurs se sont opérés à la surface que l'œil n'a pas forcément su traduire. C'est le cas par exemple du système 9 qui passe les critères actuels de NF EN 927-2 mais dont l'aspect général dégradé (cotation 4) alerte sur la nécessité de mener des investigations complémentaires. En l'occurrence, des analyses à la loupe binoculaire ont révélé la présence de microcraquelage que l'œil n'a pas vu. Ce microcraquelage est en cohérence avec les résultats d'essai de traction sur film : ils révèlent qu'avant même tout vieillissement, le topcoat 9 a un profil fragile, favorable au développement de craquelage. L'épreuve de vieillissement fragilise encore plus le film de topcoat 9 qui voit son allongement à la rupture se réduire encore plus. Introduire dans NF EN 927-2 un seuil limite de 2,5 associé à la moyenne de l'aspect général est une perspective à travailler en groupe de normalisation.

Rétention de brillant : mesurer le changement de brillant fait partie de l'essai de vieillissement naturel (NF EN 927-3). Mais, aujourd'hui, tout comme l'aspect général, la mesure du changement de brillant n'est pas associée à une spécification de performance dans NF EN 927-2. Elle est pourtant riche d'information. La mesure de brillant avant et après vieillissement permet de calculer la rétention de brillant du système de finition. Lorsque cette rétention de brillant chute fortement, c'est le signe que des changements majeurs s'opèrent à la surface. Pour reprendre l'exemple du système 9, son aspect général dégradé (cotation 4) provient du fait qu'une chute de brillant importante a eu lieu durant les essais de vieillissement. Sa rétention de brillant n'est plus que de 57% après 12 mois de vieillissement naturel et elle passe sous le seuil de 50% dès 6 semaines de vieillissement artificiel. Le seuil de 50% de rétention de brillant est un seuil déjà utilisé dans certains référentiels du domaine peinture (exemple Qualicoat). Ce seuil pourrait aussi être introduit dans NF EN 927-2. L'étude INFIPERF montre qu'il faut être vigilant quant aux zones couvertes par le brillancemètre. Les résultats plaident en faveur d'une multiplication du nombre de points de mesure de brillance afin de bien couvrir la surface exposée aux intempéries.

Variations de couleur : La mesure des changements de couleur fait partie de l'essai de vieillissement naturel (NF EN 927-3), mais elle n'est pas associée à une spécification de performance dans NF EN 927-2. Dans l'étude INFIPERF, comme attendu, les changements de couleur ont été plus marqués sur les systèmes semi-transparents comparativement aux systèmes opaques. Parmi les systèmes opaques, les changements de couleur sur les systèmes gris sont supérieurs à ceux de leurs homologues blancs. Les résultats obtenus ici ne permettent pas d'établir un critère de performance associé à la couleur. Pour autant, mesurer la couleur est utile car elle rend compte de changements de surface.

Craquelage : le craquelage après 12 mois de vieillissement naturel est un critère associé à une spécification de performance dans NF EN 927-2. Pour la menuiserie, un craquelage limite de 0,7 ne doit pas être dépassé au terme des 12 mois de vieillissement naturel. On peut se poser la question de savoir si cette limite est pertinente. Dans la mesure où craquelage il y a, la barrière à l'eau apportée par la finition est manifestement compromise et l'eau peut s'infiltrer via le craquelage. Il serait donc logique que la limite de craquelage soit 0 et non pas 0,7. Dans la mesure où le craquelage est évalué visuellement, où l'œil peut ne pas le voir dans certains cas, il serait certainement plus pertinent de raisonner non pas en termes de craquelage, mais en termes de maintien de la protection à l'eau du système de finition.

Protection à l'eau : la protection à l'eau est une fonction majeure des systèmes de finition pour bois. Cette protection à l'eau est évaluée par une mesure d'absorption d'eau via la méthode NF EN 927-5. Ce test s'effectue sur un bois revêtu de finition non vieillie. Une limite de 175 g/m² ne doit pas être dépassée pour l'emploi menuiserie. Cette barrière à l'eau est d'autant plus importante que la finition prend un rôle majeur dans la protection globale du bois, comme le montre l'étude CODIFAB EDURFIN¹⁴. Le projet INFIPERF montre qu'en vieillissant les finitions peuvent présenter du craquelage, ce qui vraisemblablement compromet la barrière à l'eau. Le projet INFIPERF montre aussi que des systèmes de finitions passent les critères de performances actuels mais qu'elles sont colonisées par les champignons de bleuissement (non pris en compte dans les critères de performances). Ces champignons de bleuissement génèrent des perforations de la finition, mais nul ne sait comment cela impacte la barrière à l'eau apportée par le système de finition. Il conviendrait donc d'évaluer la barrière à l'eau après un vieillissement naturel de 12 mois. Si du craquelage se manifeste (sans que l'œil ne l'ait forcément vu), si des champignons de bleuissement se sont développés et ont perforé le système de finition, alors la mesure de l'absorption d'eau devrait le révéler. Des études complémentaires sont à entreprendre pour déterminer quelle est la valeur d'absorption d'eau acceptable après vieillissement naturel de 12 mois pour une protection optimale de la menuiserie. Cette valeur d'absorption pourrait constituer critère de performance dans l'avenir.

