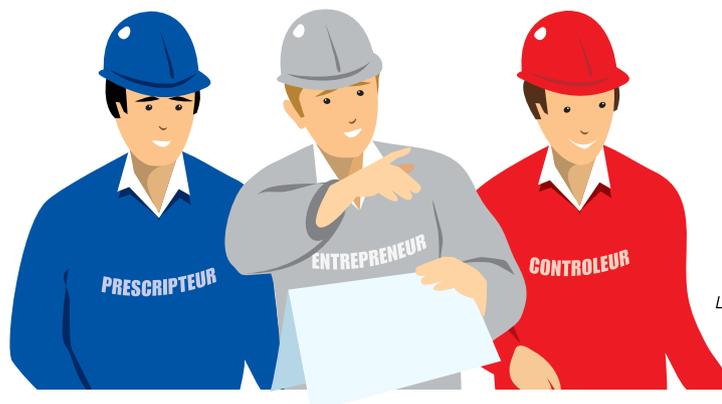


2

Protection des ouvrages métalliques



Ce document s'adresse aux maîtres d'œuvre (prescripteurs), aux entrepreneurs et aux contrôleurs qui vont travailler sur une opération de maintenance de la protection anticorrosion par peinture. Il vise à mettre en évidence, sur la base des textes existants et d'un certain nombre de retours d'expérience, les difficultés souvent rencontrées dans ce genre d'opération. Ce guide n'est pas une liste exhaustive des problématiques rencontrées, mais doit aider l'ensemble des acteurs de la chaîne à mieux anticiper les moyens à mettre en œuvre afin d'atteindre les objectifs fixés.



Les trois intervenants,
le maître d'œuvre
(le prescripteur),
l'entrepreneur
et le contrôleur.

SOMMAIRE

PRÉAMBULE	5
1 La corrosion des métaux	6
1.1 La corrosion en quelques chiffres.....	7
1.2 Définition de la corrosion	8
1.3 Différents types de corrosions.....	9
2 La protection anticorrosion	15
2.1 Définition de la protection anticorrosion.....	16
2.2 Histoire de la protection anticorrosion par revêtement.....	18
2.3 Bases techniques des différents types de revêtements.....	22
2.3.1 Les revêtements métalliques.....	22
2.3.2 Peinture et système de peinture.....	26
2.4 Contraintes environnementales et sanitaires liées aux peintures.....	36
2.4.1 Connaissance des normes, réglementations et législations applicables.....	36
2.4.2 Contraintes liées à l'élimination des peintures en place	36
2.4.3 Contraintes sanitaires et environnementales applicables au choix des peintures pour les travaux de rénovation	42

3 Reconnaissances préalables avant travaux	46
3.1 Analyse documentaire de l'historique de l'ouvrage	48
3.2 Visite de reconnaissance.....	49
3.3 Diagnostics complémentaires	53
3.3.1 Diagnostic amiante	
3.3.2 Diagnostic plomb	
3.3.3 Diagnostic environnemental initial	
3.4 Essai de décapage préalable.....	57
4 Prescription	59
4.1 Introduction	60
4.2 Prise en compte des contraintes liées à l'ouvrage et à son exploitation.....	61
4.2.1 Accès à l'ouvrage	61
4.2.2 Contraintes structurelles liées à l'ouvrage et à son état de conservation	61
4.2.3 Accès aux surfaces à traiter	62
4.2.4 Contraintes d'exploitation.....	64
4.2.5 Co-activités	65
4.2.6 Disponibilités d'énergies	65
4.2.7 Protection des éléments sensibles de l'ouvrage	65
4.3 Prise en compte des contraintes sanitaires et environnementales	66
4.3.1 Prise en compte du risque CMR.....	66
4.3.2 Autres contraintes liées à l'ouvrage et à son exploitation	69
4.4 Prise en compte des contraintes de sécurité.....	70
4.5 Prise en compte des contraintes de vieillissement.....	71
4.5.1 Vieillessement naturel	71
4.5.2 Vieillessement anormal – Origine connue, supposée ou inconnue.....	72
4.6 Critères de performances du maître d'ouvrage	74
4.6.1 Durabilité / garanties particulières attendues	74
4.6.2 Prix	75
4.6.3 Autres	76
4.7 Choix des systèmes de peintures et méthodes d'intervention.....	77
4.7.1 Introduction	77
4.7.2 Systèmes de peintures « standards » et méthodes associées	77
4.7.3 Systèmes de peintures et méthodes alternatives	87
4.7.4 Traitement des points singuliers ou surfaces particulières.....	88
4.8 Constitution du cahier des charges de consultation.....	89
5 Mise en œuvre	91
5.1 État des lieux avant travaux	92
5.2 Réception de l'ouvrage avant démarrage des travaux	93
5.3 Installation de chantier	94
5.4 Mise en place des accès / confinements / système aéraulique et de traitement de l'air	95
5.5 Préparation de surface	98
5.5.1 Nettoyage / dégraissage préliminaire	98
5.5.2 Préparation de surface primaire et/ou secondaire	98
5.5.3 Réception de la surface décapée	98

5.6 Produits de peinture	99
5.6.1 Stockage	99
5.6.2 Contrôle des peintures à réception et avant application.....	99
5.6.3 Préparation des peintures avant application	100
5.7 Application des peintures	101
5.7.1 Pré-touches/post-touches	101
5.7.2 Choix des moyens d'application.....	101
5.7.3 Contrôles en cours d'application	102
5.8 Habilitation/Qualification/Certification du personnel	104
5.8.1 Qualifications à caractère « obligatoire »	104
5.8.2 Qualifications / Certifications techniques	105
5.9 Contrôle qualité extérieur	108
5.10 Essais de convenue	109
5.11 Gestion des non-conformités	110
6 Hygiène, sécurité, environnement	111
7 Suivi après livraison des travaux	113
7.1 Durée de vie et protocole de suivi.....	114
7.2 Contrôle colorimétrique	115
TABLE DES ILLUSTRATIONS	117

PRÉAMBULE

D'une façon générale les ouvrages d'art ont comme vocation de durer le plus longtemps possible. Dans ce cadre, l'acier à l'avantage d'être un matériau qui présente une chimie bien maîtrisée mais dont l'ennemi principal est la corrosion.

Heureusement, depuis longtemps, on sait protéger l'acier face à la corrosion. Différentes techniques existent, de la peinture à la métallisation en passant par la galvanisation. Ces opérations visent à conférer une bonne durabilité aux structures métalliques dans le temps.

Ce guide s'applique aux opérations de maintenance de la protection anticorrosion par peinture. Il est élaboré par regroupement de documents existants afin de proposer une vision pragmatique des problématiques rencontrées lors d'opérations de maintenance de la protection anticorrosion par peinture d'ouvrages existants ne pouvant pas être traités en usine.

Le ***Cahier des Clauses Techniques générales Fascicule 56 pour la protection des ouvrages métalliques contre la corrosion*** demeurant une référence pour les bonnes pratiques en matière de rénovation de peintures des ouvrages d'art en France, un certain nombre d'articles du présent guide sont rédigés en s'y reportant.

1

La corrosion des métaux

1.1 La corrosion en quelques chiffres

1.2 Définition de la corrosion

1.3 Différents types de corrosions

D'un point de vue économique, la corrosion est d'une importance primordiale, puisque son coût représente, selon l'Organisation Mondiale de la Corrosion (OMC), 3 à 4 % du PIB des pays industrialisés.

On estime, par exemple, que, chaque année, le quart de la production d'acier est détruit par la corrosion, ce qui correspond à environ 150 millions de tonnes/an ou encore 5 tonnes/seconde.

Une étude réalisée par l'association nationale des ingénieurs de corrosion aux USA (NACE) sur les coûts directs associés à la corrosion métallique évalue le coût annuel de la corrosion au niveau mondial à 2 500 Milliards d'USD.

En mettant en place de bonnes pratiques pour lutter contre la corrosion, les scientifiques et experts estiment que, selon les secteurs, des économies, évaluées entre **15 et 35 %** du coût de cette corrosion pourraient être réalisées. Ce qui représente, au niveau mondial, entre **375 et 875 milliards d'USD** d'économies potentielles.

En France, son coût est estimé à 1 euro par jour et par personne, soit environ 25 milliards d'euros par an, tout secteur confondu...

Les structures de génie civil métalliques n'échappent pas à cette dégradation inéluctable. Les ouvrages étant par ailleurs bien souvent exposés à des ambiances de corrosivité pouvant être sévères, le risque en est d'autant plus élevé et les conséquences économiques importantes.



Photo 1 : Corrosion © JP Persy



Photo 2 : Viaduc ferroviaire de Carante,
travaux de réfection de la protection anticorrosion © Lassarat

La corrosion est la dégradation de l'état métallique initial sous l'action du milieu ambiant, par un processus autre que mécanique (essentiellement chimique, électrochimique ou biochimique).

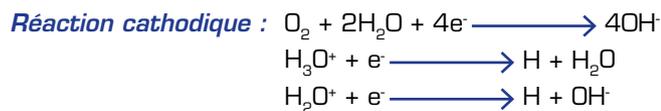
La réaction de base de corrosion des métaux est la corrosion électrochimique. Elle correspond à une réaction d'oxydo-réduction, dont :

- la réaction d'oxydation d'un métal est appelée réaction « **anodique** »,
- la réaction de réduction d'un agent oxydant est appelée réaction « **cathodique** ».

Pour ce dernier, dans le cas des métaux, deux cas de figures peuvent se rencontrer :

- un environnement aéré, pour lequel l'agent oxydant est l'oxygène dissous,
- un environnement désaéré, pour lequel l'agent oxydant est l'eau (H₂O ou H⁺). Le matériau est toujours le siège de la réaction d'oxydation.

Ainsi, un acier immergé en milieu marin ou fluvial aéré subit une réaction anodique de dissolution du fer, à laquelle s'associe la réaction cathodique de réduction de l'oxygène dissous, des ions H₃O⁺ ou de l'eau :



La réaction cathodique est fonction du pH du milieu environnant.

La réaction anodique correspond à une production d'ions métalliques qui participe à la formation de composés solides, les produits de corrosion.

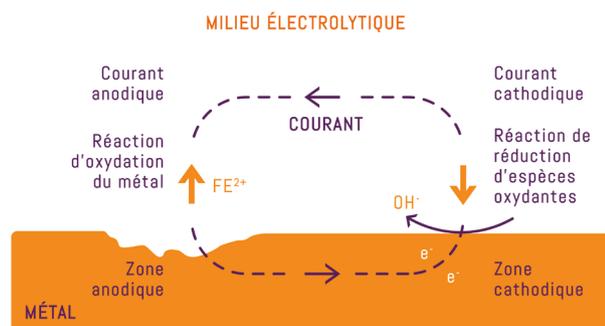


Fig. 1 : Principe général de la « pile de corrosion » (exemple pour l'acier au carbone) source ACCOAST

Il existe une douzaine de formes de corrosion, dont certaines résultent d'une conjonction de phénomènes. Parmi ces différentes formes, certaines sont spécifiques à des domaines industriels ou à des environnements particuliers.

La première approche de la corrosion étant généralement visuelle, les formes de corrosion se distinguent traditionnellement, soit par l'aspect de l'attaque qui en résulte (corrosion par piqûres par exemple), soit par la localisation (corrosion intergranulaire par exemple).

Dans d'autres cas cependant, la désignation est associée à un mécanisme (corrosion sous crevasse, corrosion sous contrainte, corrosion-érosion par exemple).

- **La corrosion généralisée** ou uniforme est une corrosion progressant approximativement à la même vitesse sur la totalité de la surface d'un métal donné en contact avec un milieu environnant corrosif. C'est la forme de corrosion la plus simple et, dans une certaine mesure, la mieux connue (lorsque le matériau et le milieu sont strictement définis).

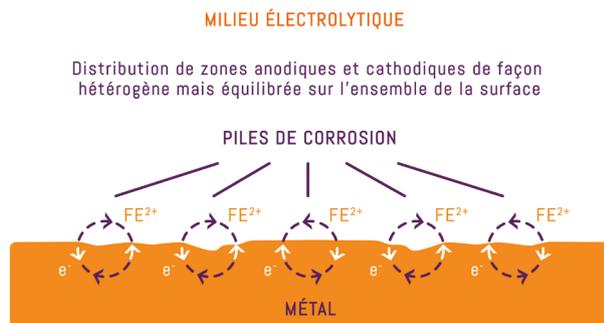


Fig. 2 : Principe de la corrosion généralisée ou uniforme
(généralités, exemple pour l'acier au carbone) source ACCOAST

- **La corrosion galvanique** est due à la formation d'une pile électrochimique entre deux métaux. La dégradation du métal le moins résistant s'intensifie. C'est une des formes de corrosion les plus fréquentes en milieu aqueux. Les zones où se produisent les réactions anodique (corrosion du matériau) et cathodique (réduction de l'oxydant) sont distinctes. Cette localisation des réactions est essentiellement liée à une hétérogénéité provenant du métal, du milieu ou des conditions physico-chimiques à l'interface.

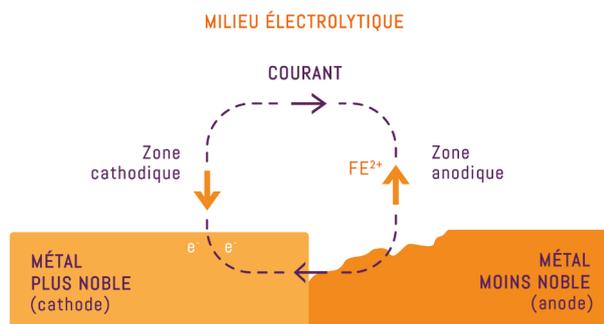


Fig. 3 : Principe de la corrosion galvanique
(généralités, exemple pour l'acier au carbone) source ACCOAST

- **La corrosion caverneuse ou par effet de crevasse** est associée à la présence d'une ouverture étroite (joints, interstices, dépôts), c'est-à-dire une zone confinée avec un faible volume d'eau et une vitesse d'écoulement proche de zéro. Ce phénomène concerne tous les matériaux. Il induit une différence d'accessibilité d'oxygène et/ou d'autres formes chimiques entre deux parties d'une structure, créant une pile de corrosion.

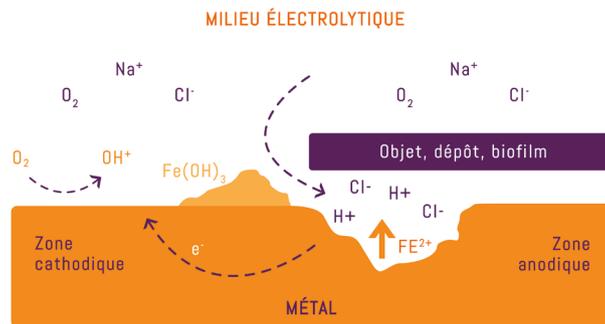


Fig. 4 : Principe de la corrosion caverneuse ou par effet de crevasse
(généralités, exemple pour l'acier au carbone en eau de mer) source ACCOAST

- **La corrosion par piqûres** est produite par certains anions, notamment les chlorures, sur les métaux protégés par un film d'oxyde mince (ce qui est typiquement le cas des alliages passivés tels que les aciers inoxydables par exemple). Ce type de corrosion se traduit par l'apparition de piqûres (c'est-à-dire de cavités), progressant à partir de la surface du métal. Ce phénomène concerne une grande variété de matériaux (aciers, aciers inoxydables, alliages de nickel, de titane, d'aluminium ou de cuivre) ; il se produit souvent en présence de paramètres aggravants tels que les chlorures et n'engendre que de faibles pertes de masse, mais peut parfois conduire à des perforations rapides.

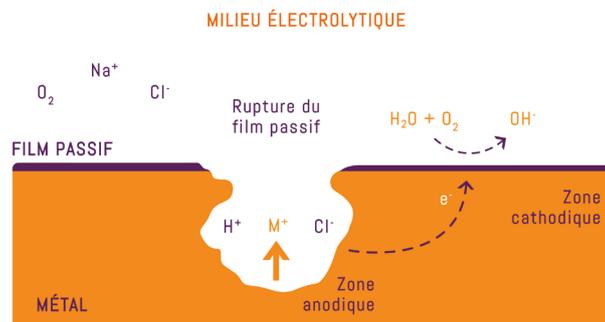


Fig. 5 : Principe de la corrosion par piqûres
(généralités, exemple pour un alliage passivé en eau de mer) source ACCOAST

- **La corrosion-érosion** et la **corrosion-abrasion** sont dues à l'action conjointe d'une réaction électrochimique et d'un enlèvement mécanique de matière. Elles ont souvent lieu sur des métaux exposés à l'écoulement rapide d'un fluide. Elles affectent de nombreux matériaux (aluminium, acier au carbone...) et sont particulièrement connues pour les alliages de cuivre en milieu marin.

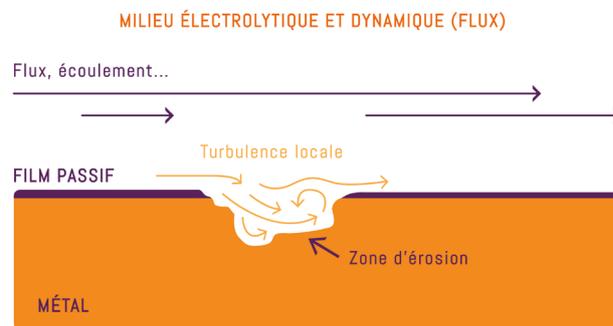


Fig. 6 : Principe de la corrosion-érosion
(généralités, exemple pour un alliage passivé) source ACCOAST

- **La corrosion-cavitation** est un phénomène résultant de l'action conjuguée de la corrosion et de la cavitation. Le phénomène de cavitation, bien connu en mécanique des fluides, consiste en la formation de cavités remplies de vapeur ou de gaz au sein d'un liquide en écoulement turbulent, lorsque la pression en un point du liquide devient inférieure à la pression de vapeur de celui-ci. Lorsque les bulles formées par cavitation atteignent une région de pression plus forte, elles implosent en produisant une onde de choc. Cette dernière induit une fatigue locale du matériau conduisant à des ruptures répétées du film passif et à une attaque localisée.

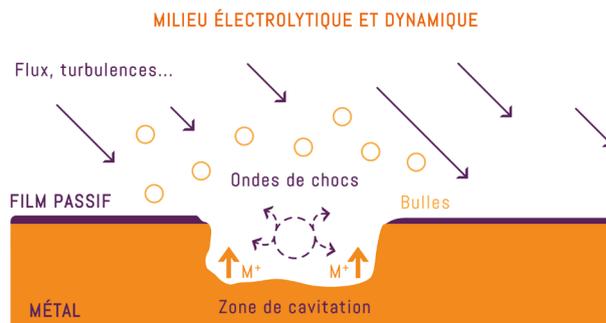


Fig. 7 : Principe de la corrosion-cavitation
(généralités, exemple pour un alliage passivé) source ACCOAST

- **La corrosion intergranulaire** est une attaque sélective aux joints de grains ou à leur voisinage immédiat, alors que le reste du matériau n'est pas attaqué. L'alliage se désagrège et perd toutes ses propriétés mécaniques. Ce type de corrosion peut être dû, soit à la présence d'impuretés dans le joint, soit à l'enrichissement (ou l'appauvrissement) local en l'un des constituants.

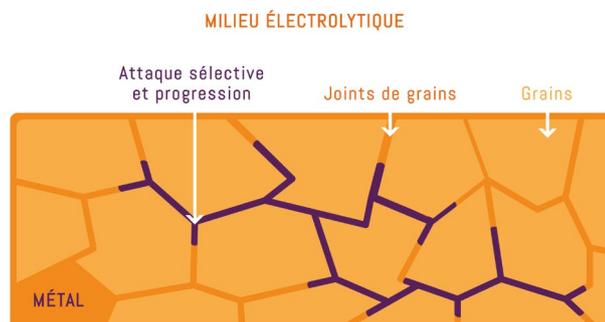


Fig. 8 : Principe de la corrosion intergranulaire (généralités) source ACCOAST

- **La corrosion sélective** correspond à une oxydation d'un composant de l'alliage, conduisant à la formation d'une structure métallique poreuse (dont les différents constituants réagissent en proportion différente de leur teneur).

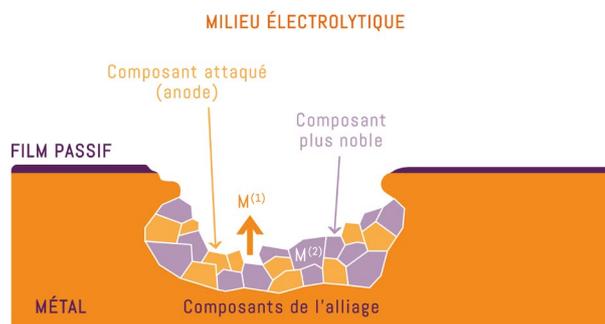


Fig. 9 : Principe de la corrosion sélective (généralités, exemple pour un alliage passivé) source ACCOAST

- **La corrosion-frottement** concerne les dommages provoqués par la corrosion au niveau du contact de deux surfaces métalliques en mouvement relatif l'une par rapport à l'autre. Elle se produit essentiellement lorsque l'interface est soumise à des vibrations (mouvement relatif répété de deux surfaces en contact) et à des charges de compression. Ce mouvement relatif peut être très faible (« petits débattements ») de l'ordre de quelques micromètres). En présence d'un mouvement de frottement continu en milieu corrosif, on utilise de préférence le vocable de **tribocorrosion**.

