

GUIDE DES BONNES PRATIQUES EN RESSUAGE

Une aide pour choisir la technique la mieux adaptée

Article rédigé par Pierre Chemin et Patrick Dubosc en 2012

1- INTRODUCTION

Le ressuage est une méthode d'Essai Non Destructif (END), simple dans son principe, mais qui nécessite d'observer de bonnes pratiques pour obtenir des résultats fiables.

Vous trouverez dans cet article un certain nombre de conseils utiles. En aucun cas, cet article ne peut être considéré comme une norme ou une spécification.

Cet article est loin d'être exhaustif. Nous voulons seulement attirer votre attention sur des points qui nous semblent importants. C'est pourquoi nous vous recommandons vivement de lire les documents cités en référence, de même que les normes, spécifications et procédures publiées, ou acceptées, par vos donneurs d'ordre.

N'hésitez pas à nous faire part de vos commentaires et remarques.

Nous vous en remercions par avance.

2- CHOIX DE VOTRE FOURNISSEUR/FABRICANT

Il existe un grand nombre de fournisseurs et de fabricants. Autant choisir celui qui présente les meilleurs critères.

Les critères pour choisir un fournisseur/fabricant sont :

- Sa gamme de produits doit être étendue : produits standards tels que : un pénétrant fluorescent lavable à l'eau de sensibilité Niveau 2, mais aussi des produits spéciaux tels que : produits de ressuage hautes et basses températures, produits de ressuage thixotropes, etc.
- Le fournisseur doit être capable de fournir des produits qui satisfont à toutes, ou presque toutes les exigences des normes européennes, des normes ISO et des codes, et qui sont également homologués par de nombreux donneurs d'ordre.
En effet, un utilisateur peut travailler pour différents donneurs d'ordre. Par conséquent, il est donc important que les produits qu'il utilise soient homologués par TOUS les donneurs d'ordre pour lesquels il travaille. À la fin des années 70, des sous-traitants aéronautiques avaient une chaîne de ressuage spécifique dédiée à un seul constructeur de moteurs d'avion⁽¹⁾.

C'est difficile pour un fournisseur, et risqué pour l'utilisateur, si une seule homologation manque.

- Le fournisseur doit être capable de fournir des systèmes complets, c'est-à-dire, à la fois, les équipements et les produits/accessoires/mesureurs/pièces de référence.
- Il doit avoir un Département Recherche et Développement (R et D).
- Il doit avoir un support technique et d'assistance aux clients efficace.
- Il doit être efficace pour résoudre les problèmes et/ou les non-conformités qui se produisent sur la chaîne du client.
- Il doit avoir un système d'Assurance Qualité certifié ISO 9001.
- Il doit avoir un système de gestion environnementale et bénéficier de l'accréditation, en cours de validité, conformément à la norme ISO 14001.
- Il doit avoir un Responsable HSE (Hygiène, Sécurité, Environnement) et un Coordinateur REACH (REACH est l'acronyme pour : enRegistrement, Evaluation et Autorisation des substances Chimiques).
- Etc.

Bien sûr, cela n'est pas gratuit.

Prenez vos dispositions pour auditer votre fournisseur de produits PT tous les ans.

3- QUALIFICATION ET CERTIFICATION DU PERSONNEL

Pour effectuer des contrôles fiables, le personnel (opérateurs, contrôleurs, etc.) doit acquérir les compétences nécessaires.

Une formation intra-entreprise, complétée par une formation dans des centres de formation renommés, est indispensable. En France, il faut s'attendre à ce que les centres de formation soient agréés par la Confédération Française pour les Essais Non Destructifs (COFREND). Dans la majorité des pays, les centres de formation sont homologués par des organismes de certification, et ils dispensent une formation théorique et une formation pratique.

Notez que le système de certification est assez différent aux États-Unis d'Amérique et en Europe. De grands domaines et des secteurs industriels dans le monde travaillent selon le système américain, dans lequel les Niveaux 1 et les Niveaux 2 sont certifiés par leurs employeurs, tandis que le système européen certifie même les Niveaux 1 par un organisme

tiers. Évidemment, cela conduit à certaines différences dans le processus de formation. Nous décrivons ici la façon selon laquelle cela est couramment pratiqué en Europe.

Plusieurs critères sont à la base du choix d'un centre de formation :

- Tout d'abord, le secteur industriel dans lequel les stagiaires travaillent : aérospatial, fonderie, maintenance ferroviaire, etc.
- Ensuite, alors que la formation théorique dispensée par les centres de formation est pratiquement du même niveau, il peut ne pas en être de même pour la formation pratique. Cela dépend naturellement des compétences et de l'expérience industrielle des formateurs, mais aussi de la qualité et de la quantité des équipements, accessoires, pièces comportant des défauts réels ou artificiels caractéristiques, etc. disponibles. Certains centres de formation investissent massivement chaque année dans du matériel récent qui contribue substantiellement à assurer une formation appropriée et de haute qualité.
D'autres récupèrent du matériel auprès d'industriels qui, soit renouvellent leurs équipements, soit n'en ont plus besoin. Il peut s'agir, par exemple, de chaînes de ressuage qui, après révision, peuvent convenir comme outil pédagogique pour la formation.

Dans la majorité des cas, le personnel est certifié conformément aux normes EN 473 ou ISO 9712 ou équivalentes. Néanmoins, certaines personnes extérieures, bien que non certifiées, mais avec une bonne expertise, peuvent également être des formateurs valables.

4- PRÉPARATION DE SURFACE ET NETTOYAGE PRÉLIMINAIRE

Le ressuage ne permet de détecter que les discontinuités ouvertes et débouchant en surface.

Cependant, des contaminants peuvent colmater et/ou masquer les discontinuités.

Par conséquent, l'élimination de ces contaminants avant un contrôle par ressuage, sans affecter les caractéristiques mécaniques et la limite de tenue en fatigue du substrat, est impérative.

Dans un de nos articles ⁽²⁾, nous suggérons un certain nombre de techniques de décapage et de précautions à prendre. En particulier, nous recommandons d'effectuer un léger décapage chimique, si nécessaire, après le décapage mécanique pour faciliter la dissolution du métal qui a flué.

La norme ISO 3452-1 fournit des recommandations utiles concernant la préparation de surface des pièces avant ressuage.

Après décapage, le dégraissage avant ressuage est une opération INDISPENSABLE et

DÉCISIVE pour garantir un contrôle fiable.

Nous avons publié un article traitant du dégraissage avant ressuage ⁽³⁾.

Notez que si les normes de la série ISO 3452 et la spécification SAE-AMS 2644E ne stipulent pas d'exigences concernant les solvants utilisés pour le nettoyage des pièces avant ressuage, certains donneurs d'ordre stipulent des teneurs maximales admissibles en impuretés (par exemple : chlore, fluor, soufre, etc.) pour ces solvants comme pour les autres produits de ressuage.

5- PRODUITS

Ils doivent être fiables. Leur qualité et leur performance doivent être stables au cours du temps et lot après lot. Cela suppose que le fabricant soit en mesure de détecter toute dérive.

De son côté, l'utilisateur doit également être en mesure de détecter de tels problèmes afin de mettre en évidence une éventuelle défaillance de son fournisseur.