Dureté Persoz : Cette propriété n'est pas évaluée dans les essais actuels caractérisant les performances des finitions. L'étude INFIPERF montre que les duretés initiales élevées (typiquement supérieures à 70 s) prédisposent au craquelage. Ce seuil pourrait être utilisé comme critère de performance dans NF EN 927-2. Il a été proposé de l'intégrer à la norme Menuiserie NF P 23 305 lors de sa révision de 2024. Il a déjà fait l'objet d'un. L'étude INFIPERF montre aussi l'intérêt d'examiner le maximum de la dureté Persoz à l'initial, et durant le vieillissement. Pour revenir à l'exemple du système 9, c'est celui qui possède la dureté initiale la plus élevée. On pouvait donc pressentir dès le départ un risque craquelage plus grand pour ce système. Le maximum de dureté Persoz donne aussi des infos complémentaires. L'étude confirme l'intérêt d'utiliser le pendule de Persoz pour l'étude du vieillissement afin de sélectionner des systèmes de finition pour lesquels la dureté moyenne durant l'essai de vieillissement reste inférieure à 100 secondes. Au-delà, le risque craquelage augmente. Pour autant, une dureté initiale inférieure ou égale à 70 secondes n'est pas une condition suffisante pour ne pas générer de fissuration. Le système 8 (blanc) avait une dureté parmi les plus faibles de l'étude (moyenne 49 secondes) mais les tests de traction ont révélé qu'il avait un profil peu ductile, et qu'il présentait donc un risque craquelage significatif. Une cotation de craquelage de 1.3 a été effectivement relevée après 12 mois de vieillissement.

Champignons de bleuissement : Les systèmes de finition actuels contiennent très peu de biocides de type 7 (préservateurs de films secs). Ils sont donc sensibles au développement de champignons de bleuissement, ce qui n'était pas le cas des systèmes de finition sur le marché lorsque les critères NF EN 927-2 ont été développés. Quantifier le développement des champignons de bleuissement fait partie de l'essai de vieillissement naturel NF EN 927-3. Cependant, comme l'aspect général ou comme la mesure de brillant, la présence de champignons de bleuissement n'est pas associée à un critère de performance dans NF EN 927-2. Autrement dit, une finition qui visuellement ne présente pas de craquelage (ou un craquelage inférieur à 0,7) mais qui présente des champignons de bleuissement passe théoriquement l'essai de vieillissement naturel et est conforme aux exigences des spécifications de performances associées (NF EN 927-2). Cela soulève des questionnements : dans la mesure où la présence de champignons de bleuissement est accompagnée de perforations du système de finition, la barrière à l'eau du système de finition est-elle encore suffisante pour protéger le bois ? Etudier l'influence du vieillissement naturel et de la contribution des champignons de bleuissement sur les propriétés de barrière à l'eau des finitions s'avère incontournable dans le futur. L'étude INFIPERF montre que les champignons de bleuissement peuvent se développer bien avant que le craquelage se manifeste. Des essais de qualification de la résistance des systèmes de finition aux champignons de bleuissement en service sont incontournables. Ils reposent aujourd'hui sur des essais de vieillissement naturel nécessitant au moins 12 mois d'exposition. Le développement de méthodes d'essai plus rapides mérite des investigations supplémentaires pour doter la filière bois de systèmes de finition performants. Introduire dans NF EN 927-2 un seuil limite de 2 associé à la cotation de champignons de bleuissement (Surface, Intensité) est une perspective à travailler en groupe de normalisation.