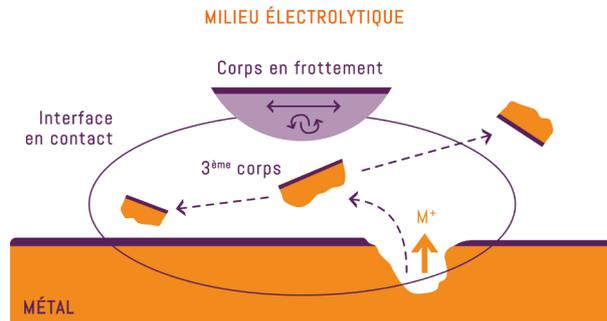


Fig. 10 : Principe de la tribocorrosion (généralités) source ACCOAST

- **La corrosion sous contrainte** résulte de l'action commune de la corrosion et d'une contrainte mécanique (déformation du métal sous l'effet de contraintes appliquées ou résiduelles). Ce phénomène concerne un grand nombre de matériaux, notamment passivables, dont le film protecteur se rompt localement sous l'action des contraintes, entraînant alors une corrosion localisée.

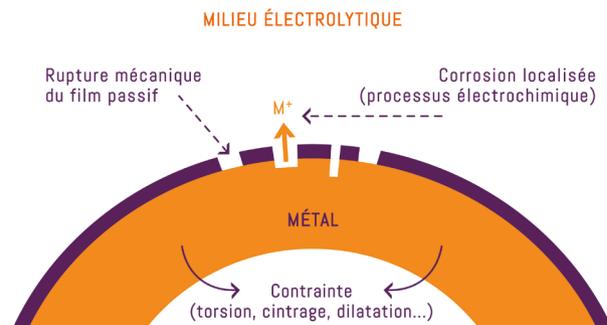


Fig. 11 : Principe de la corrosion sous contrainte (généralités, exemple pour un alliage passivé) source ACCOAST

- **La fatigue-corrosion** est un phénomène très comparable à la corrosion sous contrainte, la différence étant que la sollicitation est alors cyclique. La rupture peut intervenir même si la contrainte appliquée est très inférieure à la résistance mécanique attendue pour l'acier. Les mécanismes évoqués pour rendre compte de la fatigue-corrosion sont les mêmes que ceux présentés pour la corrosion sous contrainte.
- La « **corrosion bactérienne** » ou « **microbienne** » est une corrosion associée à l'action de micro-organismes présents dans le processus de corrosion. Elle peut donc prendre n'importe laquelle des principales formes de corrosion. Il est donc plus juste de parler de « **corrosion influencée par les micro-organismes** ». Tout matériau en contact avec un milieu biologiquement actif est susceptible d'être victime de la Corrosion Influencée par les Micro-organismes. En réalité, les micro-organismes n'utilisent quasiment jamais les matériaux comme une source de nutriments mais modifient, de façon drastique, de par leur métabolisme, la physico-chimie à l'interface matériau-environnement (pH, concentration en oxygène, concentration de composés chimiques, etc.), créant les conditions à l'origine de la corrosion. Les micro-organismes peuvent donc être considérés comme des catalyseurs de phénomènes de nature électrochimique, correspondant à des typologies de corrosion

précises (pile d'aération différentielle, couplage galvanique, etc.). Ils influencent également les produits de corrosion (par réduction ou oxydation), pouvant ainsi modifier leurs propriétés protectrices.

- Quand un métal est exposé dans une atmosphère oxydante (à l'ambiante ou à chaud), **la corrosion en milieu gazeux** intervient en l'absence d'électrolyte. Le gaz considéré est souvent l'oxygène et quelquefois CO_2 , Cl_2 , Br_2 ou H_2S . Généralement, ce sont les ions plutôt que les atomes (du métal et/ou de l'environnement) qui diffusent, ainsi que les électrons, à travers la couche de produits de corrosion. Celle-ci constitue de ce fait un véritable électrolyte solide. L'interface métal-oxyde, où la réaction d'oxydation intervient, joue le rôle d'anode alors que l'interface oxyde-gaz joue le rôle de cathode.

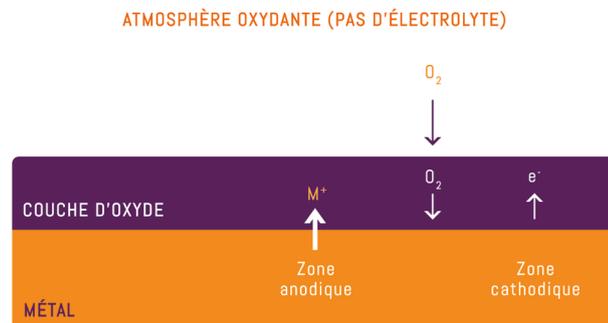


Fig. 12 : Principe de la corrosion en milieu gazeux ou corrosion sèche (généralités) source ACCOAST

Ainsi, en synthèse, la corrosion, quelle que soit sa nature, résultera dans le cas d'un ouvrage métallique de génie civil de l'association des paramètres suivants :

- des choix de conception plus ou moins performants d'un point de vue « design de corrosion » (architecture, modes d'assemblage, choix des matériaux, etc.). À noter que l'ISO 12944.3 « Conception et dispositions constructives » précise les règles de bonnes pratiques ;
- de l'exposition des matériaux à un milieu environnant plus ou moins propice au développement d'une ou de plusieurs formes de corrosions.

Le revêtement de protection anticorrosion interviendra, dans la limite de ses capacités, comme une « barrière » aux différents mécanismes de corrosion précités.

2

La protection anticorrosion

- 2.1** Définition de la protection anticorrosion
- 2.2** Histoire de la protection anticorrosion par revêtement
- 2.3** Bases techniques des différents types de revêtements
- 2.4** Contraintes environnementales et sanitaires liées aux peintures

Il faut tout d'abord définir ce que l'on entend par protection anticorrosion. Nous pouvons résumer brièvement les différentes approches de la façon suivante :

> Protections de surfaces :

- **Protection par revêtement non métallique.** La première idée de protection d'un métal de la corrosion consiste à empêcher tout contact entre l'oxygène de l'air, l'eau et le métal, ce qu'on réalise par : peinture, laquage, films plastiques divers, enrobage dans une céramique ou un autre oxyde isolant et passivant. L'inconvénient majeur de ces procédés est lié au phénomène de corrosion par aération différentielle lorsque le métal est mis à nu.
- **Protection par revêtement métallique.** On dépose une couche d'un autre métal de potentiel électrochimique inférieur au métal qu'il doit protéger. Dans le cas de la protection de l'acier, c'est le zinc qui fut historiquement le premier utilisé et reste encore le plus utilisé de nos jours. Au contact de l'atmosphère, il se recouvre d'une couche protectrice passivante et stable, formant écran. Ce métal se distingue par sa très faible vitesse de corrosion. Autre avantage, le zinc assure la protection électrochimique de l'acier par effet cathodique (pouvoir sacrificiel) en cas de blessure du revêtement.

Ce dépôt peut être réalisé :

- soit par électrolyse (électro-zingage par exemple) ;
- soit par immersion dans un bain de métal fondu (galvanisation dans le cas du zinc : la galvanisation est l'opération qui consiste à recouvrir le fer d'une couche de zinc en le plongeant dans un bain du métal fondu à 450° C. Il se forme un alliage Zn-Fe en surface) ;
- soit par pulvérisation d'un métal d'apport à l'état fondu : procédé de métallisation (Al, Zn, AL/Zn, ou autre métal ou alliage de métaux) ;
- soit par pulvérisation d'une peinture /primaire riche en Zinc (PRZ). Pour obtenir l'appellation (PRZ) ce primaire devra contenir plus 80 % en masse de zinc ; le liant pourra être organique ou inorganique.
- **Protection chimique superficielle.** Le but est toujours d'isoler le fer de l'air humide, mais désormais la couche protectrice est créée par une réaction chimique. Citons notamment la phosphatation (ou parkérisation) des aciers, obtenue en immergeant les pièces dans des bains d'acide phosphorique H₃PO₄. Ce traitement induit la création d'un complexe passivant à la surface du métal traité.

> Protection cathodique :

Deux moyens aussi efficaces l'un que l'autre sont mis en œuvre pour protéger les structures immergés ou enterrées en fer (ou en acier). Il est nécessaire que le fer soit l'électrode sur laquelle s'effectue une réaction de réduction (protection cathodique). Deux méthodes sont possibles :

- soit grâce à une source de tension extérieure : on parle de protection par courant imposé (on amène le fer dans sa zone d'immunité ; il faut bien sûr qu'une contre- électrode joue le rôle d'anode). Cette méthode est régulièrement utilisée pour la protection des ouvrages d'art (ponts) dont la conception rend difficile une approche de protection exclusivement par revêtement ;
- soit en associant le fer ou l'acier avec un métal plus réducteur que lui (zinc, magnésium ou aluminium) : c'est le principe de l'anode sacrificielle. L'anode se dissout progressivement, alors que le fer ou l'acier est protégé. Cette méthode nécessite que l'ouvrage soit immergé en milieu aqueux, ce qui est le cas d'ouvrages portuaires mais rarement pour la majorité des ouvrages de génie civil.

L'intérêt de la protection cathodique réside dans sa permanence. Mais elle présente aussi de nombreux inconvénients liés notamment à la difficulté de la conception du positionnement des électrodes ou des anodes sacrificielles pour une protection optimale de toute la structure, ainsi que de la maîtrise des caractéristiques du courant dans le cas d'une protection par courant imposé.

À noter que toutes les peintures ne sont pas compatibles avec la présence d'une protection cathodique. Des tests spécifiques existent pour vérifier cette compatibilité. Il convient d'être vigilant dans le choix du système peinture dans le cas où celui-ci serait requis sur un ouvrage sous protection cathodique.



Photo 3 : Anode extérieure sur un pieu métallique © Grimaldi

La protection cathodique étant un « monde » à part entière, nous nous attacherons à détailler dans le présent guide uniquement la protection anticorrosion par revêtements métalliques et non métalliques.

Autant il est possible de trouver bon nombre d'ouvrages retraçant l'histoire de la peinture artistique à travers le monde, autant il est plus difficile de trouver une étude détaillée et complète sur la protection anticorrosion par revêtements métalliques et non métalliques (peintures).

Nous ferons un aparté sur les revêtements métalliques (galvanisation, métallisation) utilisés dans la protection des ouvrages de génie civil métalliques, car rarement utilisés seuls, sans revêtement de peintures, tant pour des raisons de performance que d'esthétisme. Nous allons donc nous attacher à retracer plus particulièrement l'histoire de la protection anticorrosion par revêtement de peintures.

Comme nous le détaillerons plus en détail dans les paragraphes suivants, la performance anticorrosion des revêtements repose en grande partie sur l'efficacité des pigments au pouvoir anticorrosion entrant dans la composition de la peinture.

Le minium de plomb, dit minium, fait partie des pigments anticorrosion les plus anciens.

Un texte chinois du V^e siècle av. J.-C. indique que l'on fabrique un pigment rouge à partir du métal et certains affirment que la production aurait commencé dans l'ancienne Mésopotamie, avant même le travail du métal.

Selon Pline l'Ancien et Vitruve, on découvrit accidentellement le minium à la suite de l'incendie d'une villa. Pline explique également que le blanc de plomb était chauffé dans des plats et brassé jusqu'au changement de couleur. Ce pigment calciné a été utilisé pour imiter le cinabre et la sinopia.

À l'époque de Pline l'Ancien, le terme de minium a désigné en premier le cinabre (sulfure de mercure de formule HgS) puis le carbonate de plomb (céruse). D'où de fréquentes confusions entre céruse, minium, vermillon, cinabre. Au cours du Moyen Âge, la dénomination de minium doit se rapporter à la céruse. Le moine Théophile, à la fin du XI^e siècle, décrit sa préparation à partir de la calcination de la céruse.

Avec l'élaboration d'autres pigments, le minium va perdre progressivement de son importance dans la peinture à partir de la Renaissance. En 1688, Claude Boutet ne cite que le massicot, le jaune de plomb, dans son *Traité de peinture en miniature*. Le minium, appelé aussi mine orange et rouge de Saturne, reste cependant utilisé jusque dans les années 1930.

Vers 1930, le minium disparaît comme pigment rouge orangé, mais, en dépit de sa toxicité, il sera utilisé comme peinture anti-rouille. Les ouvrages traités avec ce pigment sont source de pollution par le plomb, ce dernier entraînant un risque de saturnisme.

Le minium a été largement utilisé pour la protection contre la corrosion des métaux ferreux. La Tour Eiffel a ainsi bénéficié d'un traitement de surface au minium de plomb.

Dans son ouvrage la « *tour de 300 mètres* » (nom initialement donné à la tour), Gustave Eiffel écrivait : « *On ne saurait trop se pénétrer du principe que la peinture est l'élément essentiel de la conservation d'un ouvrage métallique et que les soins qui y sont apportés sont la seule garantie de sa durée* ». La tour a été repeinte 19 fois depuis sa construction soit environ tous les 7 ans en moyenne. Sur une campagne de rénovation, environ 60 tonnes de peinture sont appliquées, essentiellement pour le maintien de l'esthétique. On estime qu'environ 15 tonnes de peintures disparaissent entre deux campagnes, par l'action conjuguée de son exposition aux aléas climatiques et à la pollution atmosphérique.

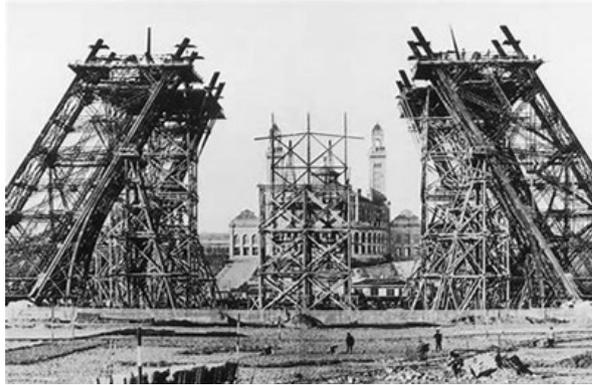


Fig. 13 : construction de la Tour Eiffel

L'histoire de la peinture de la tour Eiffel est décrite comme suit :

- 1887/88 : peinture « rouge Venise », appliquée en atelier avant montage des éléments.
- 1889 : application d'une couche très épaisse « brun rouge ».
- 1892 : la Tour devient « ocre brun ».
- 1899 : pose de 5 couleurs dégradées du jaune orange à la base au jaune clair au sommet. C'est à partir de cette campagne que le cycle de 7 ans est retenu pour le renouvellement de la peinture.
- 1907-1917-1924-1932-1939-1947 : la couleur s'appelle « jaune brun ». La campagne de 1917 connaît un retard dû à la guerre.
- 1954-61 : nouvelle couleur pour la Tour Eiffel qui devient « rouge brun ».
- depuis 1968 : la couleur « brun Tour Eiffel » est choisie pour son harmonie avec le paysage parisien. Elle est dégradée en trois tons, du plus foncé en bas au plus clair en haut.

On peut penser dès lors que la couche « rouge Venise » appliquée en atelier dans les années 1887/88 était déjà à base de minium de plomb.

Environ 100 ans auparavant, l'Iron Bridge fut le premier grand pont métallique construit dans le monde. Il franchit le fleuve Severn au niveau de la vallée d'Ironbridge, dans laquelle sont situés les villages d'Ironbridge et de Coalbrookdale, dans le Shropshire, Angleterre (environ 60 km au nord-ouest de Birmingham).



Photo 4 : Iron Bridge (document bibliographique)

L'ouvrage a été achevé en 1779 et ouvert à la circulation en 1781.

Une étude menée par un collège d'experts pour déterminer la nature de la peinture d'origine de l'ouvrage décrit une peinture de couleur rouge/brun à base de minium de plomb et d'huile.

Ces deux ouvrages emblématiques, réalisés à environ un siècle d'écart, confirment que les premières peintures anticorrosion sur ouvrage de génie civil étaient bien formulées à partir d'un mélange d'huiles naturelles et de pigment de minium de plomb.

Le terme minium était devenu, à l'époque, dans la construction mécanique, un synonyme de peinture anticorrosion. La toxicité des peintures au plomb les ont fait interdire, en France à partir de 1946 ; l'interdiction absolue de mise sur le marché date de 1993.

Depuis, les risques liés au minium subsistent lors des opérations de décapage.

D'autres écrits attribuent la première peinture anticorrosion au capitaine écossais Robert Fergusson. Il avait remarqué, en renversant un bidon d'huile de poisson crue sur le pont en métal rouillé de son navire, que la corrosion avait cessé de se propager. Cette observation l'a inspiré à créer, après 769 tentatives, la première peinture de protection anticorrosion au monde. En effet, ce ne fut pas facile. Après s'être installé à la Nouvelle-Orléans, le capitaine Ferguson a passé des années à faire des recherches laborieuses (et malodorantes) pour tenter de formuler une peinture à base d'huile de poisson.

C'est en 1921 que ses recherches aboutirent. Une peinture ayant séché pendant une nuit ne laissa aucun arôme persistant et montra des propriétés anti-rouille probantes. Ce jour fut également la naissance de la société Rust-Oleum Corporation, bien connue ensuite dans le monde de la fabrication de peintures.

Ces écrits sont discordants avec la mise en peinture des premiers ouvrages métalliques qui remontent à environ une centaine d'années auparavant : on peut donc penser que cette attribution ne vise qu'à alimenter la légende de l'origine de la création de la société Rust-Oleum mais que l'usage des huiles naturelles remontent à des années bien antérieures, y compris pour la protection et la mise en couleur des ouvrages de génie civil.

Les premières huiles synthétiques dites alkydes ou glycérophtaliques ne sont apparues que dans les années 1900. En effet, en 1901, Watson et Smith étudièrent la polycondensation entre l'acide phtalique (bivalent) et le glycérol (trivalent). Cependant, le polymère résultant manquait de souplesse. En 1914, Kienle modifie la résine polyester par des acides gras. La résine alkyde obtenue montre de bonnes propriétés de film. Les premières résines alkydes sont vendues en 1926 sous le nom commercial de Glyptal par General Electric.

Dès lors les recherches sur la synthèse des matériaux que nous connaissons aujourd'hui étaient enclenchées et vinrent très vite sur le marché les liants les plus utilisés aujourd'hui : les polyépoxydes, encore appelés polymères époxyde ou communément « *époxy* ».

Ces derniers résultent de la polymérisation de résines poly-époxydes avec un durcisseur (agent de réticulation) qui peut être à base d'anhydride d'acide, de phénol ou le plus souvent d'amine (polyamine, aminoamide) : ce sont des polymères tridimensionnels. Leur première synthèse date des années 1940.

On notera également l'existence de produits à base de goudron de houille, brai de houille, bitumineux, sans pour autant trouver d'écrits précisant à quel moment ces produits très anciens ont pu être utilisés sur des ouvrages de génie civil métalliques majeurs. En effet, les premiers témoignages de leur utilisation remontent à la préhistoire où ils étaient employés en tant qu'adhésif dans l'industrie lithique (**Umm el-Tiel**, site localisé en Syrie centrale et daté du Paléolithique moyen). À partir du Néolithique, leurs utilisations se sont diversifiées, notamment au Proche et Moyen-Orient, et leurs techniques se sont enrichies. Ils furent utilisés comme imperméabilisant pour les paniers puis pour les céramiques, calfatant pour les bateaux de

rivière ou de mer, mortier de construction, comme peinture et comme remède à diverses maladies en médecine.

Leur caractère imperméabilisant a induit un usage en peinture industrielle essentiellement pour les ouvrages immergés ou semi-immersés pendant de nombreuses années jusqu'à ce que le risque sanitaire lié à leur emploi en interdise quasiment leur utilisation. En effet, selon le Centre international de recherche sur le cancer, les préparations contenant plus de 5 % de goudrons de houille bruts sont dans le Groupe 1 des cancérigènes. Dès lors, l'intérêt de leur emploi dans les peintures s'est éteint.