5.1- GESTION DES PRODUITS

Un certain nombre de points méritent une attention particulière. Tout spécialement, vérifiez que :

- Les Certificats de conformité des produits comportent au moins le nom du produit, son numéro de lot, sa date de péremption ⁽⁴⁾, la référence aux normes/codes/spécifications applicables, éventuellement sa date de fabrication, etc.
- Les Procès-Verbaux d'Essais en Laboratoire comportent au moins :
 - o Le nom du produit.
 - o Le numéro de lot.
 - o La date de péremption.
 - o La référence aux normes/codes/spécifications applicables.
 - o La description des essais et leurs méthodes d'essais normalisées applicables.
 - o Les valeurs des limites inférieures et supérieures acceptables.
 - o Les résultats d'essais.
 - o etc.
- Le cas échéant, les certificats d'analyse des halogènes, du soufre, du sodium, du potassium, etc.

La gestion des lots de produits est importante et doit tenir compte des dates de péremption. Cela nécessite de ranger soigneusement les produits au magasin et de sortir les produits dont les dates de péremption sont les plus proches à venir. Certains pensent que la règle est : “Premiers rentrés, premiers sortis”. Cela suppose que les produits livrés comportent une date de péremption qui ne soit pas antérieure à celle des mêmes produits livrés antérieurement. Cependant, il est déjà arrivé que certains fournisseurs, dont les magasins étaient mal gérés, ne respectent pas cette règle à la lettre.

Par conséquent, à réception d’une livraison, l’utilisateur doit soigneusement vérifier :

- Que l’emballage est en bon état.
- Que les données sont concordantes (étiquettes, certificats, rapports d’essais).
- Que les produits livrés ne sont pas périmés, comme déjà vu.

À notre avis, la durée de vie résiduelle d’un produit, comme l’exigent certains donneurs d’ordre, doit être d’au moins six mois avant sa date d’expiration.

La date de péremption, fixée par le fabricant, suppose que le produit soit conservé dans les conditions prescrites par le fabricant telles qu’elles sont mentionnées, à l’alinéa 7. 2 – *Stockage*, de la fiche de données de sécurité établie conformément à l’Annexe II *Guide d’élaboration des fiches de données de sécurité* du Règlement (CE) N° 1907/2006⁽⁵⁾.

Comme règle de sécurité, les quantités de produits sorties du magasin doivent être utilisées le jour même.

5.2- COMPATIBILITÉ DES PRODUITS DE RESSUAGE AVEC LES MATÉRIAUX

Le ressuage étant une méthode de contrôle non destructif ⁽⁶⁾, cela implique que les produits de ressuage ne doivent pas exercer d’action néfaste sur les matériaux sur lesquels ils sont appliqués.

La norme ISO 3452-2 et la spécification SAE-AMS 2644E stipulent des essais pour vérifier que les produits de ressuage sont non corrosifs vis-à-vis de certains alliages métalliques.

Dans certains cas, les zones à contrôler sur des pièces se trouvent à proximité de zones où les produits ne doivent pas être. Les produits de ressuage thixotropes ⁽⁷⁾ ont été conçus pour résoudre ce problème.

Si des produits de ressuage non thixotropes sont utilisés, les zones qui ne sont pas à contrôler doivent être masquées.

Cependant, le ressuage est utilisé sur certains matériaux non métalliques ⁽⁸⁾.

Pour de plus amples informations, nous vous recommandons de lire notre article concernant la compatibilité des produits de ressuage avec les matériaux ⁽⁹⁾.

De plus, nous avons publié un article traitant de la compatibilité des produits de ressuage avec l'oxygène liquide ⁽¹⁰⁾.

En cas de doute sur des matériaux exotiques, n'hésitez pas à faire des essais préliminaires de compatibilité pour éviter toute mauvaise surprise !

5.3- CLASSIFICATION DE LA SENSIBILITÉ DES PÉNÉTRANTS

Au cours du temps, la norme ISO 3452-2 a presque entièrement dupliqué la spécification SAE-AMS 2644E en ce qui concerne la classification des produits de ressuage.

La spécification SAE-AMS 2644E comporte une annexe, la liste des produits homologués (QPL = Qualified Products list) alors que la norme ISO 3452-2 n'inclut pas une telle liste.

Les constructeurs aéronautiques imposent que les produits de ressuage soient inscrits dans la QPL-SAE-AMS 2644 ; parfois, ils publient leur propre QPL qui ne mentionne que certains des produits de la QPL de l'AMS ⁽¹¹⁾.

Leurs fournisseurs et sous-traitants doivent toujours se conformer à cette exigence.

5.4- UTILISATION DES PRODUITS

L'utilisateur doit se conformer aux gammes de ressuage stipulées dans les normes et spécifications applicables.

Le ressuage est une méthode d'END qui exige la plus grande propreté.

Le mot "propreté" signifie :

- La surface des pièces à contrôler doit être débarrassée de tout ce qui n'est pas métal sain.
- Le poste de travail doit être propre.
- Les mains de l'opérateur/du contrôleur doivent être propres. Ne pas consommer de denrées alimentaires quelles qu'elles soient en effectuant un contrôle par ressuage.

Les produits doivent être utilisés conformément aux instructions prescrites à l'alinéa 7. 1 – Manipulation et, le cas échéant à l'alinéa 7.3 - Utilisation(s) particulière(s), de la fiche de données de sécurité établie conformément à l'Annexe II *Guide d'élaboration des fiches de données de sécurité* du Règlement (CE) N° 1907/2006 ⁽⁵⁾.

Le stockage des générateurs d'aérosols ⁽¹²⁾ nécessite de respecter certaines règles.

Travailler proprement consiste par exemple, à n'appliquer les produits que sur les zones à contrôler, autant que possible, et en n'appliquer que la quantité la plus faible possible-⁽⁸⁾.

- L'application des pénétrants est généralement plutôt facile. Cependant, certains produits nécessitent des moyens spécifiques d'application pour obtenir des résultats fiables. Par exemple :
- L'émulsifiant hydrophile ^{(13 (14))}.
- Le révélateur sec ⁽¹⁵⁾.
- Le révélateur humide non aqueux ⁽¹⁶⁾.

5.5- PERFORMANCE GLOBALE DU SYSTÈME

Le contrôle de la performance globale du système est effectué à l'aide de pièces de référence telles que :

- Type 2 de la norme ISO 3452-3.
- Pièces de référence avec défauts connus, telles que l'éprouvette PSM-5[®], les éprouvettes jumelles KDS[®] ⁽¹⁷⁾.
- Toute autre pièce comportant des discontinuités connues.

La performance globale du système est contrôlée en effectuant des essais comparatifs, entre les produits en cours d'utilisation et les mêmes produits neufs et non utilisés, en observant exactement les mêmes paramètres de la gamme de ressuage, quotidiennement avec les premières pièces ou le premier panier de pièces et en fin de poste ou de journée pour que les opérateurs soient certains que toutes les pièces ont été traitées conformément aux critères spécifiés.

Les éprouvettes jumelles KDS[®] permettent la comparaison, côte à côte, des produits en cours d'utilisation avec les mêmes produits neufs, car les éprouvettes d'une même paire sont strictement identiques.

