

N/Réf : 2015/651/AC/PTHB/FWAE

**Intérêts d'une application de peinture liquide
dans une cabine ventilée avec une large
plage de température d'application et
séchage**

N° : 074909**Date : Février 2015****Rapport**

Auteur(s) :**Olivier SANTRAINE
Pascal THOBIE*****Service :**

651

Rapport :partiel
final

Visas :Responsable technique de l'action :
Pascal THOBIEResponsable Actions Collectives :
Alain LEMASCON

Toute reproduction partielle susceptible de dénaturer le contenu du présent document, qu'il s'agisse d'une omission, d'une modification ou d'une adaptation engage la responsabilité du client vis à vis du CETIM ainsi que des tiers concernés.

Sommaire

1	Introduction	4
2	Comparaison des peintures	4
	Fournisseurs de peintures	4
	Peintures appliquée en dehors d'une cabine	6
	Peintures appliquées en cabine.	8
3	Gains énergétiques	9
	Cas type	9
	Principe de la méthode des degrés jour	9
	Avis des spécialistes peintures	10
4	Caractérisation d'une peinture appliquées à différentes températures	12
	Epaisseurs film sec mesuré (NF EN ISO 2808 méthode 7C : flux magnétique) :	13
	adhérence quadrillage (NF EN ISO 2409) et Dureté pendulaire (NF EN ISO 1522)	13
	Tenue bac Ford (résistance à l'immersion dans de l'eau) (NF EN ISO 2812-2)	14
	Tenue aux brouillards salins neutres avec blessure (NF EN ISO 9227)	15
5	Conclusion	18

1 INTRODUCTION

Le présent dossier d'instruction a pour objet d'appréhender les impacts techniques, logistiques et économiques de l'application d'une peinture liquide dans une cabine ventilée dont la fenêtre de régulation en température (15°C – 25°C) est plus large que ce qui est actuellement pratiqué (20°C). Ce mode de fonctionnement pose la question de la compatibilité des peintures avec les plages de températures de mise en œuvre.

Il suffit d'observer les applications peinture dans le bâtiment où, à 15°C, les peintres continuent à travailler sans rencontrer de problèmes de qualité, pour justifier cette question. In fine, l'intérêt serait d'envisager de réduire les coûts d'investissement et d'exploitation des ateliers disposant de cabines d'application de peinture en réduisant le dimensionnement des groupes de chauffage installés dans le but de diminuer les consommations de gaz.

2 COMPARAISON DES PEINTURES

Des contacts ont été établis avec différents fournisseurs de peintures, des applicateurs (maritime, machinismes agricoles, transport (hors automobile), industrie générale), des organismes techniques (ACQPA) ainsi qu'un cabinet ayant fait une étude sur la peinture pour le bâtiment. D'une façon générale et en première approche, l'aspect et les performances attendues pour une peinture bâtiment sont beaucoup plus faibles en performances que pour une peinture « industrie ».

FOURNISSEURS DE PEINTURES

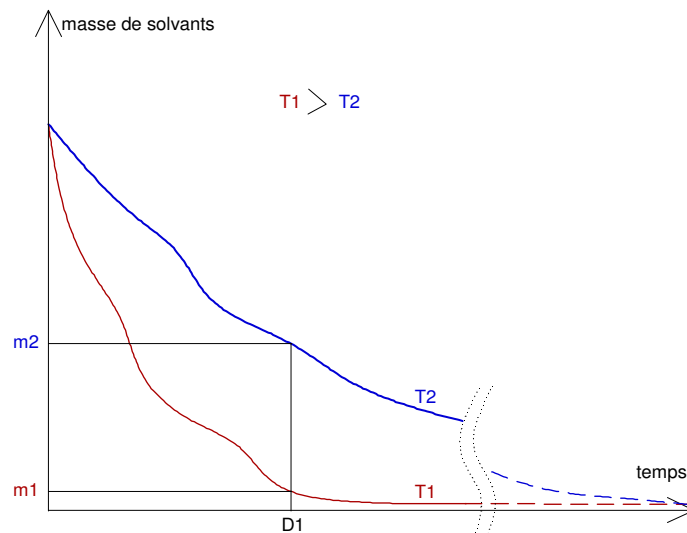
« Si l'on conserve les peintures industrielles et leurs niveaux de performances, comment à 15°C, rendre une peinture applicables? ». Les fabricants de peintures nous répondent qu'elles sont déjà applicables à 15°C et que techniquement, en dehors des peintures hydrodiluable, il n'existe aucun verrou technique.

L'explication est la suivante :

Les diluants utilisés pour les peintures sont des mélanges de plusieurs solvants.

- Certains sont lourds : leur vitesse d'évaporation est faible et leur contribution à la tension du film et l'aspect de la finition est importante,
- Certains sont légers : leur vitesse d'évaporation est forte et leur contribution est surtout liée au transport et la pulvérisation de la peinture (ajustement de viscosité).

En fonction de la température, la vitesse d'évaporation du mélange de solvants contenus dans les peintures varie.