En France, on peut résumer en synthèse les pratiques de protection des ouvrages de génie civil métalliques par 3 grandes phases :

- **l'avant 2^{ème} guerre mondiale** : les systèmes de peintures, avec des finitions de couleur autre que noir, étaient essentiellement de nature « à l'huile » appliquées en 3 à 5 couches de 40 µm chacune avec des primaires de type minium ou équivalent. Les peintures noires étaient souvent à base de bitume de pétrole ou de brai de houille ;
- **l'après 2^{ème} guerre mondiale jusqu'aux années 1970** : les systèmes de peintures, avec des finitions de couleur autre que noir, étaient essentiellement de nature glycérophthalique ou oléo-glycérophthalique appliquées en 3 à 5 couches de 40 µm chacune avec des primaires de type minium ou équivalent et des intermédiaires de type oxydes de fer micacés (OFM). Les peintures noires étaient souvent à base de brai de houille enrichies aux résines époxydes ou vinyliques ;
- **des années 1970 à nos jours** :
 - parties vues : systèmes de peintures 3 couches maximum dont l'épaisseur dépend de la catégorie de corrosivité. On utilise souvent des primaires riches en zinc pour les travaux neufs et des peintures mono ou bi-composant,
 - parties non vues : on utilise couramment des brais de houille enrichis aux résines époxydes ou vinyliques ou des systèmes époxydiques avec ou sans primaire riche en zinc.

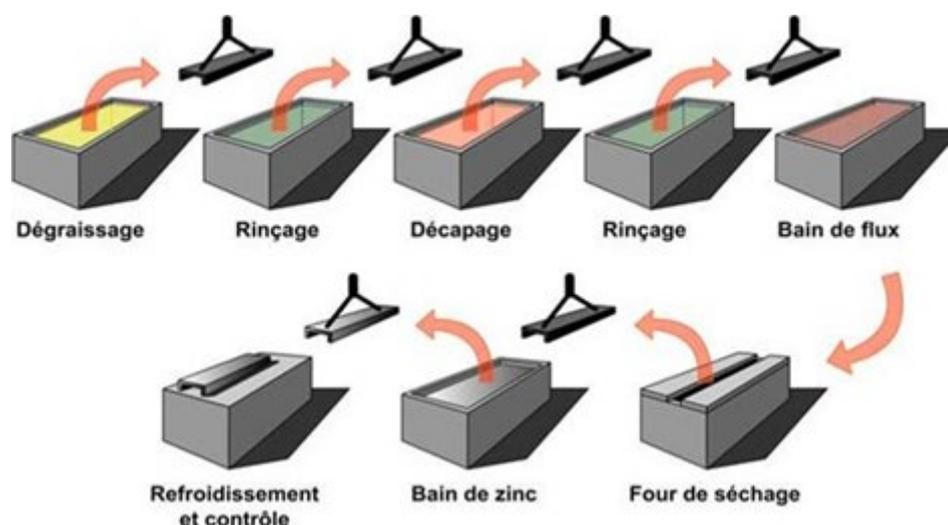


Fig. 14 : Process galvanisation www.galvaunion.com

2.3.1 LES REVÊTEMENTS MÉTALLIQUES

2.3.1.1 Galvanisation

Petit rappel historique

Déjà, au XIV^{ème} siècle, un maître de forge eut l'idée de recouvrir des tôles de fer d'une fine couche d'étain pour lutter contre la rouille (étamage).

De nombreuses découvertes seront à l'origine de l'invention de la galvanisation. En 1742, Paul-Jacques Malouin, chimiste de l'académie Royale des sciences et professeur de médecine au collège Royal, fut le premier à s'intéresser aux propriétés du zinc, un métal encore nouveau à l'époque. Il découvrit alors les effets protecteurs du zinc sur le fer : il fut donc le précurseur, en théorie, de la tôle zinguée.

Jusqu'au début du XIX^{ème} siècle, de nombreux travaux (Galvani, Volta, Faraday) permettent des découvertes sur l'électricité métallique et la protection cathodique qui sont à la base des propriétés de la galvanisation.

Ce ne sera qu'en 1836 que l'ingénieur parisien Stanislas Sorel inventa la tôle galvanisée telle que nous la connaissons aujourd'hui. Ce processus consistait à passer une tôle d'acier décapée et enduite d'un sel de fluxage dans un bain de zinc liquide : il appela d'ailleurs ce procédé « la galvanisation » en l'honneur des découvertes de Galvani. En 1837, Il déposa un brevet et élaborera tous les détails techniques pour en faire un véritable outil industriel.

La galvanisation à chaud consiste à lier le zinc à l'acier en plongeant ce dernier dans un bain de zinc en fusion à 450° C. À cette température, il se produit une réaction de diffusion entre le zinc et le fer de l'acier puis de cristallisation. Le revêtement d'intermétalliques Fer-Zinc ainsi formé est métallurgiquement lié au substrat en acier. En cas d'endommagement du revêtement, le zinc ayant une tendance anodique plus forte que le fer, il s'oxydera à sa place : c'est la protection cathodique (notion d'anode sacrificielle)

Le métier du galvanisateur exige une parfaite maîtrise du procédé et un véritable respect des normes.

Le procédé de galvanisation à chaud s'effectue en plusieurs étapes :

- l'accrochage des pièces,
- le dégraissage afin d'éliminer toutes salissures et graisses,
- le décapage pour enlever la calamine et autres oxydes situés à la surface de l'acier,
- le fluxage pour éviter une réoxydation entre les prochaines étapes et favoriser la réaction métallurgique lors du contact avec le zinc,
- le séchage pour éviter les projections de zinc au moment de l'immersion de la pièce,
- la galvanisation : immersion des pièces dans un bain de zinc à 450° C. Le temps varie selon les charges, les dimensions et l'épaisseur des pièces,
- le décrochage des pièces : le refroidissement et le contrôle se font à l'air libre et chaque pièce est vérifiée, retouchée manuellement (finition).

Le tableau ci-après résume l'ensemble des normes qui encadrent cette activité :

Norme	Titre	Objet	Calendrier
EN ISO 1461	Revêtements par galvanisation à chaud sur produits finis en fonte et en acier / spécifications et méthodes d'essai	La norme ISO 1461 spécifie les propriétés générales des revêtements et les méthodes d'essais relatives aux revêtements appliqués par galvanisation à chaud. C'est la norme « référence » pour la galvanisation à chaud	La norme ISO 1461 : 2009 est entrée en application en mai 2009 et remplace la version précédente de la norme ISO 1461 qui était en vigueur depuis 1999
ISO 14713-1	Revêtements de zinc / Lignes directrices et recommandations pour la protection contre la corrosion du fer et de l'acier dans les constructions / Partie 1 – Principes généraux de conception et résistance à la corrosion	La norme ISO 14713-1 : 2009 fournit des informations techniques concernant les principes généraux de conception des pièces destinées à être protégées contre la corrosion par un revêtement de zinc, ainsi que les éléments d'information sur leur protection en fonction de l'environnement auquel les pièces sont exposées	La norme ISO 14713-1 : 2009 est entrée en application en décembre 2009 et remplace la 14713 de 1999
ISO 14713-2	Revêtements de zinc / Lignes directrices et recommandations pour la protection contre la corrosion du fer et de l'acier dans les constructions / Partie 2 – Galvanisation à chaud	L'ISO 14713-2 : 2009 se concentre sur la galvanisation à chaud, et donne toutes les informations utiles sur les principes généraux de conception appropriés aux pièces à galvaniser à chaud	La norme ISO 14713-1 : 2009 est entrée en application en décembre 2009 et remplace la ISO 14713 de 1999
NF A 35 503	Produits sidérurgiques – Exigences pour la galvanisation à chaud d'éléments en acier	La norme NF-35-503 définit 3 classes d'aciers (A-B-C) aptes à la galvanisation selon leur teneur en silicium et en phosphore	La norme NF A35-503 est entrée en application en juin 2008 et remplace la version précédente qui était en vigueur depuis 1994

À noter que les réparations par un système dit « à froid » n'apportent pas une protection aux propriétés exactement similaires au procédé de galvanisation.



Photo 5 : Passerelle Pic du Midi www.galvaunion.com

Nous attirons donc l'attention des décideurs sur le fait qu'il existe bien souvent un vide de responsabilité entre le galvanisateur et l'entreprise qui sera chargée de ces travaux de réparation. En effet, lors d'un sinistre sur la galvanisation, une entreprise de peinture peut présenter des solutions palliatives à base de peinture riches en zinc ou des peintures haut extrait sec chargées avec des paillettes d'aluminium par exemple. Mais, dans tous les cas, cette réparation ne pourra se substituer totalement à la galvanisation et l'entreprise de peinture ne pourra donc pas reprendre à son compte la garantie de la protection anticorrosion de l'ouvrage, garantie qui restera l'affaire du galvanisateur.

2.3.1.2 Métallisation

Ce procédé de protection anticorrosion consiste à effectuer une projection thermique d'un métal ou d'un alliage sur le substrat métallique.

La technologie a été développée au tout début des années 1910 et a connu un essor très important dans les années 1930, tout d'abord aux USA, puis ensuite dans le reste du monde dans les années 1950-1960, période au cours de laquelle les procédés de base connus aujourd'hui trouvèrent leur naissance. Depuis les technologies se sont perfectionnées pour couvrir des domaines de pointe (notamment l'aéronautique) et accroître les performances (rendements, qualité des dépôts, etc.).

Le choix du métal d'apport est important, son rôle étant de protéger l'acier : il doit être plus anodique que l'acier (même principe que la galvanisation).

C'est pourquoi, les projections thermiques s'effectuent généralement avec du zinc - Zn, de l'aluminium - Al ou des combinaisons zinc/aluminium - Zn/Al (la répartition 85/15 étant couramment utilisée).

Le zinc, l'aluminium ou l'alliage utilisé doit satisfaire à la norme NF EN ISO 14919.

La norme NF EN ISO 2063 a normalisé les différentes épaisseurs de zinc déposées par métallisation et constitue la base de tout cahier des charges.

L'agressivité de l'atmosphère ambiante ainsi que la durée de vie requise déterminent l'épaisseur de la couche de métallisation.

Pour le Zn et les alliages Zn/Al, l'épaisseur de couche se situe généralement entre 50 µm et 150 µm. Pour l'Al, les épaisseurs requises peuvent aller jusqu'à 250 µm.

Les principaux avantages du procédé de métallisation sont que les revêtements sont disponibles pour une utilisation presque instantanée, sans temps de séchage ni durcissement.

Citons les technologies le plus couramment utilisées :

- **technologie Flamme avec un apport poudre :** cette technologie repose sur l'usage d'une flamme à environ 3 000° C dans laquelle est pulvérisée par air comprimée la poudre d'apport qui se transforme au contact de la flamme en gouttelette de métal d'apport fondu qui vient se déposer à la surface du métal à traiter ;
- **technologie Flamme avec un apport fil/cordon :** cette technologie est identique à la précédente hormis que le métal d'apport est cette fois sous forme de fil ou de cordon entraîné par des molettes au niveau du pistolet de pulvérisation. La flamme utilisée présente les mêmes caractéristiques ;



Photo 6 : Métallisation à la flamme © Lassarat

- **technologie Arc électrique** : la technologie repose sur la création d'un arc électrique entre deux fils du métal d'apport entrainés vers le pistolet de pulvérisation par des molettes. Le métal, fondu à une température proche de 6 000° C est ensuite pulvérisé par air comprimé sur le support. Cette technologie présente l'avantage par rapport à la flamme de générer une température environ double de celle-ci, ce qui a pour conséquence d'améliorer la pénétration du métal d'apport dans le substrat ;
- **technologie Plasma** : la technologie repose sur la création d'une source dites « torche plasma » créée par l'ionisation partielle d'un gaz plasmagène. Le gaz, qui passe à l'état plasma, produit de fortes températures de l'ordre de 10 000° C. Le métal d'apport est généralement de la poudre véhiculée par un gaz porteur, souvent de l'Argon. La très haute température de projection du métal d'apport améliore encore la pénétration du métal d'apport à la surface du substrat. L'adhésion du métal d'apport au niveau du substrat est encore améliorée par rapport aux autres technologies.



Photo 7 : Métallisation à l'arc électrique © Lassarat

Quelles que soient la technologie de métallisation et la qualité du métal d'apport ainsi que des performances recherchées, il est dans une extrême majorité des cas nécessaire de mettre en œuvre une peinture de colmatage sur la métallisation afin de finaliser la protection anticorrosion ; le système classique étant composé d'un bouche-pore, d'une sous-couche (intermédiaire) et d'une finition.

Quelques points de vigilances sont indispensables pour l'obtention d'un résultat de qualité et d'une performance de protection optimale :

- la qualité de préparation de surface. Un degré de soin Sa3 est indispensable ainsi qu'un dépoussiérage soigné de la surface avant métallisation ;
- des conditions climatiques parfaitement maîtrisées. La métallisation étant extrêmement sensible à la présence d'humidité, l'hygrométrie dans la zone de travail et le risque de condensation à la surface de la pièce à traiter devront être parfaitement maîtrisés, le cas échéant par l'emploi d'équipements de chauffage et de déshydratation adaptés ;
- la qualité de la couche de métallisation (aspect) dans le cas où celle-ci est recouverte par un film de peinture. En effet, une couche de métallisation d'aspect « granuleuse » induira un risque de formation de piqûres dans le film de peinture et ce quelles que soient les caractéristiques du bouche-pore utilisé.

2.3.2 PEINTURE ET SYSTÈME DE PEINTURE

2.3.2.1 Qu'est qu'une peinture ?

Une peinture est constituée de 4 composants essentiels :

- la ou les résines (les liants),
- matières pulvérulentes (pigments et charges),
- composés volatils (solvants, diluants),
- additifs.

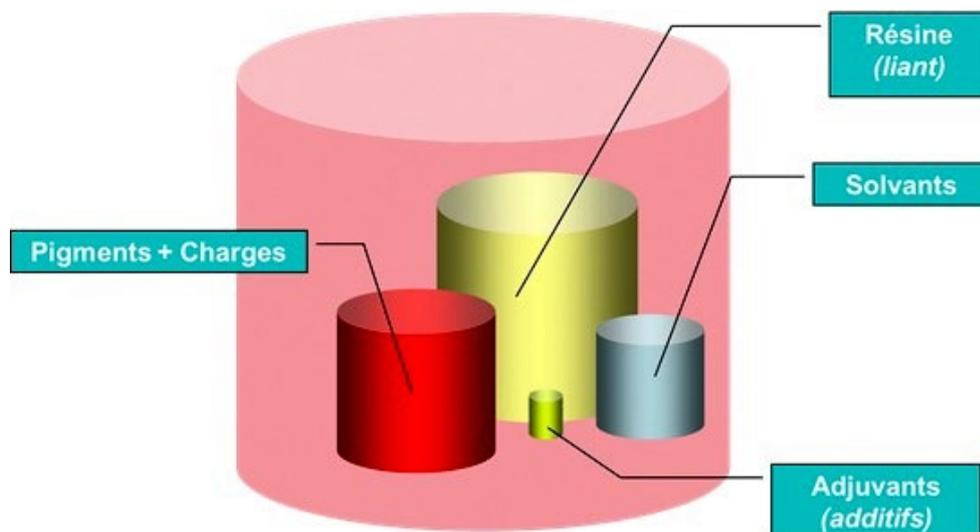


Fig. 15 : Les quatre composants

À quoi servent principalement ces constituants et de quelle nature sont-ils ?

2.3.2.1.1 La résine ou liant

■ Fonction :

- enrobe (lie) les pigments et charges entre eux ;
- détermine les caractéristiques du feuil de peinture :
 - adhérence au support,
 - caractéristique physique du feuil (souplesse / cohésion / dureté / imperméabilité),
 - inertie chimique.

■ Nature/type :

- généralement à base de composés organiques ou organo minéral (éthylsilicate) ;
- quelques liants à base inorganique (minérale) : (silicate).

> Ils sont :

- soit élaborés et incorporés au moment de la (formulation) avant application (monocomposant),
- soit élaborés (formés) au cours du séchage de la peinture (après mélange de plusieurs composants).

Liants « élaborés » avant application (à la formulation) = **Polymères réversibles** :

- vinylique / acrylique,
- caoutchouc chloré,
- alkyde (courts en huile),
- bitume / brai.

Liants «élaborés» durant le séchage de la peinture = **Polymère non réversible** :

- époxydique,
- brai époxy,
- polyuréthane,
- polyester,
- éthylsilicate,
- silicone.
- glycérophtalique (alkyde moyen et long en huile)

2.3.2.1.2 Pigments et charges

■ PIGMENTS :

- solides en poudre,
- granulométrie très fine (quelque μm),
- nature : minérale / organo-minéral / organique,
- Incorporés par dispersion / broyage dans le liant.

> Ils confèrent :

- opacité / pouvoir couvrant,
- couleur,
- brillant,
- propriétés spécifiques : **par exemple une action inhibitrice ou un effet galvanique contre la corrosion (point spécifique développé ci-dessous).**

> Ils contribuent par ailleurs à :

- l'esthétisme,
- l'amélioration des caractéristiques physico-mécaniques (dureté, rayure, abrasion),
- la protection aux UV, à la pénétration des agents agressifs,
- l'inertie chimique.

■ CHARGES :

- solide en poudre, inerte vis-à-vis du liant,
- granulométrie supérieure à celle des pigments,
- nature minérale,
- incorporation par dispersion dans le liant,
- pouvoir opacifiant faible.

Composé qui permet de modifier les caractéristiques des peintures sur le plan :

- de la rhéologie,
- du brillant,
- de la cohésion du feuillet (permet d'ajuster la concentration pigmentaire volumique CPV),
- du prix de revient de la formule.

La notion de **CPV** est importante et conditionne pour une grande partie les caractéristiques du feuillet sec :

- perméabilité,
- susceptibilité au farinage,
- cohésion du feuillet,
- brillance,
- inertie chimique.

Notion de CPV (concentration pigmentaire volumique)

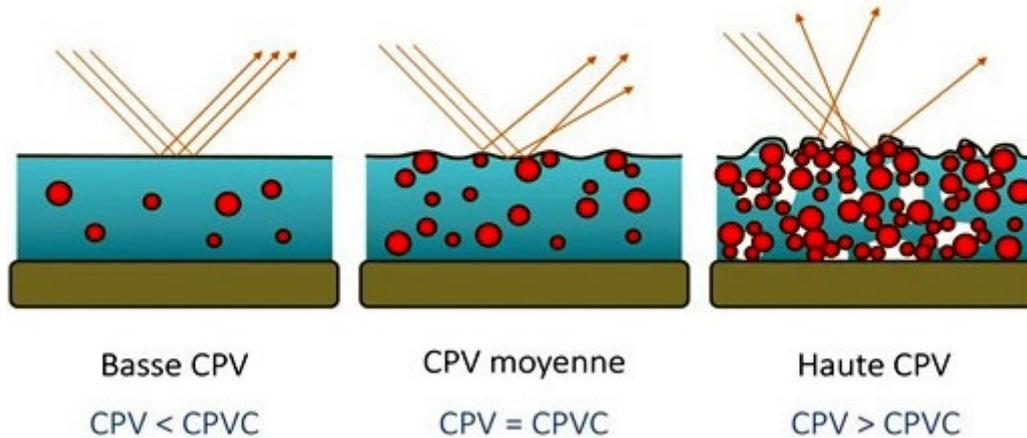


Fig. 16 : Notion de CPV

CPVC : Concentration Pigmentaire Volumique Critique = concentration de liant dans le film en-deçà de laquelle tous les pigments et charges ne sont pas enrobés.

Ainsi, en résumé et de façon un peu schématique, plus la CPV est forte et plus le film sera perméable, sensible au farinage, peu cohésif, moins brillant et plus sensible aux agressions chimiques.

Principaux types de charges :

- oxydes (silice SiO_2),
- carbonate de calcium (CaCO_3),
- carbonate mixte de magnésium et de calcium ($\text{MgCO}_3 / \text{CaCO}_3$),
- talc (silicate de magnésium),
- sulfate (sulfate de baryum) BaSO_4 ,
- kaolin (silicate d'aluminium complexe),
- etc.

> Quels sont les différents Pigments et Charges utilisés pour leur apport en protection « anticorrosion » ?

■ Pigments d'origine minérale - ce sont principalement :

- oxyde de fer,
- phosphate de zinc,
- chromate de strontium,
- composés de plomb (interdit de nos jours),
- composés du chrome : chrome VI (très peu utilisés dorénavant, voire interdit du fait de leur toxicité).
- etc.

Ils sont utilisés pour leur action passivante du substrat métallique.

- Pigments d'origine métallique : - zinc,
- aluminium.

Ils apportent un aspect de surface (finition aluminium par exemple) et une protection « cathodique » du substrat métallique.

- Pigments et charges de forme « Lamellaires » : - oxyde de fer micacé,
- écaille de verre,
- mica,
- aluminium lamellaire,
- etc.

Ils apportent de l'étanchéité, un effet barrière, de la résistance à l'abrasion.

2.3.2.1.3 Composés volatils

Ils permettent l'homogénéisation des composants (liants, pulvérulents...) lors de la fabrication et l'ajustement de la viscosité pour assurer l'application des produits.

- Présents dans la majorité des peintures.
- Tendance à aller vers des peintures à haut extrait sec (faible teneur en composés organiques volatils [COV]) : - toxicité plus faible,
- épaisseur déposée plus importante,
- loi sur les COV (Composés Organiques Volatils) applicable depuis 2003.