Les autres éprouvettes (telles que : celle du Type 2 de la norme ISO 3452-3, l'éprouvette PSM-5[®] etc.) ne sont pas rigoureusement identiques, même si elles proviennent d'un même lot de fabrication.

De ce fait, ces pièces de référence sont traitées avec les produits neufs, non utilisés, et photographiées.

Ces photographies de référence sont utilisées pour contrôler les résultats obtenus avec les produits en service.

Ces photos de référence, à l'échelle 1, visibles sous rayonnement UV-A dans le cas d'utilisation d'un pénétrant fluorescent, doivent être réalisées par certains fournisseurs compétents de produits de ressuage qui ont du matériel/des éclairages/des procédures spécialisés pour la prise de photos, plutôt que de demander à des photographes professionnels de faire ce travail. Beaucoup de photographes professionnels ne connaissent rien, ni du ressuage, ni des conditions de prise de vue exactes requises pour cette application.

Les conditions en laboratoire permettent d'obtenir constamment de meilleurs résultats que sur le terrain. C'est pourquoi nous demandons de réaliser ces photos dans des conditions RÉELLES de travail : comparer des photos journalières à celles de référence est plus significatif⁽¹⁸⁾.

Dans tous les cas, l'aspect du réseau des indications de fissures, leur couleur ainsi que le niveau de fond sont comparés.

Notez que les photographies peuvent reproduire de manière imprécise les fissures et les couleurs.

De plus, c'est une bonne idée de prendre une photo des pièces de référence au moins une fois par an, avec des produits entièrement neufs, pour parer à une dérive lente de l'aspect/réseau des indications. Sinon, il serait de plus en plus difficile de faire correspondre la photo prise lors du test de performance globale avec la photo d'origine.

En alternative à la photographie, certaines normes et spécifications permettent l'utilisation d'un révélateur pelliculaire ⁽¹⁹⁾. Pourquoi pas ?...Mais, connaissez-vous un fournisseur de produits de ressuage qui dispose d'un tel révélateur ?

Notez également que, parfois, les pièces de référence Type 1 de la norme ISO 3452-3 sont utilisées, bien qu'elles soient plutôt conçues pour la vérification de la sensibilité.

Pour obtenir des résultats reproductibles, les pièces de référence doivent être nettoyées ⁽²⁰⁾ immédiatement après chaque essai. Ce nettoyage ne doit pas modifier les fissures.

5.6- VÉRIFICATION DES PRODUITS EN SERVICE

Une vérification périodique des produits en service est requise pour s'assurer de leur conformité aux normes et aux spécifications applicables et garantir la fiabilité de détection des discontinuités. Ces vérifications concernent essentiellement les produits en service utilisés dans des chaînes manuelles, semi-automatiques et automatiques. Cependant, elles ne

s'appliquent généralement pas aux produits "à usage unique", tels que ceux conditionnés en générateurs d'aérosols.

Certains essais ne nécessitent qu'un examen visuel :

- L'aspect du pénétrant : un aspect laiteux d'un pénétrant lavable à l'eau doit faire suspecter, à l'utilisateur, la présence d'eau en quantité supérieure à sa tolérance à l'eau. Ne pas confondre "tolérance à l'eau" et "teneur en eau" ⁽²¹⁾.
- L'aspect du révélateur sec ainsi que l'absence de grumeaux, son taux d'humidité ⁽⁴⁰⁾ et le nombre de mouchetures fluorescentes, etc.

D'autres nécessitent un équipement simple et peu onéreux :

- La concentration des pénétrants à base aqueuse : en utilisant un réfractomètre à main étalonné.
- La concentration de l'émulsifiant hydrophile : en utilisant un réfractomètre à main étalonné.
- La concentration du révélateur hydrosoluble ou en suspension dans l'eau : un hydromètre.
- La fluorescence du révélateur sec : une source UV-A et un disque ⁽¹⁴⁾.
- La fluorescence du révélateur hydrosoluble ou en suspension dans l'eau : une source UV-A.
- L'intensité de coloration des pénétrants colorés : un échantillon de pénétrant à contrôler, un échantillon du pénétrant de référence, du solvant non volatil et des tubes à essais.
- L'intensité de fluorescence des pénétrants fluorescents : un échantillon de pénétrant à contrôler, un échantillon de pénétrant de référence, une source UV-A et :
 - o Soit, un solvant non volatil et des tubes à essais.
 - o Soit un solvant volatil et des papiers filtres.

D'autres nécessitent des équipements relativement onéreux, car certaines normes et spécifications recommandent ou imposent d'effectuer différents essais sur les pénétrants utilisés en cuves, tels que :

- La mesure mensuelle de la teneur en eau pour les pénétrants lavables à l'eau à base non aqueuse. Ne pas confondre "teneur en eau" et "tolérance à l'eau" ⁽²¹⁾.
- Le contrôle trimestriel de l'intensité de la fluorescence des pénétrants fluorescents à l'aide d'un fluorimètre.
- L'analyse physico-chimique annuelle des pénétrants pour confirmer que tous les paramètres sont dans les limites acceptables.

Ces analyses sont habituellement effectuées par les fabricants, mais également par certains fournisseurs, de produits de ressuage qui ont les compétences et les équipements nécessaires. Les résultats, comparés aux valeurs nominales d'un échantillon du même produit neuf et non utilisé et aux valeurs des limites acceptables, sont consignés dans un rapport d'essais en laboratoire.

Si le produit analysé n'est pas conforme aux exigences requises, le produit doit être vidangé et remplacé par du produit entièrement neuf. Néanmoins, lorsque les volumes sont énormes, il peut être utile de demander au fabricant un "ajustement" du produit. Le fabricant doit alors effectuer une batterie d'essais avant de certifier que le produit "ajusté" satisfait à toutes les exigences applicables.

Notez que certains fabricants peuvent accepter de prolonger la durée limite de stockage ⁽⁴⁾ d'un produit. Rien n'interdit à un utilisateur de demander au fabricant.

Cette procédure n'est applicable qu'aux produits qui n'ont jamais été utilisés, qui ont été conservés en emballages d'origine hermétiquement clos dans des conditions appropriées de stockage.

Avant d'entreprendre cette démarche, mieux vaut s'assurer que le produit semble en bon état. Par exemple, vérifiez que le débit d'un générateur d'aérosol est continu sans à-coup, et assurez-vous de l'absence de colmatage au niveau de la buse de pulvérisation et de la valve. Vérifiez l'absence d'odeur anormale, de séparation, de turbidité, etc. d'un produit liquide.

Dans le cas contraire, inutile d'entreprendre une telle démarche.

5.7- LEVÉE DE DOUTE

Cette opération est destinée essentiellement à vérifier et à interpréter les indications hors critères d'acceptation. Essuyer l'indication doucement à l'aide d'un pinceau souple ou d'un coton-tige légèrement humecté de solvant volatil tel que l'acétone. Puis, pulvériser un voile mince de révélateur à base de solvant (humide non aqueux), dans le cas d'indications linéaires (ou pas de révélateur dans le cas d'indications non linéaires). Si, dans les deux minutes, l'indication réapparaît, sous rayonnement ultraviolet, elle est confirmée.

Ce sujet a été traité dans notre article ⁽²²⁾. Nous vous recommandons de le lire car il vous apportera beaucoup d'informations sur cette technique qui est extrêmement importante et critique.