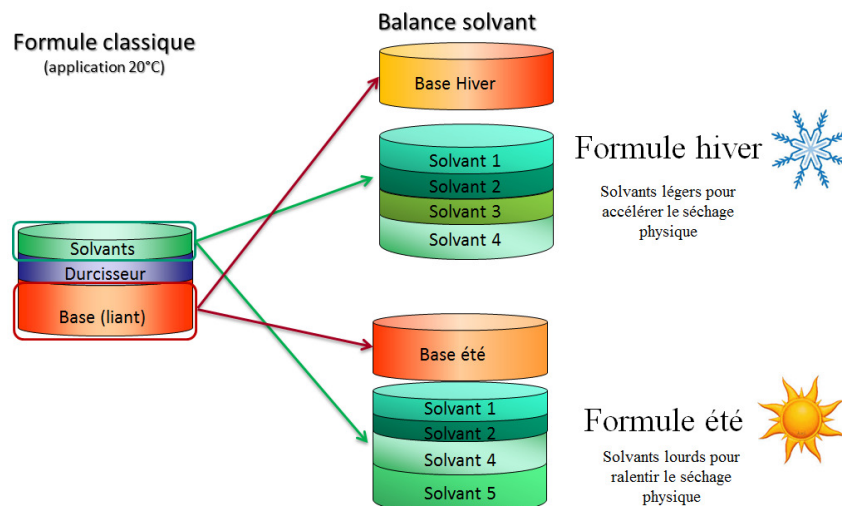


DOCUMENT 1 - REPRESENTATION SCHEMATIQUE DES COURBES D'EVAPORATION D'UN MEME SOLVANT A DEUX TEMPERATURES T1>T2

La balance solvant permet donc, en fonction de la nature des produits et de la formulation des bases et diluants, d'ajuster la viscosité et la courbe d'évaporation des peintures. Cependant tout n'est pas possible. D'une façon générale, les balances solvants sont réglées pour des applications de l'ordre de 20°C. Si la température augmente (ex : 25°C), il est possible d'augmenter la fraction lourde de solvants afin de régler la vitesse d'évaporation. Inversement si la température diminue.

Pour les fabricants de peintures, techniquement il est possible de proposer des formulations adaptées à des plages de températures d'application. En revanche, cela impose à l'applicateur de gérer ses stocks de produits (notamment l'obsolescence) en fonction d'une nouvelle variable : la température d'application.

Il est communément considéré 2 plages de température 15°C-20°C, 20°C-25°C. En pratique, les formules sont réglées sur la plage 20°C-25°C pour pallier les températures hautes en été et le fait que les cabines d'application sont rarement climatisées.



DOCUMENT 2 - SCHEMA RECAPITULATIF DES PREPARATIONS PEINTURE EN FONCTION DE LA TEMPERATURE

Cette méthode est principalement destinée aux produits solvantés classiques. Certains fournisseurs parviennent même à gérer les écarts de température par la seule gestion de diluants spécifiques selon la température.

En revanche, les produits HES (Haut Extrait Sec) et hydrodiluable sont beaucoup plus exigeants (*les premiers contenant peu de solvants et les seconds contenant principalement de l'eau*) pour être appliqués sans contrôle de la température d'application. La mise en œuvre de réchauffeurs peut être une possibilité. Nous attirons l'attention sur l'emploi des réchauffeurs qui, s'ils semblent une solution attirante, sont difficiles à mettre en œuvre et ne sont pas compatibles avec certains types de peintures, notamment les apprêts riches en zinc ou chargés en pigments anticorrosion pour lesquels le risque de bouchage est important.

Une autre possibilité, vite écartée, est d'augmenter les solvants pour les HES ou les co-solvants pour les hydrodiluable. On va alors à l'encontre de la réduction des COV engagée il y a plusieurs années.

Si l'on élargit la plage de contrôle de la température à l'application, il est probable que l'économie entrevue aille jusqu'à la cuisson des pièces. Se pose alors la question du temps d'attente nécessaire avant de considérer qu'une pièce peinte peut être manipulée sans dégradation par l'atelier suivant (assemblage ou l'expédition).

Sans mode de chauffage particulier des pièces peintes, il est raisonnable de penser que 21 jours permettent de garantir tout risque de défaillance lié à un défaut de polymérisation (toutes les règles de l'art étant respectées par ailleurs).

Si une cuisson est envisagée, sans contrôle de la température d'application, selon la température de l'atelier, le temps de désolvatation avant cuisson peut varier pour un HES, de 6min (application 20°C SAS de désolvatation 30°C contrôlé) à 120 minutes (application + désolvatation en atelier 15°C), pour une épaisseur d'environ 100µm.

Pour la cuisson des pièces, si ces dernières sont introduites trop tôt dans le four, le risque de bullage et de défaut d'adhérence est fort. Dans l'autre sens, l'influence d'une sur-désolvatation est plus faible et à peu d'effet.

PEINTURES APPLIQUEE EN DEHORS D'UNE CABINE

Dans cette catégorie, l'on trouve les peintures « bâtiment ». Elles ont un spectre très large d'application (8°C à 30°C) mais ont aussi un niveau de performances plus faible que les peintures « industrie », notamment vis-à-vis des critères suivants : résistance au choc, aspect et brillance du film. D'une façon générale, plus le spectre d'application est large, moins les performances sont fortes.

Les peintures bâtiment sont souvent des revêtements mono-composant pour lesquels le séchage physique du film est la principale préoccupation pour assurer l'adhérence de la peinture sur le support. Le temps qui sépare deux applications (recouvrement) n'est pas fixé avec précision et est de l'ordre de la journée. La température de l'air ambiant et l'hygrométrie (essentiellement l'absence de pluie) sont une indication quant à la possibilité d'appliquer ces peintures. La viscosité est ajustée à l'aide de solvants (majoritairement de l'eau). Les applications sont au rouleau et/ou la bosse. Le contrôle des épaisseurs n'est pas un point contrôlé avec rigueur, la propreté du support, l'homogénéité de la couleur et le nombre de couches sont les principaux indicateurs d'un revêtement correctement déposé. L'aspect étant le point faible de ces peintures, pour améliorer le rendu des peintures bâtiment, des agents de tension sont ajoutés alors que

ces additifs sont beaucoup moins présents dans les peintures industrielles pour des raisons de performance.

La nature chimique des produits employés est souvent à base d'alkyle d'acrylique ou vinylique. La polymérisation de ces peintures est assurée par captage d'oxygène contenu dans l'air sur des résines en C₁₈, C₂₀ C₂₂, c.a.d. composées de longues chaînes hydrocarbonées qui facilitent l'application mais ne permettent pas d'obtenir des propriétés physico-chimiques comparables à celles des époxydes, des polyuréthanes et acryliques bi composants classiquement utilisées dans l'industrie.