> On distingue :

- les solvants, qui ont le pouvoir de solubiliser la résine,
- les diluants, dont le pouvoir de dissolution de la résine est limité. Ces derniers permettent un abaissement de viscosité et un ajustement des paramètres de mise en œuvre et de séchage.

> Différents types :

- aqueux : eau ;
- organiques : - hydrocarbures aromatiques : xylène, toluène,
- hydrocarbures aliphatiques : white spirit,
- cétones : méthyléthyl cétone MEC, méthylisobutyl cétone MIBC,
- alcools : isobutanol, butanol, isopropanol,
- esters : acétate isobutyle.

> Principales caractéristiques :

- pouvoir solvant,
- vitesse d'évaporation,
- point éclair (température),
- pureté (teneur en eau),
- toxicité (VLE / VME - valeur limite d'exposition / valeur moyenne d'exposition -),
- explosivité (LIE / LSE - limite inférieure d'explosivité / limite supérieure d'explosivité -).

2.3.2.1.4 Additifs

Ils sont incorporés en faible quantité (quelques pourcents) mais ils ont le pouvoir de modifier les propriétés et caractéristiques de la peinture, tant sur ses propriétés initiales avant mise en œuvre que sur le film en cours de formation ou après séchage :

- rhéologique (thixotropie / viscosité),
- antimousse,
- séchage,
- anti-sédimentation,
- pouvoir fongicide / bactéricide,
- agent d'écoulement, de tension,
- inertie vis à vis des UV,
- agent débullant,
- rayabilité, etc.

2.3.2.2 Formation du film peinture

Une notion extrêmement importante dans la connaissance des peintures est la phase de séchage ou de réticulation selon la peinture : c'est le passage de son état liquide (en excluant les peintures poudres bien entendu) à l'état solide. Trois processus différents selon le type de peintures :

- le séchage par voie physique,
- la réticulation par réactions chimiques ou physico-chimiques,
- la combinaison des deux (souvent le cas à l'exception des 100 % d'Extrait sec)

Selon le mode de séchage, les propriétés finales du film présentent des caractéristiques bien différentes.

En fonction des conditions de séchage (mécanisme, température, ventilation, temps), le feuillet de peinture peut être :

- sec hors poussière,
- sec au toucher,
- sec dur ou à cœur (dans toute l'épaisseur),
- sec manipulable.

Ces notions sont importantes dans le processus de mise en peinture.

2.3.2.2.1 Séchage par voie physique

Ce mode de séchage concerne les liants totalement formés au moment de la fabrication des peintures. Ce sont des peintures dites monocomposantes (attention certaines peintures monocomposantes peuvent également réticuler, cas notamment des glycérophtaliques).

Les peintures principalement concernées sont les suivantes :

- acrylique et vinylique,
- caoutchouc chloré / isomérisé,

- brai de houille,
- bitumineuse,
- cellulosique.

Le processus de séchage peut être décrit comme suit :

- évaporation des matières volatiles,
- vitesse séchage fonction de la volatilité des solvants,
- réduction d'épaisseur (film humide → feuil sec).

Les principales caractéristiques du film une fois formé sont les suivantes :

- risque de rétention de solvant,
- sensibilité du feuil sec au solvant (détrempe) ; réversibilité du phénomène,
- peinture applicable à basse température tout en respectant les règles élémentaires (température de surface / point de rosée),
- thermoplasticité du feuil.

2.3.2.2.2 Séchage par réaction chimique

On distingue deux principaux modes de séchage par réaction chimiques :

> OXYDATION :

Concerne généralement des peintures «solvantées» à base de résines de types huiles ou à base d'huiles (glycérophtaliques) naturelles ou de synthèse, ce qui induit :

- une 1^{ère} phase de séchage : évaporation des matières volatiles ;
- une 2^{ème} phase d'oxydation :
 - réaction de l'oxygène (de l'air) sur le liant,
 - accélération du séchage par adjonction de siccatifs (ex. : Naphtérate ou Octoate de Pb, Co, Mn) :
 - Zr : séchage en profondeur,
 - Co : séchage en surface,
 - Mn : séchage en surface et en profondeur.

Le phénomène est irréversible. Le liant sec «réticulé» ne peut être redissout par le solvant de la peinture.

> RÉTICULATION :

Les principales réactions sont les suivantes :

- polycondensation,
- polyaddition,
- polymérisation.

Elles ont lieu entre plusieurs composants, communément appelés Base et Durcisseur. Ces réactions sont majoritairement précédées d'une phase d'évaporation des matières volatiles (dans le cas des peintures solvantées), à l'exception des peintures à 100 % d'extrait sec.

Principales peintures concernées : - époxydique,
- polyuréthane monocomposant,
- polyuréthane bicomposant,
- polyurée,
- polyester, vinylester,
- oluacrylique,
- éthylsilicate,
- silicone,
- polysiloxane,
- etc.

La température influe énormément sur la cinétique de réticulation, jusqu'à la bloquer (température limite mini 10° C). Dans la pratique, la plupart des produits commerciaux réticulent à 5° C.

Selon la complexité, la densité et l'orientation du réseau macromoléculaire, les propriétés du feuillet de peinture seront variables (tant sur le plan chimique que physicomécanique).

Ce type de peintures implique :
- un respect de la stœchiométrie (rapport de mélange des constituants),
- une homogénéité du mélange,
- une notion de « pot life » (durée de vie en pot du mélange)
qui diminue si la température augmente,
- une notion de durée pratique d'utilisation (DPU),
- une notion de temps de mûrissement (avant application).

2.3.2.2.3 Qu'est-ce qu'un système de peinture

Il est très rare, sauf exception (cas des monocouches), qu'une peinture à elle seule puisse satisfaire à l'ensemble des propriétés et caractéristiques attendues tant pour des aspects de performance (anticorrosion, esthétisme, stabilité dans le temps, etc.) que de satisfaction aux contraintes du schéma industriel de construction.

> Les principales attentes sont les suivantes :

- protection du support contre la corrosion,
- adhérence au support,
- résistance mécanique,
- imperméabilité (eau, vapeur, gaz, ions, etc.),
- résistance chimique,
- durabilité et stabilité dans le temps,
- etc.

Dans le cas précis des revêtements anticorrosion, la performance finale repose sur 3 principes majeurs :

■ **blocage et/ou suppression de toutes attaques de corrosion, soit :**

→ par action inhibitrice apportée par les pigments inhibiteurs qui agissent sur la surface selon une réaction chimique complexe. Citons notamment :

- phosphate de zinc,
- minium de plomb, (interdit aujourd'hui)
- chromates, etc.

→ par action galvanique :

- peinture à base de liant époxy ou éthyl-silicate,
- effet galvanique obtenu par la présence de pigment zinc métal (en poudre).

Le zinc (zone anodique) se «détruisant» préférentiellement vis à vis de l'acier du support ;

C'est le rôle de la couche de primaire.



Photo 8 : Vue de la travée d'un pont métallique après application de la deuxième couche de primaire époxydique ©Lassarat

■ **effet « barrière » par augmentation de l'imperméabilité du revêtement :**

Cet effet «barrière» est apporté :

- par l'épaisseur de la couche intermédiaire fonction de la corrosivité du milieu,
- par le type de liant : bitume, époxy, PU / Alkyde,
- par la présence de pigments ou charges lamellaires comme les oxydes de fer micacé, écailles de verre, mica, aluminium, etc.

C'est le rôle de la couche intermédiaire.

■ effet « écran » vis-à-vis des agressions extérieures et apport au revêtement des caractéristiques spécifiques de :

- tenue aux UV,
- tenue aux intempéries,
- tenue aux polluants,
- tenue aux produits chimiques
- aspect, esthétique,
- autres...

C'est le rôle de la couche de finition.

Cet ensemble est constitué en fonction de l'agressivité de l'environnement et doit présenter une maintenance relativement aisée.

Le concepteur de la solution de revêtement dans le cadre de la mise en peinture d'un ouvrage de génie civil doit intégrer par ailleurs les contraintes d'exploitation qui rendront plus ou moins difficile l'accès à certaines surfaces à traiter au cours de la vie de l'ouvrage. Certaines peintures étant plus ou moins facilement recouvrables avec performance, le choix initial est donc déterminant pour la réalisation des travaux d'entretien et de rénovation, tout comme dans le choix des peintures sur ces phases de maintenance, en pensant aux opérations suivantes.

2.4.1 CONNAISSANCE DES NORMES, RÉGLEMENTATIONS ET LÉGISLATIONS APPLICABLES

Dans les paragraphes qui suivront nous essaierons de résumer ce qu'il faut savoir sur les exigences applicables à la date de rédaction du guide. Cependant, la connaissance de la toxicité des substances et de leur impact sur l'Homme et l'Environnement ne cesse d'évoluer et, avec elle, les textes en vigueur. Par conséquent nous encourageons vivement le lecteur de se rapprocher de l'OPPBT afin de vérifier pour chaque point ci-après l'évolution des normes, réglementations et législations applicables.

2.4.2 CONTRAINTES LIÉES À L'ÉLIMINATION DES PEINTURES EN PLACE

Comme nous l'avons vu, l'histoire de la protection anticorrosion des ouvrages de génie civil métalliques n'est pas récente et il n'est d'ailleurs pas toujours facile de connaître l'historique précis des travaux de peinture ainsi que les références des produits utilisés sur les ouvrages anciens. Nous développerons plus en avant ce point sur la phase de diagnostic.

Cependant, nous savons notamment que des pigments de type minium de plomb ou des peintures de nature, notamment bitumineuse, chargées de fibres d'amiante par exemple, ont pu être utilisés dans un passé assez récent. Leur présence est possible encore sur de nombreux ouvrages aujourd'hui. Ces deux substances présentant un risque sanitaire et environnemental connu, des dispositions spécifiques doivent être mises en œuvre lors des travaux de rénovation en réponse aux exigences réglementaires. Nous allons détailler ces mesures ci-après.

Par ailleurs, il est utile de préciser que le cadre d'intervention bien spécifique à ces deux substances peut à tout moment être complété par d'autres restrictions (autres substances devenant toxique et/ou renforcement de dispositions existantes par l'évolution des connaissances).

Citons par exemple :

- les revêtements qui contiennent des pigments à base de chrome VI pour lequel, en milieu professionnel, les valeurs limites d'exposition pour le chrome hexavalent ont été fixées à $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour la VLEP-8h (décret n°2012-746) et $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour la VLEP-CT (1^{er} juillet 2014) ;
- les revêtements contenant des charges de silice cristalline dont l'élimination, selon son mode, est susceptible de mettre en suspension dans l'air cette charge dont la toxicité pour l'Homme est avérée ;
- les revêtements à base de brai de houille ;
- ...

Il faut donc être extrêmement vigilant et attentif aux évolutions réglementaires en la matière et consulter en permanence les organismes spécialisés tel que l'OPPBT afin de s'assurer que l'ensemble des contraintes soit bien connu et intégré.

2.4.2.1 Plomb

Les revêtements susceptibles de contenir du plomb sont principalement les peintures (du fait de l'utilisation ancienne de la céruse et celle de produits anticorrosion à base de minium de plomb)

Ces revêtements peuvent se dégrader avec le temps et l'humidité : les écailles et les poussières sont alors sources d'intoxication.

Il subsiste aujourd'hui des peintures au plomb sur bon nombre d'ouvrages anciens (construits avant 1970) et des teintes contenant plus ou moins de plomb en fonction de la couleur.

Dans les peintures industrielles, le plomb est présent comme PIGMENT pour obtenir les couleurs jaune, orange, rouge et vert mais aussi dans les anciennes formulations comme composé pigment anticorrosion.



Photo 9 : Vue des anciens fonds sur un ouvrage revêtu de peinture ancienne à base de minium de Plomb © Lassarat

Quelques exemples d'utilisation :

- primaires anticorrosion « classiques » (pigment utilisé : minium de plomb) ;
- couches primaires : action inhibitrice apportée par les pigments inhibiteurs de corrosion ;
- peinture glycérophtalique (alkyde) : autrefois pigmentée au minium de plomb.

Quelques dates dans la législation sur les peintures au plomb :

- 1948 : interdiction des peintures contenant de la céruse (hydroxy carbonate de plomb) ;
- 1993 renforcé en décembre 2003 : interdiction de tous travaux de peintures contenant du plomb (implique l'interdiction des pigments rouge de chromate et jaune de sulfochromate car ils contiennent du sulfate de plomb) ;
- avril 2006 : apparition des valeurs seuils de détection de pollution au plomb. Le chromate et le minium de plomb doivent être en deçà du seuil de 0,1 % de concentration massique dans la préparation et ne pas engendrer de détection positive sur le système complet.

En vigueur : Arrêté du 19 août 2011 relatif au constat de risque d'exposition au plomb, entrée en vigueur le 1^{er} janvier 2012 et concerne les modalités de réalisation des constats de risque d'exposition au plomb (CREP).

En vertu de l'Article 6 de l'arrêté du 19 août 2011 relatif au diagnostic plomb (Code de la Santé Publique), il est considéré qu'un revêtement contient du plomb lorsque la concentration massique en plomb acido-soluble, mesurée en laboratoire sur prise d'échantillon, est supérieure ou égale à 1,5 mg/g, soit 0,15 % en poids.

Deux voies principales d'entrée de plomb dans l'organisme :

- **voie digestive** : le plomb ingéré peut provenir des mains sales portées à la bouche (cigarette, aliments souillés...)
- **voie pulmonaire** : inhalation des poussières contenant du plomb.

Attention : la fumée de cigarette facilite la pénétration du plomb au niveau des alvéoles pulmonaires.

La sortie du plomb de l'organisme :

- après absorption digestive ou pulmonaire, le plomb passe dans le sang avant d'aller se fixer dans les tissus ou d'être éliminé ;
- l'excrétion du plomb est essentiellement urinaire (>75 %) et fécale (15 à 20 %) ;
- le reste est éliminé dans les phanères (cheveux, poils, ongles), la transpiration et les sécrétions bronchiques.

Pour information, le temps de demi-décroissance de la plombémie (élimination du plomb de l'organisme par moitié) est d'environ 30 à 40 jours.

Deux articles du code du travail encadrent les dispositions collectives qui doivent être mises en place lors des travaux d'exposition au plomb :

Article R.4412-156

« Les travailleurs exposés au plomb ou à ses composés doivent disposer de deux locaux aménagés en vestiaires collectifs situés près de la sortie, le premier étant exclusivement réservé au rangement des vêtements de ville et le second au rangement des vêtements de travail, ainsi que de douches assurant la communication entre les deux vestiaires ».

Article R.4412-157

« L'employeur veille à ce que les travailleurs exposés n'accèdent pas au second vestiaire qu'après avoir déposé dans le premier leurs vêtements de ville et ne pénètrent dans ce dernier, postérieurement à toute intervention les exposant au plomb et à ses composés, qu'après leur passage dans les installations de douches ».

Compte tenu de ces deux articles, installation obligatoire d'un double vestiaire, avec sanitaires et douches entre les deux.

Un système de ventilation, avec filtration absolue dans le vestiaire sale, est impératif.

D'une manière générale, balisage et limitation de l'accès au confinement. Indication du risque plomb.

Traitement de l'air en cours d'opération :

Dans la réglementation sur le plomb, il n'y a rien de précisé à ce sujet. Il est seulement mentionné dans le Code du Travail, **Articles R.4222-11 à 17 et R.4220-20 à 24** que :

« les opérations de captage et de ventilation sont réalisées de telle sorte que les concentrations dans l'atmosphère ne soient dangereuses en aucun point pour la santé et la sécurité des travailleurs et qu'elles restent inférieures aux valeurs limites d'exposition. »

Ainsi, en complément des dispositions collectives, il est important de bien anticiper les dispositions individuelles de protection et de mettre en place un protocole de mesures afin de vérifier que les valeurs d'exposition restent en dessous des seuils.

Ainsi, **conformément à l'Article R.4412-149 du Code du Travail** :

« ...la VLEP (Valeur Limite d'Exposition Professionnelle) pour le plomb et ses composés est fixée à 100 µg/m³, exprimée en plomb métal ».

Et par ailleurs :

selon l'Article R.4412-160 du Code du travail :

« ...une surveillance médicale particulière des travailleurs est assurée si l'exposition à une concentration de plomb dans l'air est supérieure à 50 µg/m³, calculée comme une moyenne pondérée en fonction du temps, sur une base de huit heures, ou si une plombémie supérieure à 200 µg/litre de sang pour les hommes ou 100 µg/litre de sang pour les femmes est mesurée chez un travailleur ».

Et selon l' Article R.4412-152

« La valeur limite biologique à ne pas dépasser est fixée à 400 µg de plomb par litre de sang pour les hommes, et 300 µg de plomb par litre de sang pour les femmes. »

Au démarrage et pendant les travaux, il est important de faire intervenir un laboratoire indépendant afin de réaliser des mesures au niveau des zones de travail : il s'agit de **contrôler la concentration des poussières de plomb dans l'atmosphère**.

Ces mesures d'empoussièrement permettent de déterminer le niveau d'exposition du personnel par comparaison avec la VLEP, et d'ajuster les dispositifs de prévention (protections collectives et individuelles) en conséquence.

Ces contrôles sont réalisés suivant une stratégie d'échantillonnage prédéfinie (relevés fréquents en tous points du confinement ainsi que sur les opérateurs).

Pour un chantier avec niveau un risque d'exposition élevé, **un contrôle mensuel de la plombémie est à réaliser**.

La gestion de traitement des déchets s'appuie essentiellement sur le Décret n°2005-635 du 30 mai 2005 et des arrêtés qui en découlent.

Nous retiendrons principalement :

- le producteur du déchet est responsable de leur bonne gestion, jusqu'à leur traitement final ;
- émission d'un BSD (Bordereau de Suivi des Déchets) par leurs producteurs ou leurs détenteurs (Arrêté du 29 juillet 2005) ;
- l'original du BSD suit le déchet jusqu'à son traitement final ;
- le producteur du déchet doit suivre pas à pas le traitement du déchet dont il est responsable.

2.4.2.2 Amiante

Quelques dates :

- interdiction d'utilisation de l'amiante en France depuis le 1^{er} janvier 1997 et depuis le 1^{er} janvier 2005 dans la Communauté Européenne ;
- progressivement, des VLE ont été mises en place avant de voir certains produits contenant de l'amiante interdits en 1988 (peintures) ;
- le décret n° 2012 – 639 du 04 mai 2012, applicable au 1^{er} juillet 2012, a supprimé dans le code du travail, la dualité de notions friable / non friable ;
- décret n° 2017 - 899 du 09 mai 2017 relatif au repérage de l'amiante avant certaines opérations - *Conditions et modalités du repérage avant travaux de l'amiante.*



Photo 10 : Pont SNCF de Caronte, vue échafaudage et confinement © Lassarat

Son entrée en vigueur est définie par un décret complémentaire n° 2019-251 du 27 mars 2019 - art.3 qui fixe les dates limites de mise en application par type d'ouvrage. Pour les ouvrages de génie civil, la date est fixée au 1^{er} octobre 2020.

- arrêté du 23 février 2012 définissant *les modalités de la formation des travailleurs à la prévention des risques liés à l'amiante* – sous-section 3 (entreprises qui font de la déconstruction / démolition dans l'amiante) et sous-section 4 (entreprises qui font de la maintenance) et les différentes catégories de travailleurs (opérateur de chantier, encadrement de chantier, encadrement technique).

Pour aller plus loin :

- sous-section 3 : travaux de retrait ou d'encapsulation d'amiante et de matériaux, d'équipement et de matériels ou d'articles en contenant, y compris dans le cas de démolition.

Applicable uniquement à la SS3 :

- art R442-126 – Chantier
 - évaluation des risques et mesurage/contrôle des empoussièrtements (respect de la valeur de 5F/l),
 - certification des entreprises effectuant le retrait,
 - confinement pour travaux de désamiantage,
 - plan de retrait (PDRE) tenu à disposition sur le lieu du chantier – Modalités du plan de retrait en fonction du périmètre du marché. Peut être consulté par l'inspecteur du travail, les agents CARSAT, les auditeurs des organismes certifiés... Modalités de communication et de transmission,
 - rapport et contrôle de fin de travaux.
- sous-section 4 : Interventions sur des matériaux, des équipements, des matériels ou des articles susceptibles de provoquer l'émission de fibres d'amiante.



Photo 11 : Pont du Vecchio vue d'ensemble pendant travaux © Lassarat

Applicable uniquement à la SS4 :

- Art R442-144
 - mode opératoire en fonction de l'évaluation des risques : description des méthodes de travail, moyens techniques, durées et temps de travail, gestion des déchets,
 - modalités de mise à jour et de transmission du MOP,
 - cas des interventions de plus de 5 jours.