5.8- TRAITEMENT DES EFFLUENTS

Les produits PT génèrent des effluents gazeux, liquides ou des déchets solides, et leur traitement ne constitue pas un quelconque obstacle à la méthode. En effet, les procédés de traitement sont utilisés depuis des décennies et donnent des résultats convenables.

Les effluents gazeux ne nécessitent généralement pas de traitement particulier car ils sont de moins en moins importants en volume.

En effet, la Directive n° 1999/13/CE ⁽²³⁾, modifiée par la Directive n° 2004/42/CE, vise à la réduction des émissions de composés organiques volatils ⁽²⁴⁾ dues à l'utilisation de solvants organiques dans certaines activités et installations.

Les fabricants de produits PT ont fait de sérieux efforts en ce sens, par exemple, en remplaçant les gaz liquéfiés de pétrole (GPL), utilisés comme agents propulseurs, par du dioxyde de carbone (CO₂)⁽²⁵⁾⁽²⁶⁾ dans les générateurs d'aérosols.

Plusieurs techniques sont utilisées pour le traitement des eaux usées⁽²⁷⁾.

Les déchets solides ne posent pas de problèmes. Les techniques préférées sont :

- L'incinération des chiffons et des papiers.
- La mise en décharge réglementaire des déchets solides.

6- CONDITIONS D'ÉCLAIRAGE ET D'OBSERVATION

Les conditions d'observation sont stipulées dans les spécifications applicables. Si ce n'est pas le cas, il est possible de se référer à la norme ISO 3059 qui décrit précisément les conditions d'observation. D'une manière générale, lors de l'utilisation de pénétrants colorés, l'éclairement lumineux sur la surface d'essais doit être supérieur ou égal à 500 lx. Lors de l'utilisation de pénétrants fluorescents, l'éclairement énergétique UV-A doit être supérieur à 10 W/m² avec un niveau de lumière visible ambiante inférieur à 20 lx. Les conditions d'observation doivent être contrôlées périodiquement à l'aide d'un radiomètre/luxmètre numérique étalonné.



Radiomètre/luxmètre numérique affichant simultanément les valeurs de l'éclairement lumineux et de l'éclairement énergétique (UV-A).

L'examen des pièces après la durée de révélation est une phase critique. En effet, le contrôleur doit concentrer toute son attention sur les pièces, observer, interpréter les indications, puis accepter ou rebuter les pièces.

Un contrôle fiable nécessite que :

- Le contrôleur dispose de suffisamment de place pour son travail.
- L'examen de la vision du contrôleur soit effectué périodiquement. Par exemple, la norme EN 4179 stipule : tous les ans pour la vision proche et au moins tous les cinq ans pour la perception des couleurs.
Il ou elle doit concentrer toute son attention au travail, ce qui nécessite d'avoir eu un sommeil réparateur ou de ne pas être tracassé(e) par des soucis personnels ou professionnels.
- Aucun éblouissement ne doit nuire à sa vision, que les pénétrants soient colorés ou fluorescents.
- En cabine d'examen UV-A, le contrôleur doit observer un temps d'adaptation à l'obscurité des yeux avant de commencer le contrôle. Des lunettes anti-UV sont recommandées, tandis que les lunettes photochromiques sont interdites.
- Dans une cabine d'examen UV-A, il ne doit pas y avoir de surfaces fluorescentes ou réfléchissantes ⁽²⁸⁾.
- La zone d'examen doit être propre. En particulier, aucune fluorescence parasite n'est acceptée, car elle est préjudiciable à l'aptitude du contrôleur à effectuer un travail convenable.
- Ne pas porter des vêtements et gants fluorescents sous rayonnement ultraviolet (UV-A).
- Quand cela est possible, ne pas porter des gants en coton lors du contrôle de pièces présentant des arêtes vives comme les aubes de turbines. En effet, les peluches de coton peuvent rester sur les pièces et donner des points fluorescents ⁽²⁹⁾.

7- CONFORMITÉ AUX PARAMÈTRES DE TRAITEMENT

Le ressuage nécessite la vérification d'un certain nombre de paramètres pour garantir la fiabilité de détection des discontinuités.

C'est en fait un vrai régal pour les auditeurs et une sorte d'épée de Damoclès qui plane sur la tête des audités, qui craignent de se voir infliger un ou plusieurs rapports de non-conformité (RNC).

Nous ne voulons pas donner de chiffres, concernant la périodicité ou les limites acceptables : les utilisateurs doivent se conformer aux normes et spécifications applicables, car chaque donneur d'ordre a ses propres exigences ⁽³⁰⁾.

Ces paramètres sont :

- Les durées de pénétration, rinçage, émulsification, lavage, séchage, révélation, etc. ⁽³¹⁾. Dans les chaînes manuelles, chaque poste est équipé d'une minuterie. Des compteurs/décompteurs (compte à rebours) numériques multicanaux permettent la gestion des différentes durées. Chaque canal est doté d'une sonnerie spécifique pour chaque poste.
- Les températures de l'eau de rinçage/lavage et de l'étuve de séchage doivent être contrôlées à l'aide de thermomètres étalonnés ⁽³¹⁾. Parfois, la température de l'étuve de séchage doit être enregistrée en continu...même lorsqu'il n'y a pas de pièce à l'intérieur : gare au dépassement de la consigne de température ! ⁽³²⁾.
- Les pressions de l'air et de l'eau utilisés pour le rinçage et/ou le lavage à l'eau ⁽³¹⁾.
- Les pressions de pulvérisation des produits de ressuage ⁽³¹⁾.
- L'aspect de l'eau utilisée pour le rinçage/lavage des pièces doit être contrôlé. La mousse est souvent due à la présence d'agents de surface (agents tensio-actifs) qui peuvent provoquer une chute de la sensibilité ⁽²⁷⁾.

8- VÉRIFICATION PÉRIODIQUE DES ÉQUIPEMENTS ET DES ACCESSOIRES DE CONTRÔLE

- La propreté et la siccité de l'air comprimé doivent être vérifiées, ce qui nécessite de purger régulièrement les déshuileurs, les filtres à air, etc.
- La propreté de toute la chaîne doit être maintenue pour travailler dans les meilleures conditions.
- L'intégrité des filtres UV-A doit être vérifiée. Tout filtre fêlé ou cassé doit être immédiatement remplacé.

- Radiomètre UV-A, luxmètre, thermomètres et pièces de référence doivent être étalonnés ou vérifiés, et les certificats qui s’y rapportent doivent être tenus à la disposition des auditeurs.
- De même, les manomètres qui servent à mesurer la pression des fluides doivent être périodiquement étalonnés.
- Le contrôle des niveaux de produits doit être effectué régulièrement (voir le chapitre suivant).
- Les couvercles des cuves doivent être mis en place lorsque celles-ci ne sont pas utilisées, pour éviter la contamination des produits qui pourrait même les rendre corrosifs.
- Enfin, il est recommandé de nettoyer les cuves de pénétrant ⁽³³⁾, d’émulsifiant et les compartiments pour brouillard de révélateur, au moins une fois par an.