Il est important de noter que la tendance actuelle du bâtiment est de faire appel à des pièces peintes en atelier pour des raisons de qualité perçue.

Des fournisseurs de peinture nous ont indiqué que pour des peintures bi-composants, la cuisson des pièces n'est pas ce qui influe sur la performance. Les pièces qui sèchent à température ambiante ont, à termes (21 jours), pratiquement les mêmes performances que celles ayant subi une polymérisation accélérée par passage dans un four. Ce point a été vérifié et les résultats sont proposés au chapitre 4.

Une autre catégorie de peinture est applicable sans réel contrôle de la température d'application : les revêtements de sol. Ces peintures sont souvent des bicomposants permettant d'obtenir de meilleures performances mécaniques que les peintures « bâtiment ». Les épaisseurs sont de l'ordre 10 à 100 fois plus importantes que celles des peintures appliquées en industrie et ne permettent pas d'atteindre les aspects de pièces peintes sur ligne de peinture.

Reste une activité qui utilise des revêtements comparables à l'industrie dans les conditions d'application du bâtiment. Il s'agit de la réalisation des revêtements destinés aux ouvrages d'art et marchés publics. Si une partie importante des pièces sont peintes en atelier (gardes corps, mobiliers urbains, candélabres...), la taille de certaines d'entre elles (ponts, monuments, stades...) oblige à des applications sur site, donc sans contrôle de la température. Dans ces cas là, on retrouve le mode de fonctionnement décrit par les fournisseurs de peinture et explicité au paragraphe précédent. Les performances attendues pour ces revêtements font souvent référence au fascicule 56, (cahier des charges de nombreux appels d'offre publics). Ce cahier des charges s'inspire de la norme ISO 12944 (1 à 8) « Anti-corrosion des structures en acier par systèmes de peinture » et notamment en termes de performance de la partie 6 « Essais de performance en laboratoire » où sont reprises les caractéristiques d'adhérence, de tenue anti-corrosion et à la condensation. Là encore, les critères d'acceptation sont bien en deçà de ce que l'industrie accepte en termes d'aspect.

Critères acceptés :

- cloquage 3 (S3) selon la norme NF EN ISO 4628-2,
- craquelage 3 (S3) selon la norme NF EN ISO 4628-4,
- écaillage 3 (S3) selon la norme NF EN ISO 4628-5.

Le cumul de ces 3 défauts ne doit pas dépasser 1 % de la superficie de référence.

PEINTURES APPLIQUEES EN CABINE

Concernant les pièces peintes sans convoyeur

Certains industriels utilisent des cabines ouvertes. Le contrôle de la température est alors directement lié à la température de l'atelier. Les pièces peintes séjournent sur une zone de stockage en intérieur avant d'être utilisées par l'atelier suivant.

Ce mode de fonctionnement rudimentaire est plus le fait de sociétés traitant des faibles quantités de pièces avec parfois une maîtrise de la qualité et une gestion des flux pas toujours optimisées.

D'autres industriels utilisent des cabines fermées (verticales ou horizontales) et fonctionnent par batch et laissent souvent les pièces se désolvanter dans la cabine (usage type cabine mixte). Ce type de fonctionnement ne permet pas la production de grandes quantités de pièces. Les industriels interrogés mettent souvent en avant la nécessité d'une application à température contrôlée afin d'atteindre des niveaux élevés de tendu et de brillance. C'est notamment le cas de certains chantiers navals qui, même avec des formulations adaptées, ont fait le choix de ne jamais descendre en dessous de 17°C pour des applications de peinture. La tendance des donneurs d'ordre dans ce secteur d'activité est d'exiger que les applications soient réalisées à 20°C afin d'obtenir des films à très haut brillant et des finitions tendues.

Des essais ont été réalisés avec des produits Awlgrip et Jotun. Le fait de travailler à des températures inférieures à 17°C confirme une perte de brillance et de tendu importante, même en adaptant la formulation des peintures avec des solvants rapides.

Sur des systèmes de peinture constitués de plusieurs couches, le fait de travailler à 15°C implique des temps de désolvantation pouvant dépasser 24h avant recouvrement, ce qui génère des en-cours dont l'importance est fonction d'une météo non contrôlée. Afin de gagner en efficacité, certaines sociétés navales mettent en œuvre des chapiteaux chauffés par air pulsé. Si le volume des pièces à réaliser le justifie, certains vont jusqu'à utiliser des cabines à ventilation fractionnée.

Remarque : l'utilisation de peintures hydrodiluable nécessite le contrôle de la température et de l'hygrométrie. Ces contrôles permettent de garantir l'aspect du film.

Concernant les pièces peintes avec convoyeur

Les réponses sont unanimes, Dimensionner une installation pour une application à 15°C déstabiliserait l'organisation de l'atelier en imposant des réglages (pression, diamètre de buse, gestuelle, dilution, choix de solvants...) et serait une source supplémentaire de non qualité. De plus, le temps de désolvantation étant variable en fonction des conditions d'application, le gain obtenu sur les cabines est minoré par la taille des SAS (normalement plus longs pour permettre une désolvantation dans les conditions les plus défavorables) et un temps de cycle plus long (augmentation de l'encours) que les industriels ne souhaitent pas.

Une remarque moins technique mais cependant intéressante fait référence au fait que les investissements et les coûts d'exploitation sont budgétairement des choses très différentes. Lors d'un investissement la recherche d'un coût minimal intéresse un acheteur mais pas nécessairement le responsable de production,

l'un pouvant voir un investissement à moindre frais sans perte de qualité théorique quand l'autre voit un risque potentiel d'erreur dont le coût de non qualité est potentiellement supérieur à l'économie réalisée.