2.4.3 CONTRAINTES SANITAIRES ET ENVIRONNEMENTALES APPLICABLES AU CHOIX DES PEINTURES POUR LES TRAVAUX DE RÉNOVATION

2.4.3.1 Rappel sur la réglementation de la prévention des risques chimiques

Ce que dit l'INRS :

Le Code du travail appréhende le risque chimique dans son ensemble, depuis la fabrication des produits chimiques et leur mise sur le marché jusqu'à leur utilisation professionnelle. Les règles de prévention du risque chimique (articles L. 4412-1 et R. 4412-1 à R. 4412-160) se répartissent en plusieurs sections regroupant :

- les **règles générales de prévention** des risques dus aux **agents chimiques dangereux (ACD)** (articles R. 4412-1 à R. 4412-57) ;
- les règles particulières applicables aux **agents chimiques dangereux** définis réglementairement comme **cancérogènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction (CMR)** (articles R. 4412-59 à R. 4412-93) ;
- les **valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP)** et les **valeurs limites biologiques (VLB)** pour certains agents chimiques (articles R. 4412-149 à R. 4412-152).

L'article R4412-3 du **Code du Travail** définit un agent **chimique** dangereux comme : *tout agent chimique qui satisfait aux critères de classement des substances ou préparations dangereuses tels que définis à l'article R4411-6 du Code du Travail.*

Nous n'allons pas détailler l'ensemble de la réglementation concernant le risque chimique et la gestion de ce risque. En revanche il est utile de rappeler quelques obligations de l'employeur pour apprécier l'impact de ces obligations sur le choix des peintures.

Évaluation des risques

(articles R. 4412-5 à R. 4412-10 du Code du travail)

L'employeur doit en premier lieu évaluer les risques générés par toutes les activités de l'entreprise pouvant exposer à des agents chimiques, que ce soit des produits utilisés comme tels ou générés par une activité ou un procédé sous la forme de gaz, poussières ou aérosols.

Les résultats de cette évaluation sont consignés dans le **document unique** et communiqués au médecin du travail, au CHSCT, ou à défaut aux délégués du personnel ou, en l'absence de représentants du personnel, aux personnes exposées à un risque pour leur santé ou sécurité.

Mesures de prévention techniques et organisationnelles

(articles R. 4412-11 à R. 4412-22 du Code du travail)

Lorsque l'évaluation a révélé un risque, les mesures de prévention mises en œuvre consistent en priorité à supprimer le risque, si ce n'est pas possible à le réduire au minimum, en substituant à l'**agent chimique dangereux un autre agent ou un procédé de travail moins ou pas dangereux.**

Ce point de réglementation est essentiel. L'entreprise a l'obligation de choisir le produit (en l'occurrence dans notre cas la peinture), présentant le risque sanitaire le moins élevé envers les opérateurs.

Il est donc indispensable de bien connaître la nomenclature du risque chimique afin d'être en mesure de bien savoir lire et interpréter les données du fournisseur tant au niveau de l'étiquetage des emballages que des données portées dans les fiches de données de sécurité (FDS), ainsi que les informations fournies par l'INRS.

2.4.3.2 Autres contraintes environnementales et sanitaires applicables aux produits de peinture

La peinture, qu'elle soit solvantée ou aqueuse, relève d'un mélange de substances chimiques au niveau desquelles les contraintes environnementales et sanitaires ne cessent de s'accroître. Au fil des temps, les mélanges ont intégré des molécules de synthèse dans une démarche d'amélioration de performance technique (qualité, fonctionnalité, etc.). La connaissance de la toxicité de ces substances est progressive. La prise de conscience de l'impact de certaines substances sur l'Homme et son environnement génère de nombreuses évolutions réglementaires tant sur le plan Européen que National ayant pour conséquence de restreindre petit à petit l'étendue des substances jusqu'alors utilisées dans les produits de peinture. Notons, par exemple, l'interdiction d'emploi des phtalates, autrefois un plastifiant très utilisé en peinture ou le brai, liant de certaines anciennes peintures.

Ces contraintes génèrent obligatoirement des modifications de formulation chez les fabricants de peinture. Les entreprises applicatrices tout comme les maîtres d'ouvrage doivent être vigilants sur l'impact de ces modifications tant sur l'applicabilité des produits que sur leur performance et propriétés attendues. N'oublions pas le vieil adage des chimistes : « Toxicité = efficacité ! »...

Nous pouvons résumer ces contraintes en 4 points :

- **contraintes sanitaires liées à la réglementation française (code du travail, INRS) notamment en matière de substances CMR (Cancérogène, mutagène, reprotoxique)**

Le risque CMR est régi par le code du travail. Toutefois, de nombreux autres textes, décrets circulaires, encadrent à la fois la définition et l'emploi de ces substances dites CMR.

Par agent CMR il faut entendre non seulement les substances ou les préparations/mélanges, mais également les situations d'expositions (notamment poussières...).

Les agents cancérogènes susceptibles d'être rencontrés dans l'industrie ont été inventoriés dans une fiche d'aide au repérage (FAR 12) décrivant les postes de travail, les agents cancérogènes concernés, avec leur probabilité de présence. Ces fiches ont été rédigés par un groupe d'ingénieurs de l'INRS et de la CARSAT. Elles sont révisées périodiquement et accessibles sur le site de l'INRS. Certaines sont spécifiques aux activités de peintures et de protection anticorrosion.

- **directives européennes en matière de COV (Composés organiques volatils)**

Outre leurs effets directs sur la santé, les COV ont aussi un impact indirect en participant à des réactions photochimiques dans la basse atmosphère, causant ainsi l'augmentation de la concentration en ozone dans la troposphère.

La législation relève essentiellement de deux directives :

- directive relative à la production : Directive 1999/13/CE du 11 mars 1999 : La directive implique le respect de valeurs limites d'émission sur le site de production. Elle est donc applicable aux sites de production de peintures mais également aux ateliers qui les mettent en œuvre.

Elle a été abrogée et remplacée par la Directive 2010/75/UE du Parlement européen et celle du 24 novembre 2010 relative aux émissions industrielles (prévention et réduction intégrées de la pollution) ; texte présentant de l'intérêt pour l'EEE ;

- directive relative aux produits : Directive 2004/42/CE du 21 avril 2004. Elle a été modifiée ensuite par la directive 2008/112/CE du parlement Européen et du conseil Européen du 16 décembre 2008 puis par la directive 2010/79/UE de la commission en date du 19 novembre 2010.

On entend par COV tout composé organique dont le point d'ébullition, mesuré à la pression standard de 101,3 KPa est inférieur ou égal à 250° C. La réglementation touche par conséquent l'extrême majorité des solvants et diluants des peintures.

Les limites fixées pour les peintures anticorrosion sont les suivantes :

- i) revêtements monocomposants à fonction spéciale** : désigne les revêtements spéciaux à base de matériaux filmogène. Ils sont destinés aux applications appelées à remplir une fonction spéciale, par exemple en tant que couche primaire ou couche de finition pour les plastiques, couche primaire pour les supports ferreux ou pour les métaux réactifs comme le zinc et l'aluminium, finition antirouille, revêtement de sol y compris pour sol en bois ou en ciment, revêtement anti graffiti, revêtement retardateur de flamme ou revêtement conforme aux normes d'hygiène dans l'industrie agro-alimentaire ou dans le secteur de la santé ;
- j) revêtements bicomposants à fonction spéciale** : désigne les revêtements destinés aux mêmes usages que les précédents avec un second composant (par exemple des amines tertiaires) ajouté avant application.

A teneurs maximales en COV pour certains vernis et peintures

Sous-catégorie de produits	TYPE	Phase I (g/l)* à partir du 01/01/2007	Phase II (g/l)* à partir du 01/01/2010
i) Revêtements mono composants à fonction spéciale	PA	140	140
	PS	600	500
j) Revêtements bi composants à fonction spéciale pour utilisation finale spécifique, sur sols par exemple	PA	140	140
	PS	550	500

■ **Règlement REACH (Registration Evaluation Authorization and restriction of Chemical substances)**

Ce règlement est entrée en vigueur le 1^{er} juin 2007. Ce règlement Européen rationalise et améliore l'ancien cadre réglementaire de l'UE sur les produits chimiques.

Le principal objectif de REACH est d'assurer un niveau élevé de protection de la santé humaine et de l'environnement contre les risques que peuvent poser les produits chimiques.

Article Premier :

« Il incombe aux fabricants, aux importateurs et aux utilisateurs en aval de veiller à fabriquer, mettre sur le marché ou utiliser des substances qui n'ont pas d'effets nocifs pour la santé humaine et l'environnement. »

La réglementation vise toutes les substances chimiques produites ou importées en zone européenne, à partir d'un volume annuel supérieur à 1 tonne (soit environ 30 000 substances sur les 100 000 utilisées en Europe).

Certaines substances sont soumises à autorisation spécifiques :

- les CMR 1A et CMR 1B,
- les plus nocives pour l'environnement : PBT et vPvB,
- les substances pour lesquelles l'agence estime qu'il y a un risque très élevé (substances dites « préoccupantes »).

REACH touche essentiellement les fabricants, mais de façon indirecte, les utilisateurs car, si toutefois certaines substances visées par la réglementation sont présentes en quantité limitée dans les peintures en respect des seuils autorisés, est-ce que le fabricant peut garantir de fournir cette peinture du fait des cumuls annuels qu'il ne peut dépasser pour certaines substances ? Afin d'éviter toute rupture d'approvisionnement sur un projet de rénovation de peinture, il est important d'intégrer ce point dans les critères de choix.

Attention, REACH peut impacter toutes les entreprises. Voir le site de l'ECHA : <https://echa.europa.eu/fr/regulations/reach/understanding-reach>

Effet du règlement REACH sur les entreprises :

REACH a des répercussions sur un large éventail d'entreprises de nombreux secteurs, y compris sur celles qui pourraient estimer ne pas être concernées par les substances chimiques.

En règle générale, dans le cadre de REACH, vous pouvez être considéré comme :

Fabricant : si vous fabriquez des substances chimiques, que ce soit pour les utiliser vous-mêmes ou pour les fournir à d'autres personnes (y compris pour l'export), vous assumerez probablement d'importantes responsabilités dans le cadre de REACH.

Importateur : si vous achetez des produits quelconques provenant de l'extérieur de l'UE/EEE, vous aurez probablement certaines responsabilités dans le cadre de REACH. Il peut s'agir de substances chimiques telles que des mélanges destinés à la revente ou de produits finis, comme des vêtements, des meubles ou des articles en plastique.

Utilisateur en aval : la plupart des entreprises utilisent des substances chimiques, parfois même sans le savoir; vous devez donc vérifier vos obligations si vous manipulez des substances chimiques dans votre activité industrielle ou professionnelle. Certaines responsabilités pourraient vous incomber dans le cadre de REACH.

■ **Règlement CLP (Classification and Labelling of Packaging)**

Ce règlement CE n°1272/2008 est relatif à la classification, étiquetage et emballage des substances et mélanges. Elle vise à harmoniser les critères de classification ainsi que les règles d'étiquetage et d'emballage des substances et mélanges dangereux. Cette réglementation a notamment imposé de nouveaux pictogrammes de dangers pour une meilleure prévention et information des risques pour les utilisateurs des produits.

3

Reconnaitances préalables avant travaux

- 3.1** Analyse documentaire de l'historique de l'ouvrage
- 3.2** Visite de reconnaissance
- 3.3** Diagnostics complémentaires
- 3.4** Essai de décaptage préalable

Cette reconnaissance préalable avant travaux est primordiale à la fois pour définir les risques inhérents à l'ouvrage (présences d'anciennes peintures ou matériaux toxiques, état des anciennes peintures en place, problématique d'accès, contraintes liées à l'environnement de l'ouvrage, etc.) mais également afin de préciser les paramètres qui permettront d'établir de la façon la plus complète et objective possible le futur cahier des charges de consultation respectueux des critères de performances définis par le maître d'ouvrage (économiques, techniques et qualitatifs, sanitaires et environnementaux, etc.).

En matière de rénovation de peintures des ouvrages d'art en France, le Cahier des Clauses Techniques générales Fascicule 56 pour la Protection des ouvrages métalliques contre la corrosion constitue une référence pour les bonnes pratiques et notamment en ce qui concerne cette phase de reconnaissance préalable. Nous allons par conséquent dans les paragraphes suivants nous référer principalement aux précisions apportées par ce fascicule tout en précisant certains points.



Photo 12 : Pont de Tulle avant travaux ©JP Persy

On peut distinguer cette phase de reconnaissance préalable en 4 temps :

- analyse documentaire de l'historique de l'ouvrage,
- visite de reconnaissance de l'ouvrage,
- diagnostics complémentaires,
- essai de décapage préalable.

Avant toute visite de reconnaissance, une recherche documentaire la plus complète possible en partant de la construction de l'ouvrage et en passant par les éventuels travaux de modifications ou de réparation de l'ouvrage ainsi que ses phases d'entretien et de maintenance, doit être effectuée. Il est important de recueillir un maximum de données sur la nature des métaux utilisés pour la construction de l'ouvrage et leur protection anticorrosion : type de préparation de surface, systèmes de peintures d'origine (neuf) et sur chaque phase d'entretien et de maintenance, existence de surfaces de référence, éventuelles analyses laboratoires effectuées ou autres essais sur le revêtement, etc. Cette première phase doit permettre d'identifier la présence théorique éventuelle de matériaux toxiques (plomb, amiante, etc.) et de vérifier si des diagnostics ont été réalisés, d'une protection cathodique éventuelle, de revêtements pouvant nécessiter une attention particulière (galvanisation, métallisation par exemple), etc.

Cette phase doit permettre également de vérifier au titre de l'ISO 12944.2, l'environnement général de l'ouvrage et éventuellement particulier (classe de corrosivité d'exposition de l'ouvrage et éventuelles expositions spécifiques ; c'est par exemple le cas si il existe des espaces fermés, comme des caissons, qui pourraient présenter une exposition particulière) et les éventuelles singularités de l'ouvrage par rapport aux critères fondamentaux de dispositions constructives précisées dans l'ISO 12944.3.

Sur cette connaissance plus ou moins exhaustive de la situation que l'on peut qualifier « d'état des lieux », la visite de reconnaissance sur site peut ensuite être engagée en connaissance de ces éléments afin de bien cerner les points d'attention.

À partir des éléments recueillis lors de la phase initiale d'analyse documentaire, il convient ensuite de vérifier au niveau de l'ouvrage la véracité de ces éléments et d'identifier les manques qui seront comblés ensuite par d'éventuels diagnostics et/ou essais et tests complémentaires.

Selon le fascicule 56 annexe 4, les objectifs peuvent être résumés comme suit :

- vérifier les catégories d'exposition de l'ouvrage (générale et éventuellement spécifiques) au titre de l'ISO 12944.2. En cas de doute des mesures de corrosivité doivent être engagées selon les normes ISO 12944-2 et ISO 9226 (cette mesure se fait par l'exposition d'éprouvettes sur l'ouvrage pendant un an) ;

Les catégories de corrosivité sont définies dans l'ISO 12944.2 de la façon suivante :

Tableau 1 : Catégories de corrosivité atmosphérique et exemples d'environnements types

Catégorie de corrosivité	Perte de masse par unité de surface /perte d'épaisseur (première année d'exposition)				Exemples d'environnements types (à titre d'information)	
	Acier bas-carbone		Zinc		Extérieur	Intérieur
	Perte de masse g/m ²	Perte d'épaisseur µm	Perte de masse g/m ²	Perte d'épaisseur µm		
C1 très faible	≤ 10	≤ 1,3	≤ 0,7	≤ 0,1	-	Bâtiments chauffés à atmosphère propre, par exemple bureaux, magasins, écoles, hôtels
C2 faible	> 10 à 200	> 1,3 à 25	> 0,7 à 5	> 0,1 à 0,7	Atmosphères avec un faible niveau de pollution : surtout zones rurales	Bâtiments non chauffés où de la condensation peut se produire, par exemple entrepôts ou salles de sport
C3 moyenne	> 200 à 400	> 25 à 50	> 5 à 15	> 0,7 à 2,1	Atmosphères urbaines et industrielles, pollution modérée par le dioxyde de soufre ; zones côtières à faible salinité	Enceintes de fabrication avec une humidité élevée et une certaine pollution de l'air, par exemple industrie alimentaire, blanchisseries, brasseries, laiteries
C4 élevée	> 400 à 600	> 50 à 80	> 15 à 30	> 2,1 à 4,2	Zones industrielles et zones côtières à salinité modérée	Usines chimiques, piscines, chantiers navals côtiers
C5 très élevée	> 600 à 1 500	> 80 à 200	> 30 à 60	> 4,2 à 8,4	Zones industrielles avec une humidité élevée et une atmosphère agressive, et zones côtières à salinité élevée	Bâtiments ou zones avec une condensation quasi-permanente et avec une pollution élevée
CX extrême	> 1 500 à 5 500	> 200 à 700	> 60 à 180	> 8,4 à 25	Zones maritimes à salinité élevée, zones industrielles avec une humidité extrême et une atmosphère agressive, et atmosphères tropicales et subtropicales	Zones industrielles avec une humidité extrême et une atmosphère agressive

NOTE : les valeurs de perte utilisées pour les catégories de corrosivité sont identiques à celles indiquées dans l'ISO 9223

Tableau 2 : Catégories pour les structures immergées ou enterrées

Catégorie	Environnement	Exemples d'environnements et de structures
Im1	Eau douce	Installations de rivières, centrales hydroélectriques
Im2	Eau de mer ou eau saumâtre	Structures immergés sans protection cathodique (par exemple zones portuaires avec des structures comme des écluses, portes, jetées)
Im3	Sol	Réservoirs enterrés, pieux en acier, tuyaux en acier
Im4	Eau de mer ou eau saumâtre	Structures immergées avec protection cathodiques (par exemple structures offshore)
NOTE : Pour les catégories de corrosivité Im1 et Im3, il est possible d'utiliser une protection cathodique avec un système de peinture soumis à essai en conséquence		

La majorité des ouvrages en France se situe par conséquent entre la classe C3 et C4 mais certains ouvrages en zone maritime peuvent être classés C5 et certaines parties immergées (zone de marnage) de l'ouvrage peuvent être classés Im1, Im2 ou Im4.

- vérifier et compléter l'inventaire des éventuelles singularités de l'ouvrage aux critères fondamentaux de dispositions constructives précisées dans l'ISO 12944.3 ;
- vérifier le ou les type(s) de protection(s) en place (peinture sur acier décapé ou métallisé ou galvanisé ou autre(s) ...) et la nature des produits appliqués (notamment liants, pigments et éventuellement composés toxiques des peintures).

Il existe des tests simples permettant d'estimer la famille des liants des peintures en place mono-composants (alkyde ou acrylique) ou bi-composants (époxyde ou polyuréthane). En effet, utilisant un solvant de type MEK (Methyl Ethyl Cétone) par dépôt et ou chiffonnage en surface de la couche de peinture il est possible d'avoir un certain avis sur la nature du liant : monocomposant à séchage physique (acrylique, vinylique...), monocomposant à séchage oxydatif (glycéro), bicomposant (époxy, PU, etc.). Mais seule, l'analyse par un laboratoire compétent et sur des prélèvements effectués par grattage du feuillet permet, d'une part, d'obtenir ces informations avec sûreté et, d'autre part, d'identifier la présence d'éléments toxiques tels que le plomb, le zinc, les chromates, l'amiante etc.

En l'absence d'archives suffisamment fiables et précises, une telle analyse est donc recommandée quand on envisage un décapage «secondaire» avec maintien de tout ou partie des anciens fonds de peinture (il faut alors avoir une vision fiable des incompatibilités possibles) et/ou quand on suspecte la présence d'éléments toxiques) ;

- vérifier l'efficacité résiduelle de la protection (degré de corrosion, adhérence des différentes couches, friabilité des produits, etc.) ;

Voici ce que précise le fascicule 56 annexe 4 avec quelques compléments : il s'agit de réaliser une visite détaillée de l'ouvrage afin d'évaluer l'efficacité résiduelle de la protection et d'établir :

- les zones de perceptions visuelles globales ZPVG,
- l'importance et l'étendue des zones dégradées en précisant si les défauts rencontrés (enroulement, décollements etc.) sont uniformément répandus ou bien localisés et regroupés sur des zones bien définies,
- la friabilité ou la dureté des différentes couches,
- l'adhérence des couches entre elles ou sur le support,
- les épaisseurs sèches résiduelles des protections en place.