Rappelons néanmoins un point important : un appareil de mesure défini comme “indicateur” n’a pas à être étalonné. Ce peut être le cas d’un manomètre qui mesure la pression de l’air comprimé qui pousse le révélateur sec vers un pistolet électrostatique. Il appartient au Niveau 3 qui gère l’installation de définir quels appareils sont des indicateurs ; il faut, bien sûr, qu’ils soient précisément nommés dans la procédure applicable, voire étiquetés comme tels, pour éviter toute contestation par un auditeur.

9- SURVEILLANCE DES NIVEAUX DES PRODUITS

Chaque cuve doit être étiquetée pour identifier son contenu. L’étiquette doit mentionner :

- La désignation commerciale complète du produit.
- Sa concentration, s’il s’agit d’un pénétrant à base aqueuse ou d’un émulsifiant hydrophile, d’un révélateur hydrosoluble ou d’un révélateur en suspension dans l’eau.

La surveillance des niveaux des produits est très importante car, s’il n’y a pas suffisamment de produits dans les cuves, certaines zones des pièces seraient mal (ou pas du tout) revêtues de pénétrant, d’émulsifiant hydrophile, de révélateur. C’est la raison pour laquelle les cuves de pénétrant dans certaines chaînes automatiques sont dotées d’un système automatique de remise à niveau. Cela n’est pas aussi facile pour l’émulsifiant hydrophile qui est utilisé dilué dans l’eau, à moins de recourir à une pompe doseuse. Pour le révélateur sec, nous ne connaissons pas de solution.

Dans les chaînes automatiques dans lesquelles le pénétrant est appliqué par pulvérisation électrostatique, nous n’avons jamais vu de dispositif de remise à niveau automatique. Certaines de ces chaînes permettent l’application par pulvérisation électrostatique jusqu’à 3 pénétrants différents au poste pénétrant, par exemple : un pénétrant lavable à l’eau de Niveau

2 et deux pénétrants à post-émulsion, l'un de Niveau 1 et l'autre de Niveau 3, selon la (les) pièce(s) à contrôler.

10- NETTOYAGE APRÈS CONTRÔLE – REMISE EN L'ÉTAT DE PROPRETÉ INITIALE

Généralement, le nettoyage des pièces n'est pas requis après contrôle.

Cependant, pour certaines applications spécifiques, il est nécessaire de restaurer la propreté initiale de la pièce.

Bien souvent, lorsqu'un révélateur a été appliqué, la poudre de révélateur doit être éliminée par soufflage d'air sec et déshuilé.

N'oubliez pas qu'une partie seulement du pénétrant qui est entré dans les fissures ⁽³²⁾ en ressort. Cela signifie que du pénétrant est retenu dans les discontinuités. Cela peut être préjudiciable pour les opérations suivantes ⁽³⁴⁾ ou même pour le fonctionnement des pièces. Dans ce cas-là, un nettoyage approprié des pièces est nécessaire.

11- PROTECTION ANTICORROSION APRÈS CONTRÔLE

Un certain nombre d'alliages métalliques sont sensibles à la corrosion, par exemple les alliages de magnésium, les aciers non inoxydables, etc.

Par conséquent, les surfaces métalliques doivent être protégées contre la corrosion avant de recevoir leur protection définitive, peinture par exemple.

Il existe deux principaux types de protection anticorrosion :

- Protection temporaire contre la corrosion pour stockage sous abri : à l'aide par exemple d'un hydrofugeant de protection temporaire.
- Protection "longue durée" contre la corrosion pour stockage à l'extérieur : à l'aide d'un produit filmogène du type cireux.

Tous ces produits doivent être exempts de silicones (surtout si les surfaces doivent être ultérieurement peintes) et être facilement éliminables ~~aux~~ par solvants.

12- POSSIBILITÉS DE RENDRE CES TECHNIQUES PLUS ÉCOLOGIQUES

Qu'est-il possible de faire ?

12.1- RÉDUCTION DE LA CONSOMMATION EN PRODUITS DE RESSUAGE

Pour le contrôle “sur place”, les générateurs d’aérosols sont le moyen le plus pratique.

Bien que les produits de ressuage conditionnés en générateurs d’aérosols soient plus onéreux que ces mêmes produits en bidons, les générateurs d’aérosols pour une telle application sont plus économiques si l’on tient compte des pertes en produit et des coûts de main d’œuvre⁽⁸⁾.

C’est également le meilleur moyen d’éviter toute pollution accidentelle des produits de ressuage par des produits contenant du chlore, du fluor ou du soufre⁽⁸⁾.

Par conséquent, l’utilisation de générateurs d’aérosols réduit le gaspillage de produits de même que le volume des effluents à traiter.

Lorsque les produits sont utilisés dans des chaînes de ressuage, les pertes en produits par entraînement des pièces doivent être minimisées pour au moins deux raisons essentielles :

- Réduire les déchets de produits.
- Réduire le coût du traitement des effluents.

Deux facteurs qui doivent être pris en considération :

- Le positionnement judicieux des pièces : les surfaces en retrait, les trous borgnes, etc. doivent être dirigés vers le bas. Lorsque cela est impossible, il sera nécessaire de tourner la pièce tête en bas pour que le produit retenu retourne dans sa cuve.
- La conception du support des pièces (balancelles, paniers, dispositif de rangement des pièces dans les paniers, etc.). L’objectif est de minimiser la surface de contact entre la pièce et son support pour limiter les zones masquées. Par exemple, lors du contrôle des aubes des moteurs d’avions, la maille des paniers doit être le plus grand possible tout en ayant à l’esprit que la plus petite pièce à contrôler doit être plus grande que la maille.

12.2- RÉDUCTION DES QUANTITÉS ET DU VOLUME GLOBAL DES EMBALLAGES/SUREMBALLAGES

Qu’ils soient en carton, en plastiques, en métal (acier, fer blanc, etc.) ou en bois, les emballages et les suremballages sont recyclables.

D’année en année, le volume de nos emballages, qu’ils soient ménagers ou industriels, tend à augmenter, bien que certains fabricants entreprennent certains efforts pour les réduire.

Bien qu’ils soient indispensables, les emballages constituent un coût additionnel que nous aimerions réduire.

D'où une question : comment pouvons-nous réduire leurs quantités et leur volume global ?

Généralement, les déchets chimiques et les emballages usagés sont facturés au kilogramme, alors que le transport est facturé en fonction du nombre de palettes. Par conséquent, plus le volume est élevé, plus le coût du transport est élevé.

Une des solutions consiste, lorsque cela est techniquement possible, à commander les produits sous forme de concentrés, tels que : pénétrant fluorescent à base aqueuse (réduction de 50 % du volume des emballages).

Utiliser des générateurs d'aérosols de 500 mL, au lieu de ceux de 300 ou 400 mL, peut sembler être le bon moyen, mais cela n'est pas si simple ⁽³⁵⁾. Lorsque cela est techniquement possible, l'utilisation de générateurs d'aérosols de 500 mL est une réelle source d'économie.

Réduire le nombre et le volume global des emballages conduirait à opter pour des fûts de 200 litres. Dans certaines usines, on peut voir des fûts de pénétrant couchés sur le flanc, dotés d'un robinet, et chaque utilisateur vient soutirer la quantité de produit dont il a besoin. Le déplacement des fûts de 200 litres nécessite néanmoins des équipements de manutention.