3 GAINS ENERGETIQUES

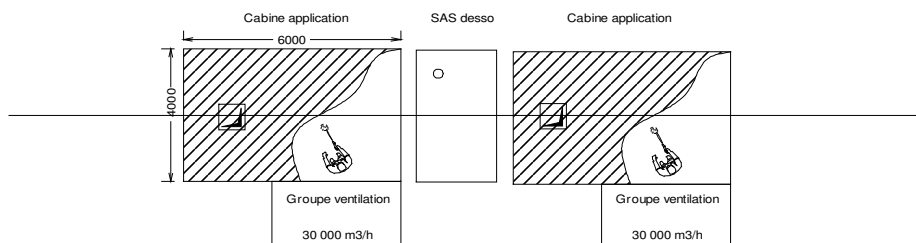
CAS TYPE

Afin de connaître les gains possibles en exploitation (gains énergétiques), nous avons considéré le cas de figure type suivant : Deux cabines en enfilades séparées par un SAS de dessolvantation. Cette configuration correspond à de nombreuses gammes pour lesquelles un apprêt et une finition sont appliqués sur une même ligne.

En termes de dimensionnement, à iso capacité, la vitesse du convoyeur est fixe. Le SAS est donc dimensionné pour le cas le plus défavorable, à savoir le temps de dessolvantation minimal de la peinture appliquée pour la plage de température la plus froide.

Idem pour les fours, dont la longueur est fixée par le temps de cuisson le plus long en fonction de la formule de peinture considérée. Un réglage possible de la température du four reste théoriquement possible et pratiquement quasiment jamais réalisé (sauf campagnes spéciales de production).

Pour faciliter la comparaison, seule l'économie d'énergie dans les cabines d'application par rapport aux températures d'application a été calculée (ce poste est normalement un des plus importants en énergie sur une ligne de peinture).



DOCUMENT 3 - SCHEMA TYPE POUR CALCUL D'ECONOMIE D'ENERGIE

Pour calculer les consommations prévisionnelles, nous avons opté pour une adaptation de la méthode des degrés jour. Nous avons choisi une ville au climat plutôt chaud : DAX (40), une ville au climat tempéré ORLEANS (45) une ville plus froide LANGRE (52).

PRINCIPE DE LA METHODE DES DEGRES JOUR

Cette méthode permet de calculer la consommation, donc le coût prévisionnel, d'un chauffage en calculant les DJU (degrés jour unifiés). Ces derniers correspondent à l'écart de température entre 18°C et la moyenne des températures de la journée et ceci pour un lieu donné.

A chaque journée correspond un DJU : $DJU_x = 18 - \frac{(T_x min + T_x max)}{2}$

Exemple : à Nantes

$$\text{Le 1/02/2014} \quad DJU = 18 - \frac{(4.6^\circ + 11.5^\circ)}{2} = 9.95^\circ\text{C}$$

$$\text{Le 2/02/2014} \quad DJU = 18 - \frac{(4.0^\circ + 10.8^\circ)}{2} = 10.6^\circ\text{C}$$

La somme des DJU pour l'année est ensuite appliquée au débit de ventilation pour une ouverture d'atelier en journée (8h/j), afin de déterminer un nombre de kW prévisionnel. Ces données sont disponibles sur les sites météo dont météo France ou certains sites de fabricants de systèmes de climatisation.

Comme nous venons de la décrire, cette méthode prend pour température de référence 18°C. Dans les calculs, chaque fois que la moyenne des températures journalières est supérieure ou égale à 18°C, le nombre de DJU = 0.

Si la température de référence est de 15°C, les DJU vont évoluer. Nous avons fait l'approximation suivante : l'écart de -3°C (15°C - 18°C) est appliqué à chaque jour sauf en juin, juillet, août et septembre. L'ensemble est minoré pour réduire l'impact des DJU de juin et septembre qui pourrait être nul car égal à 0.

De même, si la température de référence est de 20°C, les DJU vont évoluer. L'écart de 2°C (20°C - 18°C) est appliqué à chaque jour sauf en juillet et août.

Les résultats obtenus sont les suivants :

Ville référence	Tmini	Puissance installée (kW)		degrés jour approx		degrés jour	Pour 1 cabine de peinture de 6 x 4 m flux vertical (220j/h 8h/j)		
		15°C	20°C	15°C	20°C		18°C	15°C	20°C
DAX	-1,4	176 kW	230 kW	1078	2391	1785	2120 €/an	4704 €/an	3512 €/an
ORLEANS	-3,9	203 kW	256 kW	1795 kW	3138	2532	3531 €/an	6174 €/an	4981 €/an
LANGRE	-5,1	220 kW	274 kW	2199,8	3560	2954	4328 €/an	7004 €/an	5812 €/an

DOCUMENT 4 - GAIN POTENTIEL D'ENERGIE POUR UNE CABINE POUR UN KW A 4CTS D'EURO

Pour deux cabines, le gain représente environ 5K€ par an soit environ 4% du montant de l'investissement.

AVIS DES SPECIALISTES PEINTURES

Entrent dans cette catégorie, les personnes qui font du conseil en organisation, les inspecteurs peinture (ACQPA) et notre point de vue sur la question en fonction des différents audits d'installation que nous avons réalisé jusqu'à ce jour.

Lors d'audit, si la préparation de surface est la cause principale des défaillances, le contrôle des paramètres d'application demeure une source importante d'écarts. Il n'est pas rare de rencontrer des peintres n'ayant pas de fiches de réglage, n'ayant pas eu et encore moins lu les fiches techniques, contrôlant peu ou mal la viscosité des peintures.

D'un autre côté, les fournisseurs ne produisent quasiment jamais les courbes de viscosité en fonction de la température, ce qui rend le réglage d'autant plus difficile.

Aujourd'hui, la maîtrise d'un procédé passe par le contrôle des conditions de mise en œuvre. L'homologation des peintres permettant d'assurer un niveau technique minimal de connaissances est un point positif mais pas suffisant. Afin d'augmenter l'efficacité de applications peinture, il est important de figer ce qui peut être figé et de ne conserver variable ce que l'on peut régler. C'est d'ailleurs ce qui a été fait en application automobile où, à l'extrême, les cabines sont climatisées, les applications sont robotisées et les réceptions de peinture effectuées en laboratoire avant mise en service.