Cette évaluation de l'efficacité résiduelle est notamment faite par référence aux normes suivantes :

- **Série ISO 4628 parties 1 à 7** : ces normes précisent la terminologie utilisée pour décrire l'aspect visuel de la majorité des dégradations constatées ainsi que des clichés de référence permettant de qualifier tant en termes d'intensité/gravité que de taille chaque défaut observé :
 - ISO 4628 partie n°1 : Introduction générale et système de désignation,
 - ISO 4628 partie n°2 : Détermination du degré de cloquage,
 - ISO 4628 partie n°3 : Détermination du degré d'enrouillement,
 - ISO 4628 partie n°4 : Détermination du degré de craquelage,
 - ISO 4628 partie n°5 : Détermination du degré d'écaillage,
 - ISO 4628 partie n°6 : Détermination du degré de farinage par la méthode du ruban adhésif,
 - ISO 4628 partie n°7 : Évaluation du degré de farinage selon la méthode du morceau de velours.
- **ISO 16276.2** : Essai de quadrillage (pour les revêtements d'épaisseur $\leq 250 \mu\text{m}$) et essais à la croix de Saint-André ou ISO 16276.1 : essai de traction (pour les revêtements d'épaisseur $> 250 \mu\text{m}$). Ces essais vont permettre d'apprécier la cohésion/adhésion du système de peinture en place et en conséquence d'apprécier sa potentielle conservation totale ou partielle.

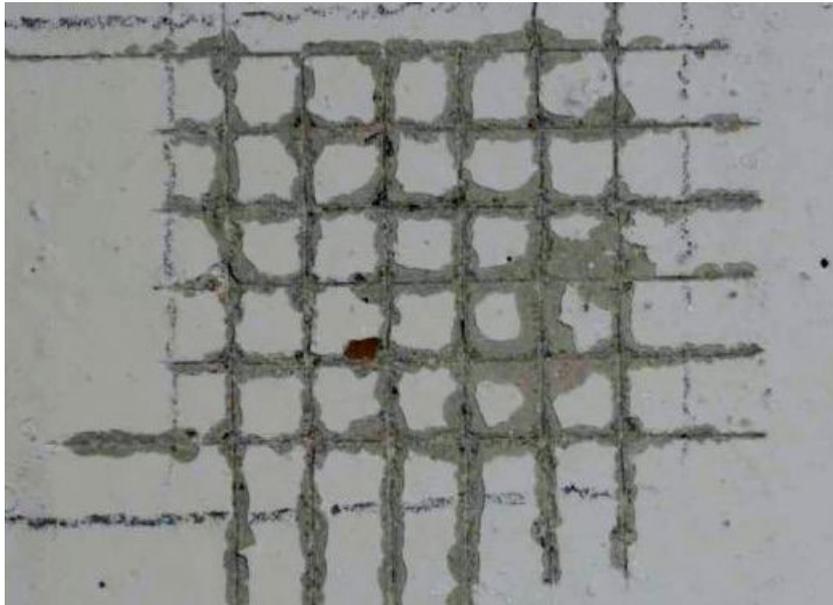


Photo 13 : Essai de quadrillage (doc internet)

→ ISO 19840 : Mesure des épaisseurs sèches

Le rapport de visite doit quantifier, autant que possible, les constatations réalisées (proportion des zones dégradées [corrosion, cloquage...], des zones où l'adhérence est médiocre, etc.) par rapport aux zones de perception visuelle globale (ZPVG).

Enfin, en cas de défauts importants (quantité, intensité) pouvant être révélateurs d'une corrosion anormale (enrouillement, cloquage...), il peut être intéressant de procéder à des dosages de sels solubles (normes NF EN ISO 8502-6 et 8502-9) afin d'apprécier, en plus de la classe de corrosivité à laquelle est exposée l'ouvrage, si des pollutions salines supplémentaires seraient à prendre en compte dans le processus de rénovation ;

- définir la consistance envisageable des travaux d'entretien s'ils s'avèrent nécessaires :
 - remise à nu de l'acier par élimination intégrale du revêtement en place (décapage « primaire » selon la norme NF EN ISO 12944-4) et application d'un système de peinture ; qui peut être aussi un système certifié ACQPA ou équivalent pour travaux neufs ou de maintenance,
 - ou bien, remise à nu de l'acier dans les zones oxydées ou dégradées et « avivage » des autres surfaces (décapage « secondaire » selon la norme NF EN ISO 12944-4) et application d'un système de peinture ; qui peut être aussi un système certifié ACQPA pour travaux de maintenance exclusivement.

Les différentes données de la visite de reconnaissance de l'ouvrage et, notamment, l'établissement de l'état et de l'efficacité résiduelle de la ou des protection(s) en place, doivent permettre au spécialiste ayant réalisé cette visite de proposer une ou plusieurs méthodes possibles d'entretien.

Ainsi, un entretien avec un décapage secondaire suppose que les zones oxydées ou dégradées ne représentent qu'un faible pourcentage des surfaces de l'ouvrage et que celles-ci soient bien regroupées sur des parties caractéristiques de cet ouvrage et non uniformément réparties.

Cette phase de reconnaissance couvre par conséquent autant des aspects qualitatifs que quantitatifs.

Ainsi que le définit la **Loi n° 93-1418 du 31 décembre 1993 modifiant les dispositions du code du travail applicables aux opérations de bâtiment et de génie civil en vue d'assurer la sécurité et de protéger la santé des travailleurs et portant transposition de la directive du Conseil des communautés européennes n° 92-57 en date du 24 juin 1992**, le maître d'ouvrage, en tant que propriétaire, doit être en mesure d'informer tout intervenant sur son ouvrage des risques et/ou des impacts de son ouvrage sur l'environnement, sur l'Homme (les intervenants) ainsi que sur la dangerosité des déchets qui vont être produits au moment du décapage.

À ce titre, il est obligatoire avant toute intervention de réaliser les diagnostics conformes aux obligations de la réglementation en la matière. C'est le cas notamment à ce jour pour les risques liés à la présence d'amiante et de plomb (ou composés à base de plomb) sur l'ouvrage. **Nous invitons le lecteur à consulter l'OPPBTB afin de vérifier l'évolution des obligations en la matière.**

L'éventuelle présence confirmée de composés CMR nécessiteront la définition de mesures adaptées pour satisfaire aux obligations :

- de protection de l'environnement et notamment du respect de l'application de la loi sur l'eau (N°2006.1272 du 30/12/2006) dans le cas où l'ouvrage se situe au-dessus d'un cours d'eau, mais également des éventuels impacts sur l'air et le sol selon la réglementation applicable au lieu d'implantation de l'ouvrage ;
- d'hygiène et de sécurité au travail du personnel intervenant (entre autres au travers des exigences fixées par le Code du travail) ;
- de gestion des déchets, sous la responsabilité du maître d'ouvrage.

3.3.1 DIAGNOSTIC AMIANTE

Il existe 3 variétés d'amiante largement répandues :

- Chrysotile – Serpentine - Amiante blanc
- Amosite – Amphiboles - Amiante brun
- Crocidolite – Amphiboles - Amiante bleu

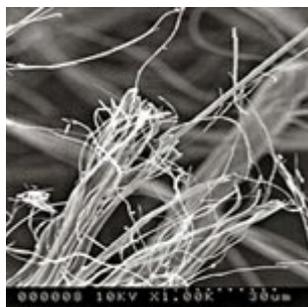
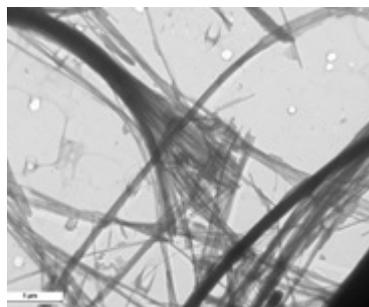


Photo 14 - 15 - 16 : Toutes les fibres d'amiante sont classées **CANCEROGENE** de catégorie 1 au niveau Européen

De 400 à 500 fois moins épaisses qu'un cheveu, les fibres d'amiante sont invisibles dans les poussières de l'atmosphère.

Toxiques par inhalation, elles peuvent se déposer au fond des poumons pour rester + de 30 ans dans le liquide pulmonaire

La détection de la présence d'amiante dans les revêtements existants se fait selon les dispositions suivantes :

- soit par prélèvements d'échantillons analysés en laboratoire (sous accréditation COFRAC) afin de déterminer par MET (Microscopie Analytique à Transmission) la présence ou l'absence de fibres d'amiante selon la norme NFX 43-050 - Méthode destructive ;
- soit par prélèvements à réaliser par un opérateur de chantier habilité SS4.

Décret n° 2017-899 du 9 mai 2017 relatif au repérage de l'amiante avant certaines opérations – Ce décret fixe les conditions et modalités du repérage avant travaux de l'amiante et notamment le contenu du Dossier Technique Amiante (D.T.A), ainsi que les compétences et les certifications des opérateurs devant réaliser cette recherche.

En cas de diagnostic positif à l'amiante, la gestion sur site d'un chantier doit prendre en compte :

- la certification de l'entreprise. Pour pouvoir réaliser des travaux de **désamiantage**, une entreprise doit être certifiée par un organisme accrédité par le **Comité Français d'Accréditation (COFRAC)**.

Aujourd'hui en France, seuls trois organismes sont accrédités pour délivrer la certification amiante aux entreprises : - Qualibat,

- AFNOR Certification,
- Global Certification.

Avant le décret du 4 mai 2012, la réglementation différenciait **l'amiante friable et l'amiante non friable**, faisant donc coexister deux types de certification distincts :

- **amiante friable** : certification 1513 chez Qualibat ou « amiante friable » chez AFNOR Certification ;
- **amiante non friable** : certification 1512 chez Qualibat ou « amiante non friable à risques particuliers » chez AFNOR Certification.

Le décret n° 2012-639 du 4 mai 2012 supprime cette dualité en créant une nouvelle certification 1552 « Traitement de l'amiante », mais pas uniquement. Il fixe également une nouvelle limite d'exposition des professionnels à 100 fibres par litre et oblige à des mesures d'empoussièrément utilisant la microscopie électronique à transmission analytique (META). Par ailleurs, les entreprises effectuant le retrait de l'enveloppe extérieure des immeubles bâtis, ainsi que les entreprises du génie civil effectuant des travaux de retrait doivent obligatoirement être certifiées au 1^{er} juillet 2014.

C'est la norme NF X46-011 « Travaux de traitement de l'amiante - Modalités d'attribution et de suivi des certificats des entreprises » d'août 2012 qui définit les critères d'attribution de la certification.

Pendant, chaque organisme certificateur possède sa propre procédure de certification, comprenant des audits sur site et des examens documentaires distincts, ainsi qu'un suivi annuel et des renouvellements obligatoires ;

- la sensibilisation et la certification du personnel - La mise en œuvre de mesures de prévention et protection s'impose pour toute intervention sur des peintures contenant de l'amiante dès lors que de la poussière est émise. Fiche d'exposition, Surveillance médicale renforcée ;

- les dispositions de chantier sont décrites dans le guide de l'INRS ED 6307 « Amiante. Aéraulique des chantiers sous confinement ». Elle décrit notamment :
 - les dispositions de confinement à mettre en place,
 - la gestion de l'étanchéité du confinement,
 - les installations de décontamination du personnel à mettre en place,
 - les installations de décontamination des déchets à mettre en place,
 - les dispositions d'entrées d'air de compensation maîtrisées (EACM) et d'entrées d'air de réglage (EAR) à mettre en place,
 - les extracteurs à mettre en place,
 - les mesures et instrumentations à mettre en place.

Le guide précise par ailleurs en 16 étapes comment mettre en place un bilan aéraulique prévisionnel et comment le vérifier et le maintenir dans la dynamique du chantier ;
- après les travaux, pour la restitution des emplacements, une analyse libératoire doit être réalisée par microscopie META afin de vérifier l'absence d'amiante dans l'atmosphère après le repli du chantier ;
- la gestion et traçabilité des déchets : décontamination, deuxième emballage.

3.3.2 DIAGNOSTIC PLOMB

La détection de la concentration en plomb dans les revêtements existants est nécessaire pour savoir comment traiter ces produits potentiellement dangereux pour la santé.

Les mesures de la teneur (concentration) en plomb susceptible d'être présente dans les revêtements sont réalisées soit :

- au moyen d'un analyseur portable à fluorescence X - Méthode non destructive (conforme aux articles R.1333-26 et R.1333-27) ;
- par des prélèvements d'échantillons analysés en afin de déterminer la concentration en plomb acido-soluble – Méthode destructive (Norme NFT 30-211 ou NF EN ISO 11-885 ou FDT 90-112).

Selon l'arrêté du 19 août 2011, le diagnostic est considéré positif :

- en l'absence d'analyse chimique, si la concentration surfacique en plomb total mesurée à l'aide d'un appareil portable à fluorescence X, est égale ou supérieure à 1 milligramme par centimètre carré (1 mg/cm²) ;
- dans le cas où une analyse chimique est réalisée et quel que soit le résultat de l'analyse par fluorescence X, si la concentration massique en plomb acido-soluble mesurée en laboratoire est égale ou supérieure à 1,5 milligramme par gramme (1,5 mg/g).

En cas de diagnostic positif au plomb, la gestion sur site d'un chantier doit prendre en compte :

- la sensibilisation du personnel - La mise en œuvre de mesures de prévention et protection s'impose pour toute intervention sur des peintures contenant du plomb dès lors que de la poussière est émise. Fiche d'exposition, surveillance médicale renforcée, risque inhérent à l'ingestion du plomb ;
- les dispositions de chantier :
 - préparation de chantier (pour éviter toute dissémination de poussières à l'extérieur),
 - pendant les travaux (aspect documentaire, aspiration et traitement des poussières, contrôle des dispositions mises en place pour la protection de l'environnement et du personnel, suivi de la plombémie du personnel) ;
 - après les travaux (contrôle après travaux pour détermination de la concentration de poussières au sol par prélèvement surfacique, ainsi que sur les équipements ayant pénétrés la zone d'intervention. La concentration surfacique résiduelle sur les sols doit être inférieure à 1000 µg/m²).
- la gestion des déchets.

L'INRS a publié un guide spécifique (ED 909) pour les dispositions à mettre en œuvre en fonction des situations de travail et technologies de décapage utilisées.

À noter également que d'autres métaux lourds peuvent être contenus dans les peintures. À ce titre, il est possible de procéder à un dosage des différents métaux lourds en cas de suspicion de présence.

3.3.3 DIAGNOSTIC ENVIRONNEMENTAL INITIAL

Avant de commencer un chantier, il est recommandé de faire un état des lieux initial des pollutions sur site. Ce diagnostic environnemental initial permet d'avoir un point de départ permettant de prouver que les pollutions présentes n'ont pas été apportées par les opérations du chantier. Cette précaution peut s'avérer très utile en cas de site déjà pollué avant l'opération à réaliser.

Afin d'éviter toute situation conflictuelle entre les parties, il convient :

- de préciser le cahier des charges des mesures à réaliser (sols, eau, air),
- de convenir de la société qualifiée qui aura en charge les prélèvements et les essais en laboratoire,
- de partager les résultats de ces relevés avant démarrage des opérations.

Il est souvent nécessaire, pour ne pas dire indispensable, de prévoir, en plus des investigations menées sur les anciennes peintures en place, des essais de décapages selon les différentes méthodes et technologies retenues afin de vérifier ou de confirmer les bases du futur dossier de consultation et notamment si un décapage secondaire est envisagé.

Pour rappel, l'ISO 12944.4 « Types de surfaces et préparation de surface », précise les notions suivantes :

- préparation primaire ou totale = préparation de la surface jusqu'à l'acier nu ;
- préparation secondaire ou partielle = conservation des parties saines des revêtements métalliques ou organiques.

Ces essais en situation réelle permettront notamment d'apprécier :

- la réaction du revêtement en place aux différentes méthodes de décapages afin de juger de l'efficacité de celles-ci, du comportement des anciens fonds (notamment si l'on souhaite les conserver en partie) et des différents aspects qualitatifs et quantitatifs qui pourraient impacter le projet (accessibilité des surfaces à traiter, réalité des rendements, capacité à atteindre le degré de soin recherché, etc.) ;
- la qualité et la nature des déchets produits selon les différentes méthodes ainsi que leurs contraintes de gestion (récupération, stockage, traitement) ;
- les contraintes d'accès, de confinement et de traitement de l'air relatives à chaque mode d'intervention ;
- etc.

La compétence de l'entreprise et du personnel retenu pour ces travaux est fondamentale afin que les résultats soient objectifs et exploitables pour la future consultation.

Afin d'éviter une évolution marquée de la qualité de la protection entre le début des travaux et l'essai de décapage préalable, celui-ci doit être réalisé, au plus tôt six mois avant la consultation des entreprises.

L'annexe 4 du fascicule 56 précise le double objectif de ces essais et définit les « bonnes pratiques » de ce décapage préalable :

> **Faisabilité du décapage secondaire et détection d'incompatibilité avec les fonds conservés :**

Si les conclusions de la visite de reconnaissance conduisent à envisager un décapage secondaire, il faut vérifier que l'avivage de la protection en place (qui a pour but de nettoyer et d'éliminer sélectivement les peintures mal adhérentes ainsi que de conférer une rugosité permettant l'accrochage des couches suivantes) ne perturbe pas l'ancien fond de peinture que l'on envisage de maintenir.

Il peut, en effet, arriver que cet avivage superficiel des couches saines ne permette pas de conserver effectivement ces dernières et remette par conséquent en cause le principe des travaux envisagés initialement.

Pour détecter une telle perturbation d'un fond avivé ainsi qu'une éventuelle incompatibilité de celui-ci avec les peintures de recouvrement, on procède, lors de l'essai de décapage préalable, à l'application d'une couche de peinture de la même famille (au sens de la norme NF T 36005

Peintures et vernis – Classification des peintures, vernis et produits connexes – Septembre 1989] et sensiblement de la même épaisseur que la première couche du système de maintenance qu'il est envisagé d'appliquer.

Au minimum deux semaines après cette application (mais le délai nécessaire peut être plus long, notamment en cas de température basse), l'observation visuelle du comportement de l'ensemble et la réalisation d'essais tels que la résistance au quadrillage (ISO 16276.2) ou à la traction (ISO 16276.1) permettent au spécialiste de se prononcer sur la faisabilité de ce décapage secondaire.

Si, pour différentes raisons, une autre méthode de préparation de surface que l'avivage est envisagée, il est évidemment fortement conseillé d'en tester la faisabilité au moyen d'un essai préalable similaire à celui évoqué ici en particulier pour tester l'accrochage des couches de maintenance en l'absence de rugosité de surface des anciens fonds conservés (cas d'un simple lavage/dégraissage par exemple).

> Dangerosité des déchets de décapage :

Le coût du traitement d'un déchet de décapage dépend fortement de sa dangerosité. Ainsi, selon la nature et la teneur en substances dangereuses (ex : métaux lourds tels que plomb, chrome ...), la destination du déchet peut varier entre un centre de stockage et un centre de traitement spécialisé.

Lors de l'essai préalable de décapage et pour chaque mode envisagé de décapage, une quantité représentative des déchets est récupérée et analysée par un laboratoire compétent (dosage des composés toxiques probables après lixiviation du déchet). Cette analyse doit permettre de classer ce déchet en application de la directive 2008/98/CE du 19/11/2008, modifiée en suite par les directives suivantes : Directive n° 2018/851 du 30 mai 2018, n° 2017/997 de la Commission du 8 juin 2017, n° 2015/1127 de la Commission du 10 juillet 2015 et le règlement (UE) n° 1357/2014 de la Commission du 18 décembre 2014.

À l'issu des essais, un rapport précisera à minima :

1) la faisabilité (ou non) du décapage secondaire avec, pour chaque mode envisagé de décapage :

- les caractéristiques techniques de ce décapage selon les différentes méthodes testées,
- les degrés atteints de décapage : épaisseurs et nombre de couches maintenues, rugosités obtenues ... (des photos matérialisant les degrés atteints de décapage seront très utiles lors de l'essai de convenance quand il s'agira de les reproduire),
- les résultats des tests d'adhérence et/ou de quadrillage,
- les résultats obtenus pour la détection d'une éventuelle incompatibilité.

2) la dangerosité du résidu de décapage avec identification du code déchet en respect de la réglementation en vigueur.

Ce compte rendu sera joint au dossier de consultation des entreprises à titre informatif.

4

Prescription

- 4.1 Introduction
- 4.2 Prise en compte des contraintes liées à l'ouvrage et à son exploitation
- 4.3 Prise en compte des contraintes sanitaires et environnementales
- 4.4 Prise en compte des contraintes de sécurité
- 4.5 Prise en compte des contraintes de vieillissement
- 4.6 Critères de performances du maître d'ouvrage
- 4.7 Choix des systèmes de peintures et méthodes d'intervention
- 4.8 Constitution du cahier des charges de consultation

De nombreux paramètres peuvent influencer sur les choix du système de peinture et méthodes d'intervention. Ils sont autant liés à l'ouvrage en lui-même qu'à son environnement, aux normes et réglementations applicables tant au niveau européen, français que local, aux périodes d'interventions et conditions d'exploitation de l'ouvrage, aux critères de performance attendus par le maître d'ouvrage, etc.

Il serait prétentieux de vouloir être exhaustif, tant ces paramètres sont nombreux et évolutifs. L'enjeu de ce guide est d'essayer de répertorier les paramètres principaux et de donner au lecteur la capacité de les compléter selon les particularités du sujet qui le concerne. La rédaction de cette section s'appuie principalement sur la série des normes ISO 12944 « Peintures et vernis – Protection anticorrosion des structures en acier par systèmes de peinture », ces dernières constituant une référence en la matière dans le monde entier.