D'un autre côté, les révélateurs humides non aqueux, comportant des solides en suspension dans un liquide porteur, nécessitent d'être secoués vigoureusement avant emploi. C'est la raison pour laquelle ils sont fournis en emballages de 5 litres et moins souvent en emballages de 25 litres.

Notez également que les produits PT sont fournis en emballages entièrement neufs pour éviter tout risque de pollution accidentelle.

12.3- RÉDUCTION DU VOLUME D'EAU

Réduire la quantité d'eau utilisée est une préoccupation qui ne date pas d'aujourd'hui ⁽³⁶⁾.

L'excès de pénétrant en surface est éliminé à l'eau, sauf dans le cas d'utilisation d'un pénétrant éliminable ~~par-**au**~~ solvant.

Il y a deux manières :

- Lors de l'utilisation d'un pénétrant lavable à l'eau : l'élimination de l'excès de pénétrant s'effectue en une étape par lavage à l'eau des pièces à l'issue de la durée de pénétration. Après traitement, l'eau peut être recyclée ⁽²⁷⁾.
- Lors de l'utilisation d'un pénétrant à post-émulsion : l'élimination de l'excès de pénétrant en surface s'effectue en deux étapes :
 - o Le rinçage à l'eau, opération qui suit la durée de pénétration. Il permet d'éliminer mécaniquement 60 à 90 % du pénétrant en surface. Le pénétrant à

post-émulsion étant plutôt non miscible à l'eau, l'eau de rinçage peut être facilement traitée et recyclée ⁽²⁹⁾.

- Le lavage final à l'eau des pièces, opération qui suit la durée d'émulsification, permet d'éliminer le mélange "pénétrant restant/émulsifiant" de la surface. Après traitement, l'eau peut être recyclée ⁽²⁹⁾.

Les principaux moyens pour réduire la consommation d'eau sont :

- Utiliser des pénétrants ayant une plus faible viscosité cinématique.
- Utiliser des pénétrants mieux adaptés à l'état de surface (moins de rétention).
- Utiliser des pénétrants optimisant le meilleur compromis entre lavabilité à l'eau et résistance au surlavage.
- Régler soigneusement les paramètres et le positionnement des équipements. Régler les pressions, températures, durées, débit d'eau aux valeurs qui donnent le meilleur résultat, tout en tenant compte des exigences des spécifications applicables. Ayez présent à l'esprit, par exemple, que la pression mesurée sur la tuyauterie en amont de n'importe quel robinet ne donne pas d'indication significative de la pression dans les derniers centimètres avant les buses de pulvérisation. Diviser la pression par 2 divise le débit par 2 et la consommation d'eau par 2. Les buses de pulvérisation doivent être positionnées correctement.

Le choix du pénétrant est FONDAMENTAL. Entre deux pénétrants classés comme similaires au point de vue sensibilité, fabriqués par deux fabricants différents, parfois même provenant de la gamme du même fabricant, le paramètre de la lavabilité peut varier de manière significative. Certains pénétrants lavables à l'eau ont une réaction de gélification avec l'eau qui 'protège' le pénétrant qui se trouve à l'intérieur d'une discontinuité, tout en le rendant assez facilement lavable à l'eau en surface. D'autres pénétrants sont difficiles à laver, pour éviter une élimination de toute discontinuité, mais cela conduit à des consommations énormes d'eau...et un fond fluorescent. Nous avons déjà également publié un article qui l'explique ⁽²⁷⁾. Ce choix est CRUCIAL dans le cas du contrôle de grandes pièces.

La réduction du volume d'eau, naturellement, conduit à une installation de traitement des eaux plus petite, moins onéreuse et moins encombrante. Ce résultat a été obtenu chez des utilisateurs en utilisant de nouveaux pénétrants qui se lavent mieux et qui ont permis de diviser par deux la quantité d'eau à traiter.

12.4- RÉDUCTION DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE

La Directive 2005/32/CE ⁽³⁷⁾ du 6 juillet 2005 stipule, entre autres :

“Article premier : Objet et champ d'application

1. La présente directive établit un cadre pour la fixation d'exigences communautaires en matière d'écoconception applicables aux produits consommateurs d'énergie, afin de garantir la libre circulation de ces produits dans le marché intérieur.

2. La présente directive fixe les exigences que les produits consommateurs d'énergie couverts par des mesures d'exécution doivent remplir pour être mis sur le marché et/ou mis en service. Elle contribue au développement durable en augmentant l'efficacité énergétique et le niveau de protection de l'environnement, tout en accroissant la sécurité de l'approvisionnement énergétique.”

La directive ne s'applique pas et ne s'appliquera pas aux installations de ressuage car elle stipule que “le volume annuel de ventes et d'échanges que représente le produit consommateur d'énergie est significatif, soit à titre indicatif supérieur à 200 000 unités dans la Communauté, selon les chiffres disponibles les plus récents”. Elle concerne donc plutôt les produits avec des gros volumes (récepteurs de télévision, réfrigérateurs, etc.).

Cependant, nous citons cette directive à titre d'exemple, car elle encourage les initiatives volontaires et préventives.

En ressuage, l'opération la plus gourmande en énergie est le séchage des pièces :

- Lorsque les pièces ont été préalablement nettoyées ou dégraissées à l'aide de détergents alcalins inhibés ⁽³⁾.
- Lorsque les pièces ont été lavées pour éliminer les dernières traces de pénétrant en surface.

Les spécifications applicables stipulent les paramètres (température, durée, etc.) à respecter.

Les étuves de séchage sont le moyen de choix. Pour réduire leur consommation d'énergie, elles doivent être calorifugées.

Un séchage efficace nécessite une circulation de l'air. En conséquence, l'étuve doit être ventilée et, de préférence par recyclage d'une grande partie de l'air (pour diminuer les pertes calorifiques). Plus la vitesse de l'air est grande, plus les pièces sècheront rapidement. Pour avoir à la fois une grande vitesse et un puissant débit d'air, utilisez un ventilateur de grand diamètre, ne tournant pas forcément très vite, plutôt qu'un petit tournant très vite : moins bruyant, tandis que le flux d'air va partout dans l'étuve de séchage.

Les pièces doivent être positionnées de façon à minimiser les rétentions d'eau (une buse d'aspiration peut être utile pour éliminer l'eau des zones en retrait, des trous borgnes, etc.).

En effet, l'eau est TRÈS DIFFICILE à faire évaporer en raison de sa capacité thermique massique élevée et de son aptitude à adhérer aux surfaces à l'intérieur des discontinuités.

Le séchage étant utilisé à deux postes différents d'une chaîne de ressuage, nous devons considérer deux cas :

- Avant application du pénétrant, il est PRIMORDIAL que rien ne reste dans les discontinuités. Ainsi, après nettoyage à l'aide de détergent alcalin, certaines spécifications stipulent une température de l'étuve pouvant atteindre 120 °C avec une température à la surface des pièces pouvant dépasser 100 °C et une durée d'étuvage pouvant atteindre 60 minutes, alors que d'autres spécifications limitent la température à 70 °C pendant quelques minutes. Cette deuxième option est pour nous TOTALEMENT inadéquate. Cependant, toutes les pièces ne peuvent pas supporter une température de 100 °C ou plus. Dans ce cas, il est possible de sécher ces pièces à température plus basse, si la pression dans l'étuve peut être abaissée, par exemple à 2,5 kPa, voire même 1 kPa, ce qui suppose que l'étuve soit conçue pour cela.