4 CARACTERISATION D'UNE PEINTURE APPLIQUEES A DIFFERENTES TEMPERATURES

Afin de valider des performances qui seraient indépendantes des conditions d'application, nous avons mené un essai comparatif pour un même support, pour une même peinture appliquée mais avec des conditions thermiques différentes.

- Les plaquettes sont des tôles Q panels en acier non traité,
- La peinture est une monocouche PU SPU FIN HES de chez Celliose,
- La préparation de surface avant application est un dégraissage solvant (acétone) séchage air ambiant.

Après préparation des peintures (réglage de la viscosité par ajout d'une quantité de diluant identique dans les deux cas), deux séries d'applications sont réalisées dans une cabine à flux vertical régulé.

	Série 1	Série 2
Buse	1,4mm	1,4mm
Température d'application	10°C	20°C
HR	60%	45%
Pression d'application	2 bars	2 bars
épaisseur humide	140µm	140µm
dessolvantation	2h à 15°C	40 min 20°C
Séchage	2h à 15°C	60 min 70°C
Maturation	21jour T° ambiant	21jour T° ambiant

Les épaisseurs humides mesurées sont sensiblement les mêmes.

La seule variable est donc la température et hygrométrie lors de l'application et du séchage.

Après 21 jours de maturation, les essais de caractérisation sont réalisés sur la base des essais de tenue au brouillard salin et à l'immersion dans l'eau :

Les résultats sont les suivants :

EPAISSEURS FILM SEC MESURE (NF EN ISO 2808 METHODE 7C : FLUX MAGNETIQUE) :

Deux groupe de plaquettes : celles notées Fx (Série 1 : application 20°C / séchage 70°C) et Cx (Série 2 : application et séchage à 15°C)

Plaquette	Epaisseurs film sec (µm)											moyenne	Ecart type
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
C1	68	58	54	64	62	66	58	56	58	56	60 µm	5 µm	
C2	47	47	52	62	56	52	48	47	49	52	51 µm	5 µm	
C3	52	58	60	56	58	60	54	52	50	54	55 µm	4 µm	
C4	56	58	54	58	56	58	60	52	54	54	56 µm	2 µm	
C5	46	52	52	54	58	56	48	48	50	46	51 µm	4 µm	
C6	49	60	54	56	60	52	52	50	50	50	53 µm	4 µm	
C7	60	56	64	64	62	66	62	64	64	60	62 µm	3 µm	
C8	58	60	54	50	56	56	50	48	45	50	53 µm	5 µm	
C9	52	54	50	54	52	45	49	50	46	50	50 µm	3 µm	
C10	52	54	58	60	58	58	56	60	56	62	57 µm	3 µm	
F1	49	54	52	52	50	49	52	52	54	47	51 µm	2 µm	
F2	58	45	52	56	49	50	48	47	46	49	50 µm	4 µm	
F3	47	45	42	46	43	41	43	42	43	46	44 µm	2 µm	
F4	54	52	54	50	46	52	43	39	42	46	48 µm	5 µm	
F5	52	54	58	58	56	52	56	54	54	54	55 µm	2 µm	
F6	41	39	45	56	54	52	52	56	56	56	51 µm	7 µm	
F7	49	56	54	58	60	58	64	54	46	43	54 µm	7 µm	
F8	50	52	54	52	54	58	50	52	48	46	52 µm	3 µm	
F9	58	58	60	62	60	56	54	54	52	48	56 µm	4 µm	
F10	54	54	52	54	52	52	48	47	47	39	50 µm	5 µm	
	53 µm										4 µm		

Les applications sont uniformes en épaisseur et sont donc comparables vis-à-vis des essais.

ADHERENCE QUADRILLAGE (NF EN ISO 2409) ET DURETE PENDULAIRE (NF EN ISO 1522)

Plaquette	Epaisseurs film sec (µm)											Quadrillage	Dureté pendulaire (Persoz) (Nbr A/R)				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	moyenne		Ecart type				
C8	58	60	54	50	56	56	50	48	45	50	53 µm	5 µm	0	265	262	265	moyenne= 245 Ecart type= 36
C9	52	54	50	54	52	45	49	50	46	50	50 µm	3 µm	0	204	192	196	
C10	52	54	58	60	58	58	56	60	56	62	57 µm	3 µm	0	274	271	272	
F7	49	56	54	58	60	58	64	54	46	43	54 µm	7 µm	1	111	66	82	moyenne= 89 Ecart type= 15
F8	50	52	54	52	54	58	50	52	48	46	52 µm	3 µm	0	87	88	78	
F9	58	58	60	62	60	56	54	54	52	48	56 µm	4 µm	0	87	88	112	

Vis-à-vis de l'essai d'adhérence par quadrillage, les conditions d'application ne modifient pas les performances. Ce résultat s'explique par le fait que la température d'application ne modifie pas les propriétés de la peinture et du support. Une perte d'adhérence peut être liée à une préparation de surface insuffisante ou à une fragilité du revêtement (ex : rendu cassant par une sur-cuisson dans le cas d'une poudre).

Concernant la dureté superficielle du revêtement, Il existe un rapport d'environ 2,5 entre les deux plaquettes.

Les pièces, pour lesquelles le revêtement est appliqué à 20°C + cuisson 70°C, présentent une dureté superficielle nettement plus importante que celle du revêtement appliqué et séché à 15°C.

La température a pour but d'accélérer la cinétique de polymérisation des revêtements. D'autre part elle augmente également la mobilité des molécules. On peut donc en déduire (car non vérifié ici) que l'élévation de température favorise une polymérisation plus dense par endroits, conduisant à une surface plus dure.