4.2.1 ACCÈS À L'OUVRAGE

Selon l'emplacement de l'ouvrage et la nature des travaux à exécuter, il est parfois nécessaire de créer des voies d'accès spécifiques. Celles-ci ne peuvent être créées que dans le cadre précis des autorisations administratives accordées et, dans bien des cas, la remise en état des sols sera exigée au marché.

Il en est de même pour les plateformes de travail qui doivent être créées afin de pouvoir positionner les équipements de production au plus près de la zone de travail. L'impact de ces dispositions est à prendre en compte, tant dans leur faisabilité, que les délais nécessaires à leur réalisation, ainsi que les budgets associés.



Photo 17 : Viaduc du grand canal du Havre en cours de travaux © Lassarat

4.2.2 CONTRAINTES STRUCTURELLES LIÉES À L'OUVRAGE ET À SON ÉTAT DE CONSERVATION

L'ouvrage présente des caractéristiques dimensionnelles et mécaniques qui lui sont propres et qui peuvent évoluer dans le temps en fonction de son état de conservation.

Les opérations vont potentiellement induire de nombreux efforts sur l'ouvrage :

- moyens d'accès (échafaudages, nacelles mobiles, etc.) ;
- mise en place de matériels d'intervention sur l'ouvrage ;
- déchets d'abrasifs lors des phases de décapages ;
- mise en place de confinements (prise au vent) ;
- etc.

L'entreprise qui intervient doit préciser toutes ses contraintes d'intervention de façon précise afin que le maître d'ouvrage puisse vérifier la stabilité de son bien en fonction de l'ensemble de ces paramètres d'intervention.

Toutefois, si le maître d'ouvrage a mené une étude préalable qui lui permet d'ores et déjà de fixer un cadre de conditions limites d'intervention et qu'il est en mesure de l'intégrer à la consultation, il peut demander aux entreprises de répondre en tenant compte de ces restrictions.

Quoi qu'il en soit, aucune intervention ne devra avoir lieu sans une vérification et une approbation par le maître d'ouvrage des données d'intervention de l'entreprise.

Un point spécifique est développé concernant les moyens d'accès par échafaudages dans la section 4.2.3.

4.2.3 ACCÈS AUX SURFACES À TRAITER

4.2.3.1 Généralités

L'ISO 12944.3 précise : « *Il convient que toutes les surfaces de la structure devant être revêtues soient visibles et accessibles par l'opérateur, sans danger pour celui-ci. Il convient que les agents chargés de la préparation de surfaces et de la mise en peinture et les contrôleurs puissent se déplacer facilement et en toute sécurité sur toutes les parties de la structure, dans de bonnes conditions d'éclairage.* »

Ainsi, il est nécessaire que des moyens d'accès adaptés soient mis en place, non seulement pour satisfaire aux opérations de préparation de surface et de mise en peinture mais également pour permettre les opérations de contrôle et de surveillance des travaux par des tierces parties.

Par ailleurs, dans bien des cas, les accès sont communs à un ensemble d'activités qui dépasse les simples opérations de préparation de surface et de mise en peinture.

Quel que soit le moyen d'accès envisagé (nacelles, échafaudages volants, échafaudages fixes ou suspendus, etc.) il devra être conçu en respect de la réglementation en vigueur applicable.

À noter qu'un décapage secondaire peut permettre de limiter grandement les moyens d'accès si toutefois la quantité de préparation de surface à réaliser est limitée et si les conditions sanitaires et environnementales sont réunies pour un allègement des moyens d'accès et de confinement. On peut dès lors envisager des interventions sur nacelle, voire sur corde, même si la réglementation actuelle en France oblige à faire la démonstration qu'il n'y a pas de moyens plus sûrs d'intervention.

Nous attirons également l'attention de nos lecteurs sur le fait que certains moyens d'accès, comme l'échafaudage, génèrent parfois des zones inaccessibles aux opérations de préparation

de surface et de mise en peinture. Il faut dès lors prévoir, en phase de retrait de ces moyens d'accès, les dispositions nécessaires pour réaliser les zones non traitées.

4.2.3.1.1 Échafaudages

Dans le cas des échafaudages, nous rappelons qu'il existe un ensemble de textes réglementaires et normatifs qui encadre les travaux de conception, de montage/démontage, de vérification et d'utilisation de ceux-ci.

En particulier, nous rappelons que le décret n° 2004-924 du 1^{er} septembre 2004 rend la note de calcul obligatoire dans certaines conditions : **« Lorsque la note de calcul n'est pas disponible ou que les configurations structurelles envisagées ne sont pas prévues par la notice technique du fabricant, un calcul de résistance et de stabilité doit être réalisé par une personne compétente ».**

De fait, dans l'extrême majorité des cas une note de calcul et une notice de montage spécifique détaillée étape par étape de montage sont requises. **Nous invitons le lecteur à vérifier l'évolution des normes, réglementations et législations en vigueur au moment de son besoin.**

Cette note de calcul sera réalisée à partir d'une expression de besoin complète, c'est-à-dire qui intègre l'ensemble des activités qui sera réalisé à partir de cet échafaudage mais également les éventuelles exigences de confinement.

Cette note et schémas associés doivent informer le maître d'ouvrage des efforts générés par l'échafaudage dans ses conditions limites d'utilisation sur l'ouvrage.

La vérification et la validation de la capacité de l'ouvrage à accepter les contraintes générées par l'échafaudage sur l'ouvrage, selon le schéma et la note de calcul produite, revient au maître d'ouvrage ou à la société désignée contractuellement par ce dernier (Maîtrise d'œuvre, ingénierie, etc.). Cette vérification nécessite dans bien des cas des diagnostics structuraux sur l'état de conservation de l'ouvrage afin de confirmer ses caractéristiques réelles à la date de réalisation des travaux.



Photo 18 : Viaduc du Viaur en cours de travaux ; il est important de noter la juste répartition des échafaudages et confinements de chaque côté de la pile afin de respecter les charges admissibles et l'équilibre de l'ouvrage en phase travaux © Lassarat

L'échafaudage est un métier à part entière. Il n'est donc pas l'objet du présent guide de constituer une « référence » en la matière. Il est important d'intégrer que les choix d'intervention impacteront les structures d'accès à mettre en place et que ceux-ci seront limités par la capacité de l'ouvrage à les recevoir.

4.2.4 CONTRAINTES D'EXPLOITATION



Photo 19 : Viaduc de Rouzat © Lassarat

Les choix de systèmes de peinture et méthodes d'intervention peuvent être également contraints par les conditions de mise à disposition de l'ouvrage.

Certains ouvrages d'art au niveau des voies ferrées ne peuvent par exemple être traités que pendant certaines plages horaires durant la nuit. Dès lors il n'est pas possible de concevoir des dispositions d'intervention fixes, celles-ci devant être mises en place et retirées en permanence ; il est alors indispensable d'adapter le choix de la méthode de préparation de surface et le système peinture au regard de cette contrainte extrême.

Les contraintes liées à l'environnement de l'ouvrage sont variées : en pleine nature, parfois avec des contraintes liées à un environnement classé Natura 2000, parfois en milieu urbain en présence de piétons à proximité en permanence ou de circulation automobile, au-dessus d'un fleuve dont la circulation des bateaux n'est pas interrompue, etc.

Il est donc indispensable de créer les meilleures conditions possibles d'intervention afin d'éviter tous compromis techniques.

4.2.5 CO-ACTIVITÉS

Les activités de préparation de surface et d'application de peinture dans le cadre d'un marché de rénovation sont très souvent liées à un cahier des charges de travaux de réparation plus global.

Les délais des projets étant souvent contraints par la remise en exploitation, il n'est pas rare de devoir faire co-exister les opérations de préparation de surface et de mise en peinture avec d'autres travaux.

L'existence de ces activités connexes ou intégrées au marché de peintures oblige à prendre en compte des risques supplémentaires, tant sur les aspects de sécurité que de qualité et de délai d'intervention.

Une intégration de cette contrainte supplémentaire la plus en amont possible permet d'éviter de nombreux aléas en phase de réalisation.

4.2.6 DISPONIBILITÉS D'ÉNERGIES

Selon le lieu d'implantation de l'ouvrage, il n'est pas possible parfois de bénéficier d'une alimentation électrique ou parfois dans des conditions très limitées.

Ces dispositions sont par conséquent à préciser afin que les entreprises puissent anticiper le plus tôt possible cette contrainte supplémentaire.

4.2.7 PROTECTION DES ÉLÉMENTS SENSIBLES DE L'OUVRAGE

Selon les choix des technologies de décapage (projection d'abrasifs, décapage UHP, etc.), certains éléments de l'ouvrage peuvent être endommagés s'ils ne sont pas correctement protégés.

Il convient de bien préciser en détail tous les éléments sensibles ainsi que leur degré de sensibilité (choc, rayure, etc.) afin que les entreprises consultées intègrent les moyens adaptés à la protection de ces éléments, voire tiennent compte de ce risque dans les choix de méthodes et de moyens.

4.3.1 PRISE EN COMPTE DU RISQUE CMR

Comme nous l'avons vu précédemment, en dehors des risques chimiques liés à l'utilisation de peintures nécessitant des protections individuelles ou collectives, somme toute communes pour les entreprises utilisatrices, deux risques CMR imposent des dispositions spécifiques à la date de rédaction du guide : le plomb et l'amiante. **Comme précisé au paragraphe 2.4.1, les normes, réglementations et législation d'un point de vue sanitaire et environnementale évoluant rapidement, il convient de se rapprocher de l'OPPBTM afin de vérifier si d'autres substances sont soumises à des dispositions spécifiques.**

4.3.1.1 Plomb

Suite à la détection de la présence de plomb dans le revêtement à retirer et après avoir fait un diagnostic environnement initial, il est nécessaire de mettre en place un système de confinement permettant d'éviter le rejet de pollution dans l'environnement.

Toute intervention sur des peintures contenant du plomb (ou dans lesquelles on peut soupçonner la présence de plomb) nécessite des mesures de prévention spécifiques adaptées au niveau de risque : capter les émissions au plus près de leur source, maintenir les locaux de travail dans un bon état de propreté, utiliser des techniques produisant aussi peu de poussières que possible (pour le nettoyage, proscrire balais et aspirateurs ménagers).

Dispositions collectives à mettre en place :

- **confinement étanche de la zone de travail** (sauf à démontrer que la technologie de décapage permet de s'en exempter au regard de la réglementation) ;
- **traitement de l'air** : équipements pour admission d'air (ventilation/extraction et filtration absolue dimensionnés pour un renouvellement à minima de 4 volumes par heure (mais dans bien des cas il est d'usage de requérir 40 volumes par heures) ;

Dans la réglementation sur le plomb, il n'y a rien de précisé à ce sujet. Il est seulement mentionné que : « les opérations de captage et de ventilation sont réalisées de telle sorte que les concentrations dans l'atmosphère ne soient dangereuses en aucun point pour la santé et la sécurité des travailleurs et qu'elles restent inférieures aux valeurs limites d'exposition. » (Code du Travail, Articles R. 4222-11 à 17 et R. 4220-20 à 24).

À titre d'exemple, pour l'amiante, le nouveau guide ED 6307 relatif à l'aérodynamique des chantiers sous confinement précise de 6 à 20 renouvellements selon le taux de fibres mesurées.

Empoussièremet du processus	Inférieur à 3300 f/L	Entre 3 300 et 6 000 f/L	Entre 6000 et 10000 f/L	Entre 10000 et 25000 f/L	Supérieur à 25000 f/L
Chantier de niveau	2	2	3	3	Non autorisé
Taux moyen de renouvellement en air neuf à mettre en œuvre en volume par heure	Minimum 6	Minimum 15	Minimum 20	Minimum 20 (ou plus selon l'empoussièremet)	

- **en préalable au démarrage des opérations** : réalisation d'un bilan aéraulique avec notamment un test de fumée pour contrôler les temps d'évacuation, vérifier le renouvellement d'air dans la zone confinée et la bonne étanchéité du confinement.

En revanche, l'INRS a publié le guide ED 909 en 2013 spécifique à l'intervention sur les peintures contenant du plomb. Ce guide est extrêmement complet et précise les dispositions spécifiques à mettre en œuvre selon les situations de travail, technologies de décapage utilisées, conditions d'intervention, notamment sur les aspects suivants :

- EPI : bottes, gants à usage unique, etc. À noter notamment l'obligation de porter des vêtements jetables étanches aux poussières de type 5/6. Port de sous-vêtements également jetables. Les vêtements et sous-vêtements jetables sont changés à chaque Entrée/Sortie de zone ;
- appareils de protection respiratoire adaptée en fonction du type de travaux et du niveau d'exposition.



Photo 20 : Masque complet doté d'un système à ventilation assistée pour travaux continus (nettoyage zone contaminée) (doc Internet)



Photo 21 : Compartiment « propre » © Prezioso Linjebbygg



Photo 22 : Compartiment « sale » avec extracteurs © Prezioso Linjebbygg



Les systèmes de confinement sont souvent réalisés afin de pouvoir permettre une mise en dépression de l'environnement de chantier ; c'est notamment et obligatoirement le cas pour un décapage par projection d'abrasifs en jet libre. En revanche, pour un décapage secondaire et selon la technique de décapage employé, des dispositions opératoires plus « mesurées » sont autorisées. Il convient de se référer au guide de l'INRS ED 909 qui les précise.

En respect des article R. 4412-156 et R. 4412-157, il est obligatoire de mettre en place un double vestiaire, avec sanitaires et douches entre les deux.

Un système de ventilation, avec filtration absolue dans le vestiaire sale, est impératif.

4.3.1.2 Amiante

Seules des entreprises certifiées peuvent intervenir. Ces interventions sont très spécifiques et requièrent des moyens en matériel et personnel ainsi qu'une maîtrise opérationnelle très spécifique dont la certification est un gage de performance.

La priorité doit être donnée à la protection collective (E.P.C.) : extracteurs.

Les moyens de protection individuels (EPI) utilisés (selon les résultats de l'évaluation des risques) :

- combinaison à usage unique de type 5 (risques majeurs Amiante) ;
- gants à usage unique ;
- surbotte à usage unique ;
- appareil de protection respiratoire : FFP3 (1/2 masque à usage unique - temps de vacation 15 min), TM3P (temps de vacation 1h), masque complet à adduction d'air en fonction de la nature du travail à réaliser et le taux d'empoùssièrement estimé (plusieurs niveaux en fonction du débit).

Quelques photos de suivis chantiers amiantés :



Photo 23 : Sas de décontamination



Photo 24 : Confinement - Réhabilitation CF

Le guide de l'INRS ED 6307 précise en détail les dispositions opératoires requises pour ce type d'intervention. Il convient de s'y référer.

Il est à noter que la mise en place de ces systèmes de confinement apporte une charge supplémentaire à l'ouvrage. En effet, en plus de la masse des équipements, le fait d'installer des systèmes de confinement va engendrer une prise au vent importante ainsi qu'une charge supplémentaire en cas d'intempérie (rétention d'eau ou de neige). Il est nécessaire ainsi de bien tenir compte de ce paramètre au niveau :

- des différentes phases possibles du chantier,
- de la faisabilité du montage des accès,
- des différentes configurations du confinement.

Une étude de l'échafaudage (et ses équipement) et son interaction avec l'ouvrage doit être menée de façon spécifique par le prestataire de l'échafaudage au travers d'une note de calcul et de schémas de montage. Cette étude doit être validée par le maître d'ouvrage qui seul est en mesure de confirmer que son ouvrage peut recevoir les efforts définis par cette étude.

4.3.2 AUTRES CONTRAINTES LIÉES À L'OUVRAGE ET À SON EXPLOITATION

Pour des ouvrages au milieu de la nature, il n'est pas rare que soient imposées d'autres contraintes environnementales, par exemple :

- dans le cas où l'ouvrage se situe sur une zone préservée de type Natura 2000 ;
- quand des espèces endémiques animales ou végétales sont à préserver (grenouilles, lézards, certaines fleurs en montagne, etc.) ;
- etc.

Il convient d'analyser l'impact de ces contraintes additionnelles sur les conditions d'intervention et donc sur le contenu de la consultation.

À l'inverse, en milieu urbain, le bruit potentiellement généré par les travaux occasionne une gêne à la population.

Des réglementations locales sont de plus en plus imposées. Là encore, des limites de bruit peuvent être fixées, voire des obligations d'intervention à certaines heures de la journée, tout ceci impactant les dispositions opératoires et parfois les choix de méthodes et de moyens.



Photo 25 : Ouvrage en zone préservée © Prezioso Linjebigg

Une étude de risques est nécessaire pour informer des risques spécifiques générés par l'ouvrage et son environnement pour les intervenants en travaux de rénovation. À partir de cette étude de risques, les entreprises consultées devront démontrer que le schéma industriel qu'elle propose pour l'intervention tient compte de ces risques.

4.5.1 VIEILLISSEMENT NATUREL

4.5.1.1 état d'avancement

Lors du diagnostic, il est précisé la quantification et la qualification des dégradations constatées.

S'il a été établi que l'origine est due au vieillissement naturel de la protection anticorrosion (c'est-à-dire dans les conditions d'exploitation prévues à la conception), il y a lieu de se prononcer sur l'avancement des dégradations.

2 cas de figure :

- état d'avancement Risque niveau 1 : les dégradations sont partielles ou peu évolutives ;
- état d'avancement Risque niveau 2 : les dégradations engagent de façon significative la protection anticorrosion.

4.5.1.2 Risques

- **Pour le niveau 1**, un simple entretien ou une maintenance partielle suffit. Cette maintenance partielle doit être effectuée dans les 2 ans suivant le diagnostic. Si celle-ci n'est pas effectuée, les dégradations vont se poursuivre et atteindront rapidement le niveau 2.
- **Pour le niveau 2**, une maintenance corrective s'impose. Cette maintenance corrective doit être effectuée dans les 2 ans suivant le diagnostic, faute de quoi, il y aura un risque de dégradation du métal (perte de métal) et donc de corrosion de l'ouvrage.

4.5.1.3 Solutions techniques

> Pour le risque niveau 1 :

Il est tout à fait possible de réaliser des opérations de maintenance partielle. Cette maintenance a comme objectif de maintenir la fonction anticorrosion de la peinture sur des parties d'ouvrages. Certaines zones des ouvrages sont plus sollicitées que d'autres. La maintenance partielle est souvent réalisée dans ces zones.

Afin de réaliser une maintenance partielle, il est nécessaire de définir une zone précise. Sur cette zone, les opérations de reprise de la peinture vont consister à :

- réaliser un nettoyage de la zone ;
- réaliser un avivage des couches de peinture existantes (ou autre qualité de préparation de surface selon les prescriptions du fabricant de peinture) afin de permettre aux nouvelles couches de peinture d'adhérer convenablement ;
- réaliser la mise en œuvre d'un système de peinture partiel ou complet en fonction des couches retirées par l'avivage.

La maintenance partielle doit tenir compte des données des peintures en place. En effet il est essentiel de vérifier la bonne compatibilité des systèmes présents (différentes couches) avec les couches rapportées :

- la compatibilité entre deux couches de même nature chimique ne présente pas en générale de problème,
- certaines configurations sont totalement incompatibles (peintures solvantées sur peinture à séchage physique),
- pour tout le reste, une prescription étudiée dans le détail est nécessaire afin d'assurer une bonne compatibilité.

La présence de plomb et/ou d'amiante peut rendre économiquement caduque le traitement en maintenance partielle d'un ouvrage du fait de l'importance disproportionnée du coût lié à la gestion de ce risque.

> Pour le risque niveau 2 :

Cette maintenance corrective implique l'élimination totale du revêtement en place par tous moyens permettant d'obtenir un degré de soin Sa 2 ½ et une rugosité Moyen G (projection d'abrasif à sec par exemple), l'objectif étant de revenir au métal nu et de réappliquer une protection anticorrosion complètement neuve. Des qualités de préparation de surface alternatives sont possibles (cf. section 4.5.3) mais à étudier au cas par cas (décapage UHP, décapage induction, etc.). Les critères qualité de la surface préparée doivent être précisés selon les normes en vigueur en fonction des spécifications techniques du fabricant de peinture. Le choix de la protection anticorrosion tiendra compte des nouvelles conditions d'exploitation de l'ouvrage qui peuvent avoir évoluées depuis sa construction.

4.5.2 VIEILLISSEMENT ANORMAL – ORIGINE CONNUE, SUPPOSÉE OU INCONNUE

Un vieillissement anormal est une dégradation de la protection anticorrosion qui survient très rapidement après la réception des travaux.

Cette dégradation est généralement très visible et fait l'objet d'une inspection spécifique suivi d'un diagnostic très détaillé.

Une expertise contradictoire est très souvent organisée car ces dégradations interviennent pendant la période de garantie.

L'origine permet d'entrevoir les responsabilités de chacun (qui feront, soit l'objet d'un accord amiable entre les parties, soit seront jugées devant un tribunal compétent).