Il faut ensuite prévoir une phase (un poste supplémentaire) pour le refroidissement des pièces : le pénétrant ne doit être appliqué que sur des pièces de température proche de l'ambiante, habituellement pas plus de 40 °C, surtout si le pénétrant est appliqué par immersion des pièces dans la cuve de pénétrant. L'immersion de grandes quantités de pièces trop chaudes tout au long de la journée fait monter la température du pénétrant. Les composants les plus « volatils » du pénétrant vont s'évaporer plus vite que le reste, modifiant quelque peu la composition du pénétrant et le rendant souvent plus difficile à éliminer par lavage à l'eau.

Soyez prudent : l'étuve réglée à 100-120 °C, est un problème de sécurité concernant les « pièces chaudes » (surface extérieure, poignée de la porte, etc.). La température de la surface susceptible d'être en contact avec les mains ne doit pas dépasser 50 °C. Comment peut-on manipuler des paniers ou des pièces à 100-120 °C ? Un thermomètre numérique étalonné doté d'une sonde de contact doit être utilisé pour vérifier que les pièces se sont refroidies à 40 °C ou moins.

- Après l'élimination de l'excès de pénétrant par lavage à l'eau et avant ou après l'application du révélateur (selon la forme du révélateur utilisé). Les industries aéronautiques demandent une température maxi de 70 °C, avec un « overshoot » ⁽³²⁾ de 8 °C maximum (c'est-à-dire le dépassement de la consigne de température de pendant la phase de mise en température, au démarrage, avant la première « fournée » de pièces). Durée de séchage : de 10 à 20 minutes, ou « suffisante pour assurer un séchage complet », en fonction de la géométrie des pièces, de leur masse et de leur température initiale, etc.

Ces limitations sont fixées en raison du risque possible de l'atténuation par la chaleur (en anglais : heat fading) ⁽³⁹⁾ de la fluorescence du pénétrant ⁽¹⁾.

La puissance de chauffage de l'étuve sera fonction de la masse des pièces introduites tout au long de la journée. Si le chauffage électrique est utilisé, il est bon d'avoir trois groupes de résistances : les trois groupes allumés pour une montée rapide en température, puis seulement deux groupes quand la température interne s'approche de la température de consigne, et enfin, seulement un, pour maintenir la température de consigne. Un système géré par thyristor est également une bonne alternative.

Attention, prévoir au moins trois sondes étalonnées de température, voire cinq, à l'intérieur de l'étuve. Certaines spécifications stipulent que la température mesurée par toutes les sondes

doit être dans une fourchette de +/- 2 °C. Pour effectuer l'étalonnage annuel (ou semestriel), des connecteurs appropriés reliant les sondes à l'extérieur de l'étuve fournissent un moyen d'étalonnage sans aucun démontage. Il suffit de brancher l'appareil étalonné au bon connecteur près de l'étuve !

L'utilisation d'un éclairage écoénergétique est un autre moyen de réduire la consommation d'énergie. Il consiste à remplacer, en ressuage fluorescent, les sources de rayonnement ultraviolet (UV-A) dotées d'ampoules à vapeur de mercure ou de xénon par des sources à diodes électroluminescentes (DEL).

Compte tenu du développement des DEL et de la réduction de leur coût, on peut donc légitimement se poser une question : ne serait-il pas possible de remplacer les plafonniers qui comportent plusieurs ampoules à vapeur de mercure par des plafonniers à diodes 365 nm ?

On pourrait ainsi réduire sensiblement la consommation d'énergie, réduire la quantité de chaleur dissipée dans les cabines d'examen (donc, réduire la consommation des moyens de ventilation ou de climatisation), réduire les coûts de maintenance (moins d'arrêt pour changer les ampoules), les stocks de pièce de rechange, etc.

12.5 - PRODUITS PLUS ÉCOLOGIQUES/RÉDUCTION DES COMPOSÉS ORGANIQUES VOLATILS (COV)

Les fabricants poursuivent leurs efforts pour réduire les composés organiques volatils (COV) dans leurs produits de ressuage conformément à la Directive n° 1999/13/CE qui a été modifiée par la Directive n° 2004/42/CE ⁽²³⁾.

Nous vous recommandons de lire l'article que nous avons publié concernant les composés organiques volatils ⁽³⁸⁾.

13- CONCLUSION

Nous espérons que cet article vous aura apporté des informations complémentaires pour approfondir vos connaissances en ressuage et pour même obtenir des résultats meilleurs et plus fiables.

Références

- (1) Pierre CHEMIN et Patrick DUBOSC, *Les Spécifications qui ont changé les produits de ressuage.*
- (2) Pierre CHEMIN et Patrick DUBOSC, *Quelques limites du champ d'applications industrielles du ressuage ;*

- (3) Pierre CHEMIN et Patrick DUBOSC, *Dégraissage avant ressuage*, novembre 2011.
- (4) Pierre CHEMIN et Patrick DUBOSC, *Les dates de péremption des produits PT/MT*.
- (5) Règlement (CE) N° 1907/2006 du Parlement Européen et du Conseil du 18 décembre 2006 concernant l'enregistrement, l'évaluation et l'autorisation des substances chimiques, ainsi que les restrictions applicables à ces substances (REACH), instituant une agence européenne des produits chimiques, modifiant la directive 1999/45/CE et abrogeant le règlement (CEE) n° 793/93 du Conseil et le règlement (CE) n° 1488/94 de la Commission ainsi que la directive 76/769/CEE du Conseil et les directives 91/155/CEE, 93/67/CEE, 93/105/CE et 2000/21/CE de la Commission (L 396, Journal officiel de l'Union européenne du 30.12.2006).
- (6) Pierre CHEMIN et Patrick DUBOSC, *Introduction au ressuage*.
- (7) Pierre CHEMIN et Patrick DUBOSC, *Produits spéciaux pour le ressuage*.
- (8) Pierre CHEMIN et Patrick DUBOSC, *Quelques applications industrielles du ressuage* ;
- (9) Pierre CHEMIN et Patrick DUBOSC, *Compatibilité des produits de ressuage avec les matériaux*.
- (10) Pierre CHEMIN et Patrick DUBOSC, *La compatibilité des produits de ressuage avec l'oxygène liquide*.
- (11) Pierre CHEMIN et Patrick DUBOSC, *Le ressuage en l'année 2060*.
- (12) Patrick DUBOSC et Pierre CHEMIN, *Stockage des générateurs d'aérosols*.
- (13) Patrick DUBOSC et Pierre CHEMIN, *Émulsifiant hydrophile*.
- (14) Patrick DUBOSC et Pierre CHEMIN, *L'application des émulsifiants hydrophiles sous forme de mousse*.
- (15) Patrick DUBOSC et Pierre CHEMIN, *La meilleure façon d'appliquer les révélateurs secs*.
- (16) Patrick DUBOSC et Pierre CHEMIN, *Ressuage, révélateur humide non aqueux : comment appliquer une couche mince, uniforme à l'aide d'un générateur d'aérosols ?*
- (17) Pierre CHEMIN et Patrick DUBOSC, *Que faut-il penser des éprouvettes KDS ?*