TENUE BAC FORD (RESISTANCE A L'IMMERSION DANS DE L'EAU) (NF EN ISO 2812-2)

Cet essai a été mené pendant 250h, ce qui est déjà important pour une monocouche à 50 µm

Ref	Epaisseurs film sec (µm)		Bac Ford						Quadrillage après 24h fin BF
			150h			250h			
	moyenne	ET	Enrouillement	Blanchiment	Cloquage	Enrouillement	Blanchiment	Cloquage	
C5	51 µm	4 µm	RiO	0	0(S0)	RiO	0	Cloques de dimensions inférieures à (S2) juste visibles en lumière rasante en quantité degré 2	0
C6	53 µm	4 µm	RiO	0	0(S0)	RiO	0	Cloques de dimensions inférieures à (S2) juste visibles en lumière rasante en quantité degré 4	0
C7	62 µm	3 µm	RiO	0	0(S0)	RiO	0	Cloques de dimensions inférieures à (S2) juste visibles en lumière rasante en quantité degré 4	0
F4	48 µm	5 µm	RiO	0	0(S0)	RiO	0	Cloques de dimensions inférieures à (S2) juste visibles en lumière rasante en quantité degré 2	0
F5	55 µm	2 µm	RiO	0	0(S0)	RiO	0	Cloques de dimensions inférieures à (S2) juste visibles en lumière rasante en quantité degré 5	0
F6	51 µm	7 µm	RiO	0	0(S0)	RiO	0	Cloques de dimensions inférieures à (S2) juste visibles en lumière rasante en quantité degré 4	1

Les résultats sont identiques mais ne montrent pas une détérioration du revêtement.

Afin de départager les deux modes d'application, il aurait été nécessaire de réaliser l'essai jusqu'à la détérioration significative d'au moins un des deux revêtements.

Nous concluons donc ici que la monocouche, vis-à-vis de l'essai de bac Ford est performante et vaut bien certains systèmes bi-couches.



TENUE AUX BROUILLARDS SALINS NEUTRES AVEC BLESSURE (NF EN ISO 9227)

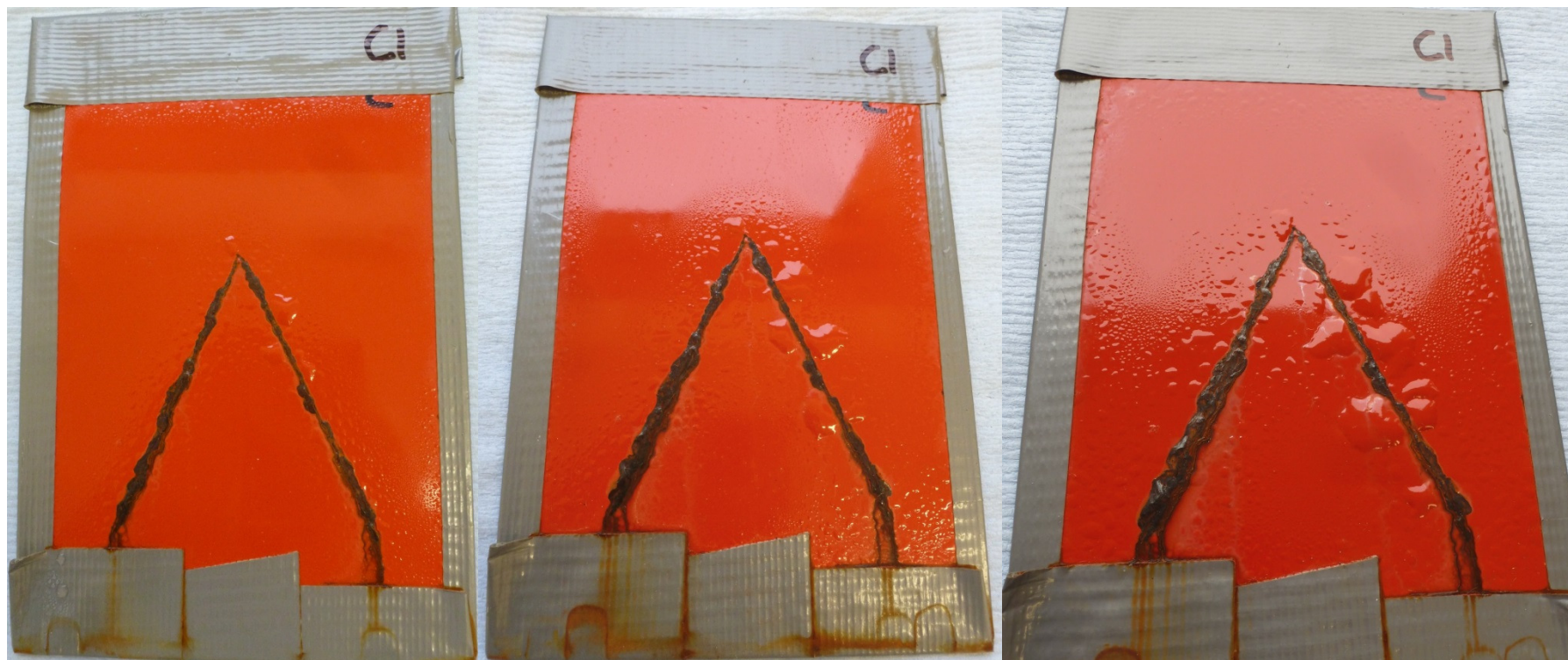
Cet essai a été mené pendant 500h. Les résultats sont les suivants :