Essai de traction sur films libre de finition : L'étude INFIPERF montre que les essais de traction sur films de finition permettent de déterminer si un produit de finition présente un profil ductile (risque de craquelage faible) ou un profil fragile (risque de craquelage élevé). Il s'avère indispensable de mener également ces essais sur des films ayant subi un vieillissement car celui-ci modifie les propriétés mécaniques des films : en général l'allongement à la rupture diminue, le module élastique augmente ainsi que la contrainte. Dans cette étude, le vieillissement des films a été effectué dans l'enceinte de vieillissement artificiel durant 3 semaines. Cette durée n'est probablement pas suffisamment longue pour refléter l'impact à long terme du vieillissement sur les propriétés mécaniques des films. Dans cette étude, les essais de traction ont été réalisés à température ambiante. A partir des films vieillis, inclure des essais traction réalisés à température basse (0°C ou -5°C) permettrait une meilleure discrimination des profils (ductile ou fragile) et donc une meilleure sélection des finitions les plus aptes à résister au craquelage.

Dans cette étude, seuls des films monocouches, constitués des topcoats, ont été étudiés. Il convient à l'avenir de réaliser des essais de traction sur des systèmes complets. Ils présentent une épaisseur sèche plus importante que celle des topcoats seuls, ce qui influe sur les résultats. Une telle étude permettrait d'affiner les critères de performances des systèmes de finition car elle permettrait une comparaison plus fiable avec les résultats des essais de vieillissement naturel des systèmes complets appliqués sur bois. Elle permettrait également de savoir si les propriétés mécaniques d'un système de finition complet sont pilotées par la couche ayant les propriétés mécaniques les plus faibles ou si celle ayant les propriétés mécaniques les plus fortes compense la plus faible. Ces résultats permettraient une meilleure élaboration des systèmes de finition afin de savoir s'il convient de placer la couche la plus déformable au plus près du bois (primaire, midcoat) ou, au contraire, au plus près des intempéries (topcoat). Les champignons de bleuissement peuvent perforer les systèmes de finition et donc fragiliser les propriétés mécaniques des films. Réaliser des tests de traction sur films vieillis naturellement et colonisés par des champignons de bleuissement permettrait d'évaluer l'impact de ces microorganismes sur les performances mécaniques des finitions.

Dans cette étude INFIPERF, tous les modules élastiques initiaux des topcoats étaient inférieurs à la limite pressentie de 400 MPa suggérée par l'étude CODIFAB MECAFINIT. L'étude INFIPERF confirme qu'un faible module élastique n'est pas à lui seul un critère de performance. Certains topcoats avaient un faible module, mais présentaient un profil peu ductile, favorable au développement de craquelage (topcoats 4 et 8 par exemple). L'étude semble montrer que les topcoats qui présentaient un profil peu ductile ou fragile (donc avec un risque craquelage plus élevé) étaient ceux dont l'allongement à la rupture ne dépassait pas une moyenne de l'ordre de 100 %.

Vieillessement artificiel : Les essais de vieillissement artificiel sont utiles pour une première approche des performances. Cependant, il est important de comprendre qu'ils ne permettent pas de rendre compte de l'ensemble des phénomènes. En particulier l'absence de développement de champignons de bleuissement durant un essai de vieillissement artificiel occulte des phénomènes majeurs de dégradation qui peuvent avoir lieu lors d'une exposition au vieillissement naturel.

Outil technologique reconnu

FCBA et ses équipes d'experts accompagnent les entreprises des filières forêt-bois et ameublement dans l'amélioration de leur compétitivité sur leur marché

L'Institut met à disposition de ces entreprises le savoir-faire de ses ingénieurs et techniciens et la technologie de ses laboratoires, accompagne les professionnels dans la normalisation, l'amélioration de la qualité de leurs produits et les aide à intégrer les innovations technologiques. FCBA diffuse également de l'information scientifique et technique, fruit de son expertise en recherche et développement et veille technologique, économique et documentaire.

Aide à la conception et à l'innovation

Concevoir et construire avec le bois, respecter les normes et la réglementation. Pour l'ameublement, concevoir par l'usage et proposer des matériaux innovants avec le centre de ressources INNOVATHEQUE.

R & D

Être le porteur de l'innovation technologique pour permettre le développement des entreprises.

Centre de formation

Développer votre savoir-faire et vos compétences avec nos formations catalogue ou sur-mesure.

Bureau de normalisation

Animer et coordonner les travaux de normalisation du bois et des produits dérivés du bois et de l'ameublement.

Organisme certificateur

Marquage CE/RPC, CTB, NF, OFG, PEFC, FSC...

Laboratoires à la pointe

Chimie, physique, mécanique, biologie, finition, feu, biosourcés, matériaux...