- (18) Patrick DUBOSC et Pierre CHEMIN, *Éprouvettes de ressuage : critères de choix pour utilisation sur site.*
- (19) Pierre CHEMIN et Patrick DUBOSC, *Le révélateur pelliculaire ;*
- (20) Patrick DUBOSC et Pierre CHEMIN, *Ressuage : nettoyage des éprouvettes/pièces.*
- (21) Patrick DUBOSC et Pierre CHEMIN, *Tolérance à l'eau Teneur en eau : Pénétrants lavables à l'eau.*
- (22) Pierre CHEMIN et Patrick DUBOSC, *La levée de doute.*
- (23) Directive n° 1999/13/CE du 11/03/1999 relative à la réduction des émissions de composés organiques volatils dues à l'utilisation de solvants organiques dans certaines activités et installations (JOCE n° L85 du 29 mars 1999, rect. JOCE n° L 188 du 21 juillet 1999 et rect. JOCE n° L 87 du 8 avril 2000), modifiée par la Directive n° 2004/42/CE du 21 avril 2004 relative à la réduction des émissions de composés organiques volatils dues à l'utilisation de solvants organiques dans certains vernis et peintures et dans les produits de retouche de véhicules. L 143 du Journal officiel de l'Union européenne du 30 avril 2004.
- (24) Patrick DUBOSC et Pierre CHEMIN, *Les composés organiques volatils (COV) ;*
- (25) Patrick DUBOSC et Pierre CHEMIN, *Les agents propulseurs pour les générateurs d'aérosols des produits PT/MT.*
- (26) Pierre CHEMIN et Patrick DUBOSC, *Un paradoxe : le dioxyde de carbone comme agent propulseur des générateurs d'aérosols.*
- (27) Pierre CHEMIN et Patrick DUBOSC, *Traitement des eaux usées et ressuage.;*
- (28) Pierre CHEMIN et Patrick DUBOSC, *Un révélateur sec sale ;*
- (29) Patrick DUBOSC et Pierre CHEMIN, *Une expérience très singulière.*
- (30) Patrick DUBOSC et Pierre CHEMIN, *Ressuage : pression de l'eau dans les cabines de rinçage/lavage : un mythe ?*
- (31) Pierre CHEMIN et Patrick DUBOSC, *Les techniques de pulvérisation et les pressions des produits de ressuage ;*

- (32) Patrick DUBOSC et Pierre CHEMIN, *Ressuage lui en demande-t-on trop ? (Revisité)*.
- (33) Pierre CHEMIN et Patrick DUBOSC, *Nettoyez régulièrement vos cuves de ressuage !*
- (34) Pierre CHEMIN et Patrick DUBOSC, *Ressuage et peinture : de faux amis !*
- (35) Pierre CHEMIN et Patrick DUBOSC, *Générateurs d'aérosols des produits PT/MT : pourquoi des tailles différentes ?*
- (36) Patrick DUBOSC, *le traitement des effluents du contrôle par ressuage*, Journée "Les END et l'environnement" organisée par le Groupe Est de la COFREND, Metz (France), octobre 1998.
- (37) Directive 2005/32/CE du Parlement Européen et du Conseil du 6 juillet 2005 établissant un cadre pour la fixation d'exigences en matière d'écoconception applicables aux produits consommateurs d'énergie et modifiant la directive 92/42/CEE du Conseil et les directives 96/57/CE et 2000/55/CE du Parlement européen et du Conseil, paru au journal officiel de l'Union Européenne L 191/29 du 22.7.2005.
- (38) Pierre CHEMIN et Patrick DUBOSC, *Les composés organiques volatils (COV) et ressuage/magnétoscopie*.
- (39) Pierre CHEMIN et Patrick DUBOSC, *Historique du ressuage*.
- (40) Pierre CHEMIN et Patrick DUBOSC, *Eau et révélateurs secs*.

Références normatives

ISO 9001:2008, *Systèmes de management de la qualité – Exigences*, Organisation Internationale de Normalisation, Genève, Suisse, 2008.

ISO 14001:2004, *Systèmes de management environnemental -- Exigences et lignes directrices pour son utilisation*, Organisation Internationale de Normalisation, Genève, Suisse, 2004.

ISO 9712:2005, *Essais non destructifs - Qualification et certification du personnel*, Organisation Internationale de Normalisation, Genève, Suisse, 2005.

Document modifié par l'amendement : ISO 9712/AC1 :2006.

ISO 11014:2009, *Fiches de données de sécurité pour les produits chimiques -- Contenu et plan type*, Organisation Internationale de Normalisation, Genève, Suisse, 2009.

ISO 3452-1:2008 *Essais non destructifs -- Examen par ressuage -- Partie 1: Principes généraux*, Organisation Internationale de Normalisation, Genève, Suisse, 2008.

ISO 3452-2:2006, *Essais non destructifs -- Examen par ressuage -- Partie 2: Essai des produits de ressuage*, Organisation Internationale de Normalisation, Genève, Suisse, 2006.

ISO 3452-3:1998, *Essais non destructifs -- Examen par ressuage -- Partie 3: Pièces de référence*, Organisation Internationale de Normalisation, Genève, Suisse, 1998.

ISO 3452-4:1998, *Essais non destructifs -- Examen par ressuage -- Partie 4: Équipement*, Organisation Internationale de Normalisation, Genève, Suisse, 1998.

ISO 3452-5:2008, *Essais non destructifs -- Examen par ressuage -- Partie 5: Examen par ressuage à des températures supérieures à 50 degrés C*, Organisation Internationale de Normalisation, Genève, Suisse, 2008.

ISO 3452-6:2008, *Essais non destructifs -- Examen par ressuage -- Partie 6: Examen par ressuage à des températures inférieures à 10 degrés C*, Organisation Internationale de Normalisation, Genève, Suisse, 2008.

ISO 3059:2012, *Essais non destructifs -- Essai par ressuage et essai par magnétoscopie -- Conditions d'observation*, Organisation Internationale de Normalisation, Genève, Suisse, 2012.

ISO 12706:2009, *Essais non destructifs - Contrôle par ressuage – Vocabulaire*, Organisation Internationale de Normalisation, Genève, Suisse, 2009.

EN 1330-1:1998, *Essais non destructifs - Terminologie - Partie 1: Liste des termes généraux*, Comité Européen de normalisation, Bruxelles, Belgique, 1998.

EN 1330-2:1998, *Essais non destructifs - Terminologie - Partie 2: Termes communs aux méthodes d'essais non destructifs*, Comité Européen de normalisation, Bruxelles, Belgique, 1998.

EN 473 :2008, *Essais non destructifs - Qualification et certification du personnel END - Principes généraux*, Comité Européen de normalisation, Bruxelles, Belgique, 2008.

EN 4179, *Série aérospatiale - Qualification et agrément du personnel pour les contrôles non destructifs*, Comité Européen de normalisation, Bruxelles, Belgique Juin 2008.

SAE-AMS 2644E, *Inspection Material, Penetrant*, Society of Automotive Engineers (SAE), 400 Commonwealth Drive, Warrendale, Pennsylvanie 15096, États-Unis d'Amérique, 2006.