Ref			250 h		400 h		500h		Quadrillage après 24h fin BS
	moy	ET	Pleine tôle (enroulement et cloquage)	Blessure Cloquage	Pleine tôle (cloquage, enroulement)	Blessure Cloquage	Pleine tôle (cloquage, enroulement)	Blessure Cloquage	
C1	60 µm	5 µm	<p><u>Enroulement</u> : RI0</p> <p><u>Cloquage</u> : 5(S2) autour d'un défaut juste visible en lumière rasante</p> <p>5(S2) uniquement sur les bords à environ 1 cm du scotch</p>	<p>1 cloque (S5)</p> <p>2 cloques (S4)</p> <p>Cloques (S2) et (S3) tout le long de la blessure</p> <p>Etendue de chaque côté de la blessure : 1,5 cm</p>	<p><u>Enroulement</u> : RI0</p> <p><u>Cloquage</u> : 5(S2) autour d'un défaut juste visible en lumière rasante</p> <p>5(S2) et 5(S3) uniquement sur les bords à environ 1,5 cm du scotch</p>	<p>4 cloques (S5)</p> <p>6 cloques (S4)</p> <p>Cloques (S2) et (S3) tout le long de la blessure</p> <p>Etendue de chaque côté de la blessure : 2 cm</p>	<p><u>Enroulement</u> : RI0</p> <p><u>Cloquage</u> : 5(S2), 5(S3) et 2(S4) sur les bords à environ 2 cm du scotch</p> <p>Reste 1/3 de la surface non recouverte de cloques</p>	<p>8 cloques (S5)</p> <p>Cloques (S2),(S3) et (S4) tout le long de la blessure</p> <p>Etendue de chaque côté de la blessure : 2 cm</p>	5
C3	55 µm	4 µm	<p><u>Enroulement</u> : RI0</p> <p><u>Cloquage</u> : 5(S2) autour d'un défaut juste visible en lumière rasante</p> <p>5(S2) uniquement sur les bords à environ 1 cm du scotch</p>	<p>1 cloque (S4)</p> <p>Cloques (S2) et (S3) tout le long de la blessure</p> <p>Etendue de chaque côté de la blessure : 1,5 cm</p>	<p><u>Enroulement</u> : RI0</p> <p><u>Cloquage</u> : 5(S2) autour de 3 défauts juste visible en lumière rasante</p> <p>5(S2) et 5(S3) uniquement sur les bords à environ 2 cm du scotch</p>	<p>1 cloque (S5)</p> <p>3 cloques (S4)</p> <p>Cloques (S2) et (S3) tout le long de la blessure</p> <p>Etendue de chaque côté de la blessure : 2 cm</p>	<p><u>Enroulement</u> : RI0</p> <p><u>Cloquage</u> : 5(S2), 5(S3) et 2(S4) sur les 2/3 de la surface des bords à environ 2 cm du scotch</p> <p>Reste 1/10 de la surface non recouverte de cloques</p>	<p>4 cloques (S5)</p> <p>Cloques (S2),(S3) et (S4) tout le long de la blessure</p> <p>Etendue de chaque côté de la blessure : pas mesurable</p>	5
C4	56 µm	2 µm	<p><u>Enroulement</u> : RI0</p> <p><u>Cloquage</u> : 5(S2) autour d'un défaut juste visible en lumière rasante</p> <p>5(S2) uniquement sur les bords à environ 1 cm du scotch</p>	<p>3 cloques (S4)</p> <p>Cloques (S2) et (S3) tout le long de la blessure</p> <p>Etendue de chaque côté de la blessure : 1,5 cm</p>	<p><u>Enroulement</u> : RI0</p> <p><u>Cloquage</u> : 5(S2) et 5(S3) uniquement sur les bords à environ 1,5 cm du scotch</p> <p>Reste : 3(S2)</p>	<p>3 cloques (S5)</p> <p>6 cloques (S4)</p> <p>Cloques (S2) et (S3) tout le long de la blessure</p> <p>Etendue de chaque côté de la blessure : 2 cm</p>	<p><u>Enroulement</u> : RI0</p> <p><u>Cloquage</u> : 5(S2), 5(S3) et 2(S4) sur les 2/3 de la surface des bords à environ 2 cm du scotch</p> <p>Reste 1/10 de la surface non recouverte de cloques</p>	<p>5 cloques (S5)</p> <p>Cloques (S2),(S3) et (S4) tout le long de la blessure</p> <p>Etendue de chaque côté de la blessure : pas mesurable</p>	5
F1	51 µm	2 µm	<p><u>Enroulement</u> : RI0</p> <p><u>Cloquage</u> : 5(S2) autour d'un défaut juste visible en lumière rasante</p> <p>5(S2) uniquement sur les bords à environ 1 cm du scotch</p>	<p>4 cloques (S5)</p> <p>3 cloques (S4)</p> <p>Cloques (S2) et (S3) tout le long de la blessure</p> <p>Etendue de chaque côté de la blessure : 1,5 cm</p>	<p><u>Enroulement</u> : RI0</p> <p><u>Cloquage</u> : 5(S2) et 5(S3) uniquement sur les bords à environ 1,5 cm du scotch</p> <p>Reste : 3(S2)</p>	<p>5 cloques (S5)</p> <p>2 cloques (S4)</p> <p>Cloques (S2) et (S3) tout le long de la blessure</p> <p>Etendue de chaque côté de la blessure : 2 cm</p>	<p><u>Enroulement</u> : RI0</p> <p><u>Cloquage</u> : 5(S2), 5(S3) et 2(S4) sur les bords à environ 2 cm du scotch</p> <p>Reste 1/5 de la surface non recouverte de cloques</p>	<p>7 cloques (S5)</p> <p>Cloques (S2),(S3) et (S4) tout le long de la blessure</p> <p>Etendue de chaque côté de la blessure : 2 cm</p>	5
F2	50 µm	4 µm	<p><u>Enroulement</u> : RI0</p> <p><u>Cloquage</u> : 5(S2) uniquement sur les bords à environ 1 cm du scotch</p>	<p>4 cloques (S5)</p> <p>1 cloque (S4)</p> <p>Cloques (S2) et (S3) tout le long de la blessure</p> <p>Etendue de chaque côté de la blessure : 1,5 cm</p>	<p><u>Enroulement</u> : RI0</p> <p><u>Cloquage</u> : 5(S2) et 5(S3) uniquement sur les bords à environ 1 cm du scotch</p> <p>Reste : 3(S2)</p>	<p>6 cloques (S5)</p> <p>4 cloques (S4)</p> <p>Cloques (S2) et (S3) tout le long de la blessure</p> <p>Etendue de chaque côté de la blessure : 2 cm</p>	<p><u>Enroulement</u> : RI0</p> <p><u>Cloquage</u> : 5(S2), 5(S3) et 2(S4) sur les bords à environ 1,5 cm du scotch</p> <p>Reste 1/2 de la surface non recouverte de cloques</p>	<p>7 cloques (S5)</p> <p>Cloques (S2),(S3) et (S4) tout le long de la blessure</p> <p>Etendue de chaque côté de la blessure : 2 cm</p>	5
F3	44 µm	2 µm	<p><u>Enroulement</u> : RI0</p> <p><u>Cloquage</u> : 5(S2) uniquement sur les bords à environ 1 cm du scotch</p> <p>Egalement des cloques (S3)</p>	<p>4 cloques (S5)</p> <p>3 cloques (S4)</p> <p>Cloques (S2) et (S3) tout le long de la blessure</p> <p>Etendue de chaque côté de la blessure : 1,5 cm</p>	<p><u>Enroulement</u> : RI0</p> <p><u>Cloquage</u> : 5(S2) et 5(S3) uniquement sur les bords à environ 1,5 cm du scotch</p> <p>Reste : 1(S2)</p>	<p>4 cloques (S5)</p> <p>Cloques (S2) et (S3) tout le long de la blessure</p> <p>Etendue de chaque côté de la blessure : 2 cm</p>	<p><u>Enroulement</u> : RI0</p> <p><u>Cloquage</u> : 5(S2), 5(S3) et 2(S4) sur les bords à environ 1,5 cm du scotch</p> <p>Reste 1/2 de la surface non recouverte de cloques</p>	<p>7 cloques (S5)</p> <p>Cloques (S2),(S3) et (S4) tout le long de la blessure</p> <p>Etendue de chaque côté de la blessure : 2 cm</p>	5