INSTITUT
TECHNOLOGIQUE

Pour nous rejoindre

SIÈGE SOCIAL

10, rue Galilée
77420 Champs-sur-Mame
+33 (0)1 72 84 97 84

BORDEAUX

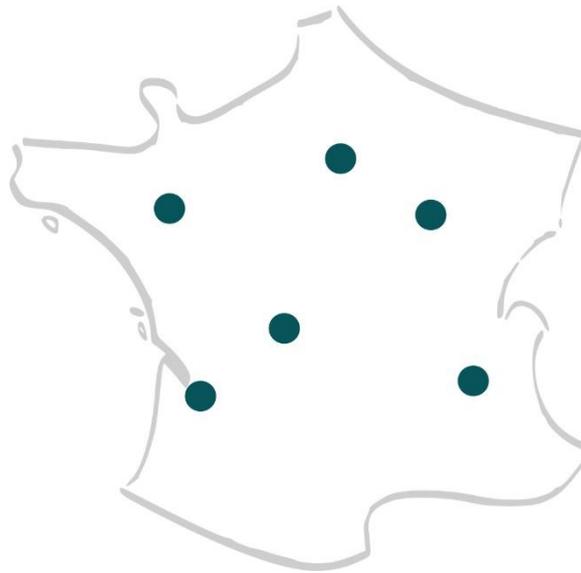
Allée de Boutaut - BP227
33028 Bordeaux Cedex
+33 (0)5 56 43 63 00

GRENOBLE

Domaine Universitaire
CS 90251
38044 Grenoble Cedex 9
+33 (0)4 56 85 25 30

CESTAS-PIERROTON

71, route d'Arcachon
33610 Cestas
+33 (0)5 56 79 95 00



NANTES

15, boulevard Léon Bureau
44200 Nantes
+33 (0)6 80 34 38 63

CHARREY-SUR-SAÔNE

60, route de Bonnencontre
21170 Charrey-sur-Saône
+33 (0)3 80 36 36 20

VERNEUIL-SUR-VIENNE

Domaine des Vaseix
87430 Verneuil-sur-Vienne
+33 (0)5 55 48 48 10



fcba.fr



6 Références bibliographiques

¹ NF EN 927-2 : 2022. Peintures et vernis - Produits de peinture et systèmes de peinture pour le bois en extérieur - Partie 2 : spécifications de performance

² NF EN 927-5 : 2023. Peintures et vernis - Produits de peinture et systèmes de peinture pour le bois en extérieur - Partie 5 : détermination de la perméabilité à l'eau liquide.

³ L. Podgorski. ETUDE CODIFAB MECAFINIT. Influence des propriétés mécaniques des films de finition sur la résistance au vieillissement. Juin 2023.

⁴ L. Podgorski. Towards new performance criteria for exterior wood coatings. European Coatings Journal, 04, 72-77, 2023.

⁵ NF EN 927-6 : 2018. Peintures et vernis - Produits de peinture et systèmes de peinture pour bois en extérieur - Partie 6 : vieillissement artificiel des revêtements pour bois par exposition à des lampes UV fluorescentes et à de l'eau.

⁶ NF EN 927-3 : 2019. Peintures et vernis - Produits de peinture et systèmes de peinture pour le bois en extérieur - Partie 3 : essai de vieillissement naturel.

⁷ NF EN ISO 2813 : 2014. Peintures et vernis - Détermination de l'indice de brillance à 20 °, 60 ° et 85.°

⁸ EN ISO 1522 : 2022. Peintures et vernis - Essai d'amortissement du pendule.

⁹ Grüll, G. Forsthuber, B., Ecker, M. Sensitivity of waterborne coatings materials to high acidity and high content of Arabinogalactan in larch heartwood. PRA's 9th International Woodcoatings Congress, Amsterdam (NL), 14-15 October 2014.

¹⁰ Mauguière-Guyonnet, F., Burget, D., Fouassier, J.P., Merlin, A. Photocurable formulations for wood coating applications. Proceedings of the FATIPEC Congress, Aix-en-Provence (FR), April 2004.

¹¹ Malassenet, L., George, B., Merlin, A., Podgorski, L. Persoz hardness: a useful property to study performance of exterior wood coatings. International Wood Products Journal, 6:4, 174-180, 2015.

¹² NF EN 16492 : 2014. Peintures et vernis - Évaluation de l'altération d'aspect de la surface des revêtements provoquée par les champignons et les algues.

¹³ NF EN 927-14 : 2023. Peintures et vernis - Produits de peinture et systèmes de peinture pour le bois en extérieur - Partie 14 : Détermination des propriétés en traction des films de revêtement.

¹⁴ S. Legay. Etude CODIFAB EDURFIN. Evaluation de la durabilité de bois traités au seuil limite d'Efficacité (SLE) et revêtus d'une finition. Avril 2025.