L'essai est allé jusqu'à la détérioration du revêtement et les résultats sont comparables. La plage de température lors de l'application et du séchage n'a pas d'effets significatifs sur la tenue de la peinture aux brouillards salins.



Série 2 : Evolution 240h – 400h – 500h en brouillards salins neutres



SERIE 1 : EVOLUTION 240H – 400H – 500H EN BROUILLARDS SALINS NEUTRES

5 CONCLUSION

Les peintures bâtiment sont principalement des peintures hydrodiluable mono-composant. Les performances sont peu compatibles avec les cahiers des charges utilisés couramment dans l'industrie. Les temps de de recouvrement comptés en jour dans le bâtiment, contre des minutes dans l'industrie, sont aussi un critère différenciant.

Les fournisseurs de peinture ne trouvent pas de verrous techniques à proposer des peintures pouvant être appliquées à 15°C comme à 20°C.

Il existe un gain réel à fonctionner avec une plage de température d'application large, pouvant représenter jusqu'à 4% annuel du coût d'achat des cabines.

Par rapport à ce gain, les réponses des industriels interrogés sont mitigées. Les petites PME optent pour des cabines ouvertes et ont alors l'impression de faire l'économie du groupe de chauffage, ce qui n'est pas complètement juste si l'on tient compte du fait que la cabine fonctionne en tout air neuf et que la compensation se fait par les ouvertures naturelles : le contrôle du chauffage est alors mal maîtrisé.

Les industriels pour lesquels la notion de flux et de cadence est importante craignent une augmentation de la longueur de la ligne (temps de désolvantation plus long) mais aussi un risque de non qualité en rendant variable un paramètre qui peut être bloqué.

Enfin si on s'intéresse aux industries qui ont poussé au plus loin le contrôle de l'air dans les cabines d'application, en particulier l'industrie automobile, on constate que les cabines sont climatisées afin de figer un maximum de variables et ainsi d'augmenter la répétabilité du procédé. Pour cela, les constructeurs automobiles se réfèrent aux méthodes qui calculent les CTA (Centrale de traitement d'Air) en fonction de critères :

- Technique : Utilisation des plages de température d'application comprises dans les fenêtres d'utilisation produites par les fabricants de peinture et sans modification des formules,
- Economique : Dimensionner pour faire le moins de froid possible tout en minimisant le réchauffement d'air (utilisation du diagramme de Mollier couplé au données météo les plus proches du site),
- Economique : Standardisation sur quelques types de CTA de façon à minimiser les pièces de rechange, les coûts de maintenance mais aussi les coûts d'achat par des effets de standardisation et de volumes achetés.

Ces calculs conduisent, pour la France, à un point de fonctionnement à 23°C.

Nota : L'évolution climatique pourrait conduire à reconsidérer ces calculs ou les lieux d'implantation de certains sites de production.

Proposition : sur la base de ce qui existe dans la ventilation double flux, serait-il possible d'envisager que les prises d'air soient réalisées sur des cheminées dont la conception permettrait à l'air sortant à 20°C de

préchauffer l'air entrant par un échangeur air/air. Lorsque celui-ci est proche de zéro (si l'on considère cette température pendant 3 mois dans l'année), pour 30 000 m³/h, le gain serait de 60 KW (efficacité échangeur air/air à 50%). Sur une moyenne de 3 mois dans l'année, ceci permettrait d'économiser autour de 1500 €/an/cabine.

De ce gain, il faut déduire :

- Le coût de l'échangeur,
- Le surdimensionnement des ventilateurs (perte de charge des échangeurs),
- Le dépassement de consommation électrique des ventilateurs.

En termes de performance, la principale différence de caractéristiques techniques entre les deux modes d'application est la dureté superficielle du revêtement. Aucun essai de vieillissement n'a été réalisé.