4.5.2.1 État d'avancement

Lors du diagnostic, il est précisé la quantification et la qualification des dégradations constatées. Plus vite l'avancement des dégradations sera établi, plus il sera aisé d'intervenir de façon plus ou moins localisée.

4.5.2.2 Risques

Dans le cas d'un vieillissement anormal, il est fortement conseillé de reprendre les dégradations constatées dans les plus brefs délais.

Il y a donc lieu de préciser clairement si les dégradations sont localisées à une ou plusieurs parties de l'ouvrage.

À partir de ce constat, il faudra agir rapidement.

Une mésentente entre les parties retardera inévitablement l'engagement de réparation et augmentera de façon significative l'importance de travaux de reprise.

4.5.2.3 Solutions techniques

Une dégradation anormale de la protection anticorrosion nécessite, en général, une élimination totale du système de protection, soit de façon localisée, soit généralisée.

Il est fortement déconseillé de faire une reprise partielle (type enlèvement d'une couche superficielle et application d'une nouvelle couche) car il peut subsister des dégradations sous-jacentes non encore visibles à l'œil nu.

Que les dégradations soient localisées et/ou généralisées, il est fortement conseillé d'effectuer l'élimination totale du revêtement en place par tous moyens permettant d'obtenir un degré de soin Sa 2 ½ et une rugosité Moyen G (projection d'abrasif par exemple), ou méthodes alternatives comme décrites dans le paragraphe précédent et détaillées en 4.7.3., l'objectif étant de revenir au métal nu et de réappliquer une protection anticorrosion complètement neuve.

Le choix de la protection anticorrosion sera compatible avec celle restant en place dans le cas de réparations localisées et, dans le cas de réparation généralisée, elle tiendra compte des nouvelles conditions d'exploitation de l'ouvrage qui peuvent avoir évoluées depuis sa construction



Photo 26 : Passerelle Sainte Colombe - Vienne © Prezioso Linjebbygg

4.6.1 DURABILITÉ / GARANTIES PARTICULIÈRES ATTENDUES

Ces deux notions sont complémentaires mais ne doivent pas être confondues :

- la durabilité est définie dans l'ISO 12944.1 comme étant « **La durée de vie estimée d'un système de peinture jusqu'à la première maintenance majeure** ».

Elle est par conséquent une notion technique qui peut aider un maître d'ouvrage dans l'établissement de son programme de maintenance en fonction des choix de systèmes et stratégie d'entretien mis en place. On distingue les classes suivantes :

- durabilité limitée (L) : jusqu'à 7 ans,
- durabilité moyenne (M) : de 7 à 15 ans,
- durabilité haute (H) : de 15 à 25 ans,
- durabilité très haute (VH) : + de 25 ans.

La série de normes définit les conditions requises pour chaque type de systèmes de peinture et chaque classe de corrosivité, pour atteindre ces différents niveaux de durabilité ;

- la garantie est une notion juridique qui fait l'objet de dispositions précises dans la partie administrative d'un contrat. La garantie est généralement plus courte que la durabilité mais il n'y a aucune règle qui relie les deux.

En France, l'OHGPI (Office d'Homologation et de Garantie des Peintures Industrielles) dont les adhérents sont les fournisseurs/fabricants (membres du SIPEV) de peinture et les applicateurs (membres du GEPI, Groupement des Entrepreneurs de Peinture industrielle) a pour vocation, après examen, d'homologuer les garanties contractuelles sollicitées par le Maître d'ouvrage ou le Maître d'œuvre, pour des travaux de peinture industrielle et/ou de revêtements anticorrosion en construction neuve ou en maintenance.

L'OHGPI fixe, pour un ouvrage donné, une catégorie de corrosivité donnée, des contraintes d'exploitation données, un type et une qualité de préparation de surface et un système de peinture donnés, un niveau de garantie (critères et durées) acceptable. Cet avis d'homologation rendu par l'OHGPI pour un couple adhérent Fournisseur-Fabricant/Applicateur, reste uniquement un avis technique et ce sont les termes des contrats liant chaque partie qui feront foi en cas de désaccord ou d'appel en période de garantie.

Pour en savoir plus, il convient de se rendre sur le site internet de l'OHGPI ou de la Filière anticorrosion dont elle fait partie aujourd'hui.

Les critères de garanties s'appuient sur la série de normes ISO 4628 qui définit chaque défaut et les illustre par des clichés de référence :

- ISO 4628 partie n°2 : détermination du degré de cloquage ;
- ISO 4628 partie n°3 : détermination du degré d'enrouillement ;
- ISO 4628 partie n°4 : détermination du degré de craquelage ;
- ISO 4628 partie n°5 : détermination du degré d'écaillage.

Les garanties, pour ce qui concerne les ouvrages de génie civil métalliques, sont définies principalement par 3 critères :

- garantie anticorrosion : clichés de corrosion allant de Ri0 à Ri5 ;
- garantie d'aspect (cloquage, craquelage, écaillage) : dont le critère précise à la fois la quantité par le premier chiffre et la dimension (précisée entre parenthèse avec la lettre S suivie d'un chiffre avec un maximum de 3 [S3]) ;

- garantie de couleur. Cette garantie vise à assurer au maître d'ouvrage la préservation de la teinte sur une certaine durée (ΔE maxi sur une certaine durée selon la NFT 34 554-2). Ce critère fait débat aujourd'hui, car même si sa légitimité vis-à-vis des attentes du maître d'ouvrage est bien entendu comprise et partagée par tous, la stabilité de teinte dans le temps est liée à un ensemble de facteurs qui dépasse largement le cadre de la qualité de la peinture en elle-même et de la qualité de mise en œuvre. À noter que le fascicule 56 en cours de révision à la date de rédaction du présent guide va clarifier les conditions requises à l'homologation par l'OHGPI d'une garantie pour ce critère.

Le niveau admissible pour chaque critère ainsi que sa durée est fonction de chaque situation. À noter qu'un ancien fond conservé fera toujours l'objet d'une réserve car en dehors de la responsabilité de celui qui intervient dessus en rénovation.

Le niveau de garantie maximal sera obtenu dans le cadre d'une préparation de surface primaire ou secondaire par projection d'abrasif à sec ou par UHP sur un support avec une rugosité existante.

À noter que, dans le cadre du Fascicule 56, la conformité aux dispositions constructives influe sur le niveau de garantie admissible.



Photo 27 : Matériel de décapage © Prezioso Linjebbygg

4.6.2 PRIX

Le critère de prix est un élément indéniable dans le choix du maître d'ouvrage contraint par des restrictions budgétaires dans l'extrême majorité des cas.

La notion de coût global est importante à considérer en relation avec le point précédent (durabilité des solutions de protection).

En effet, dans bien des cas une préparation de surface primaire va générer des conditions de mise en œuvre extrêmement conséquentes et donc coûteuses comparativement à une préparation secondaire pour lesquelles des alternatives d'accès et de méthodes de décapage et de mise en peinture peuvent réduire considérablement le budget d'intervention en rénovation.

Dès lors, est-ce qu'il est plus judicieux d'opter pour un décapage primaire et de prévoir un entretien plus régulier ? Il n'y a aucune règle ou réponse absolue en la matière mais il est indispensable de se poser la question en amont de la consultation et de réaliser les simulations

chiffrées de différents scénarios possibles afin d'orienter la consultation vers ce qui semble être la meilleure option.



Photo 28 : Pont suspendu de La Voulte en cours de travaux © Lassarat

4.6.3 AUTRES

Dans le cas notamment d'un ouvrage contaminé par l'amiante et/ou le plomb, le maître d'ouvrage optant pour un décapage primaire (total) vise une obligation de résultat de décontamination totale. On peut dès lors parler de travaux davantage de dépollution sur la première phase d'intervention plus qu'une réelle préparation de surface pour un système de protection anticorrosion « classique ».

Certains ouvrages peuvent être également présenter des caractéristiques esthétiques très spécifiques. Notons par exemple les grands monuments comme sont la cité des sciences à Paris, la fondation Louis Vuitton à Paris, la canopée à Paris, le musée confluence à Lyon, etc., dont l'esthétisme de la finition et la tenue dans le temps sont primordiaux pour les architectes qui les ont conçus et les maîtres d'ouvrage qui en sont propriétaires. Dès lors des critères bien spécifiques sur l'aspect de surface à la livraison peuvent être définis notamment en rapport à la série de normes ISO 4628, et parfois au-delà.

Il convient par conséquent de bien définir ces critères supplémentaires et de les objectiver au maximum afin d'éviter tout conflit ou malentendu à la livraison.



Photo 29 : Fondation Louis Vuitton à Paris (document internet)

4.7.1 INTRODUCTION

À partir des résultats de la visite de reconnaissance, des diagnostics et de l'essai de décapage préalable ainsi que de l'ensemble des critères et contraintes précisés dans les paragraphes précédents, la mise au point du dossier de consultation des entreprises comporte l'établissement des prescriptions concernant notamment :

- la préparation de surface, avec le type de décapage envisagé (décapage primaire ou secondaire) et, dans le cas d'un décapage secondaire, les degrés à atteindre ;
- le choix du type de système de peinture de maintenance en précisant, toujours dans le cas d'un décapage secondaire, son adaptation au(x) degré(s) de préparation de surface à atteindre ;
- les dispositions matérielles d'installation de chantier (échafaudages, accès, confinement, protection de l'environnement, etc.), notamment celles concernant la récupération et le traitement des déchets de décapage en relation avec leur dangerosité révélée lors de l'essai préalable, ainsi, bien entendu, que les dispositions particulières à l'ouvrage.

En France, il existe un organisme, l'ACQPA, qui certifie à la fois les systèmes de peintures anticorrosion pour les travaux neufs et les travaux de maintenance, le personnel opérateur (exécutants, chef d'équipes), l'encadrement de chantier (conducteur de travaux) et les inspecteurs. La certification des systèmes de peinture repose essentiellement sur le standard ISO 12944 à partir de la catégorie de corrosivité moyenne (C3) et de la classe de haute durabilité (H) ; c'est pourquoi nous nous attacherons dans le paragraphe 4.7.2 à décrire les exigences fixées par cette série de normes que nous pouvons considérer comme une « référence » du « standard » des solutions techniques de protection anticorrosion par systèmes de peinture.

Mais au-delà de ce standard, il convient également de détailler les solutions alternatives qui peuvent présenter un intérêt dans de nombreuses situations où les contraintes d'intervention sont telles que des compromis doivent être trouvés afin « de faire plutôt que ne rien faire » et/ou dans des conditions de rapport budget/performance optimisées.

4.7.2 SYSTÈMES DE PEINTURES « STANDARDS » ET MÉTHODES ASSOCIÉES

Que l'on opte pour une préparation de surface primaire ou secondaire en fonction du résultat de la phase de reconnaissance, de diagnostics et d'essai préalable, il faut considérer la série de normes ISO 12944 comme la « référence » pour l'aide à la constitution du dossier de consultation.

Les parties sur lesquelles il convient de s'appuyer sont les suivantes :

- partie 4 : type de surfaces et de préparation de surfaces ;
- partie 5 : systèmes de peintures ;
- partie 6 : essais de performance en laboratoire ;
- partie 8 : développement de spécifications pour les travaux neufs et de maintenance.

4.7.2.1 Types de surfaces et de préparation de surface

Il serait fastidieux et inutile de reprendre tout le détail fourni par la norme. Le lecteur pourra s'y référer en cas de besoin de plus de détails.

En considérant à la fois la nature des ouvrages de génie civil métalliques et la limitation du guide aux travaux de rénovations, les points essentiels sont les suivants :

4.7.2.1.1 Qualification des différents types de surfaces à préparer

Dans le cas de la maintenance d'ouvrages de génie civil métalliques, nous aurons affaire essentiellement à ces surfaces déjà peintes, soit d'un système peinture complet ou bien d'un revêtement métallique (métallisation, galvanisation) ou bien d'un système duplex galvanisation/métallisation + système de peintures. Selon le résultat des phases préliminaires, il pourra être décidé d'orienter la préparation de surface vers une préparation primaire ou secondaire.

Un ouvrage pouvant comporter plusieurs types de surfaces à préparer, il convient de bien les identifier et de qualifier la qualité de préparation de surface requise pour chacun d'entre eux.

4.7.2.1.2 Méthodes de préparation de surfaces

Il existe au titre de la norme deux catégories de mode de préparation de surface distinctes :

4.7.2.1.2.1 Nettoyage à l'eau, aux solvants et nettoyage chimique

Dans le cadre de la maintenance, toutes les surfaces devront être à minima nettoyées selon un procédé adapté à la propreté de surface évaluée (présence d'huile, graisses, mousses, algues, champignons, traces d'oxydes, sels et autres polluants...). Cette préparation de surface est indispensable, que ce soit pour une préparation de surface primaire ou secondaire, mais évidemment encore plus cruciale dans le second cas afin d'éviter d'enfermer des pollutions entre couches et de réduire le risque de défaut d'adhésion sur les anciens fonds conservés.

4.7.2.1.2.2 Nettoyage manuel et mécanique

La norme précise :

- **nettoyage à la main** : les outils types sont les brosses métalliques, spatules, grattoirs, etc. Pour plus de détails voir l'ISO 8504.3 ;
- **nettoyage à la machine** : les outils types sont des brosses rotatives, divers types de meules, marteaux à percussion, pistolets à aiguilles... Il convient de veiller de ne pas endommager ou déformer les éléments de structure traités par ce procédé. Ce procédé est plus efficace que le mode manuel, en revanche ce dernier le complète pour l'atteinte des zones inaccessibles aux outils mécaniques. Ces équipements sont toutefois limités dans la qualité de préparation de surface qu'ils permettent d'obtenir, tant au niveau du degré de soin que de la rugosité. À noter que certains équipements permettent d'obtenir une qualité proche du décapage à l'abrasif sans toutefois garantir un résultat constant. Pour plus de détails voir l'ISO 8504.3 ;



Photo 30 : Décapage à sec ; atelier et matériel © Prezioso Linjbygg

■ **décapage à l'abrasif** : les différentes méthodes sont spécifiées dans la norme ISO 8504.2. Les abrasifs pour décapage doivent être spécifiés et conformes aux différentes parties des normes ISO 11124 et ISO 11126 ou ISO 11127. Il existe un grand nombre de technologies par voie sèche ou humide dont l'usage, les capacités et les résultats diffèrent quelque peu. :

- décapage par projection d'abrasif (à sec) : Le décapage à l'abrasif à l'air comprimé est effectué en amenant l'abrasif dans un jet d'air et en projetant le mélange ainsi formé au travers d'une tuyère (buse) à grande vitesse.
On distingue le décapage abrasif par jet libre et à abrasif dit perdu (non recyclé) du décapage à abrasif (souvent métallique = grenailage) avec recyclage. Dans le premier cas, l'abrasif, souvent de nature minérale naturelle ou synthétique, est réduit en résidus à l'impact et ne permet pas en conséquence de pouvoir le recycler. Dans le second cas, la grenaille d'acier, plus dure, peut être recyclée après récupération (souvent au moyen d'équipements d'aspiration puissants) et traitement adapté pour satisfaire aux obligations de pollutions maximales autorisées (surtout dans le cas de peintures contaminées par des CMR). À noter également le développement de systèmes de décapage avec aspiration à la source qui permet la captation des poussières émises et, de fait, permet d'alléger les protections, tant au niveau des éléments sensibles de l'ouvrage que de confinement de la zone de travail (ces dispositifs restent pour l'instant limités à des petites ou moyennes surfaces),
- décapage à l'abrasif avec adjonction d'eau : le procédé est identique au précédent, sauf qu'un peu d'eau est ajoutée en amont de la tuyère ou par fine pulvérisation en tête de buse au moyen d'une buse annulaire,
- décapage à l'abrasif humide : contrairement au point précédent, l'abrasif (plus ou moins fin et de nature variée) est ajouté à un flux d'eau haute pression (jusqu'à 700 bars), ce qui a pour conséquence de projeter un mélange eau + abrasif. Il existe de nombreuses variantes technologiques propres à chaque constructeur et d'efficacité variable selon les enjeux,
- cas spécifique de l'avivage : l'avivage par balayage à l'abrasif vise à nettoyer et/ou à créer une microrugosité sur les peintures organiques ou métalliques, ou à éliminer sélectivement une ou plusieurs couches superficielles (pas ou peu adhérentes) tout en conservant les autres couches de meilleures adhésion et cohésion. Un guide d'échelle d'avivage avait été produit par le LPC (Laboratoire des Ponts et Chaussées) en 1993 afin de définir un cadre « objectif » de réception de la surface avivée pour éviter tout écart d'interprétation entre les différentes parties. De nos jours ce guide n'est quasiment plus utilisé et il convient d'être très prudent avec cette notion d'avivage. En effet, les couches conservées ayant reçues un « martèlement » par le mélange air/abrasif sous haute pression, l'état de conservation de ces couches est parfois aléatoire malgré les essais préalables et de convenances qui peuvent être réalisés,
- décapage ponctuel par projection d'abrasif : le décapage à l'abrasif localisé à sec ou humide repose sur les mêmes bases techniques que précisées ci-dessus mais intervient sur de petites surfaces qui sont souvent des dégradations isolées (oxydation ou défaut de film).

Il se fait souvent en même temps qu'un avivage des surfaces conservées. À noter que des équipements de petites dimensions et légers sont développés par les fournisseurs de matériel pour favoriser des approches avec accès et confinements réduits (permettant par exemple de réaliser les travaux avec des cordistes) ;

- **décapage à l'eau** : cette méthode consiste à projeter de l'eau douce et propre sur les surfaces à nettoyer. La pression varie en fonction du résultat escompté (du simple nettoyage au décapage total). On parle de :
 - haute pressions (HP) = de 700 à 1000 bars,
 - très hautes pressions (THP) = de 1000 à 1400 bars,
 - ultra hautes pressions (UHP) = supérieures à 1400 bars.

À noter qu'il existe également des équipements de décapage UHP avec adjonction d'abrasif, ce qui permet d'accroître l'efficacité de décapage.



Photo 31 : Décapage à l'eau © Prezioso Linjebbygg

4.7.2.1.2.3 Cas spécifique de la préparation de surface de l'acier galvanisé

Il n'est pas rare en rénovation de changer les rambardes et, dans bien des cas, celles-ci sont approvisionnées en acier galvanisé. Deux types de préparation de surfaces peuvent être réalisées : dérochage chimique ou le balayage abrasif. Si les deux sont techniquement rencontrés, dans bien des cas, seule la préparation de surface par balayage sera admise. C'est notamment un prérequis pour la qualification des systèmes de peinture sur acier galvanisé conformément à la 12944.5.

4.7.2.1.3 Qualités des surfaces préparées

Deux notions importantes :

- le degré de préparation des surfaces (ou degré de soin),
- le profil de surface (ou rugosité).

4.7.2.1.3.1 Degré de soin

Les exigences doivent être définies sur les degrés de préparation de surface précisées dans les annexes A et B de l'ISO 12944.4.

ANNEXE A : Degrés standards de préparation pour la préparation primaire des surfaces (totale)

Degré standard de préparation ^a	Méthode de préparation de surface	Clichés de référence d'après l'ISO 8501-1 ^{b,c,d}	Caractéristiques essentielles des surfaces préparées (Pour de plus amples détails comprenant le traitement avant et après la préparation de surface (colonne 2), voir l'ISO 8501-1)	Domaine d'application
Sa1	Décapage par projection (6.3.3)	B Sa 1 C Sa 1 D Sa 1	Seuls la calamine la rouille, les peintures peu adhérentes et les matières étrangères sont éliminées	Préparation a) Des surfaces en acier non revêtues ; b) Des surfaces en acier revêtues, si les peintures sont éliminées jusqu'à obtention du degré de préparation spécifié
Sa2		B Sa 2 C Sa 2 D Sa 2	La majorité de la calamine, de la rouille, des peintures et des matières étrangères sont éliminées. Toute contamination résiduelle doit être très adhérente	
Sa 2 ½		A Sa 2 ½ B Sa 2 ½ C Sa 2 ½ D Sa 2 ½	La calamine, la rouille, les peintures et les matières étrangères sont éliminées. Les traces de contamination qui subsistent doivent apparaître simplement comme de légères taches sous forme de points ou de trainées	
Sa 3é		A Sa 3 B Sa 3 C Sa 3 D Sa 3	La calamine, la rouille, les peintures et les matières étrangères sont éliminées. La surface doit avoir une couleur uniforme métallique	
St 2	Nettoyage à la main ou à la machine (6.3.1, 6.3.2)	B St 2 C St 2 D St 2	La calamine, la rouille, les peintures et les matières étrangères peu adhérentes sont éliminées ^e	
St 3		B St 3 C St 3 D St 3	La calamine, la rouille, les peintures et les matières étrangères peu adhérentes sont éliminées ^e . Toutefois la surface doit être traitée beaucoup plus soigneusement que pour St 2 pour donner un reflet à la nature métallique du sujet	
Be	Décapage à l'acide (6.2.2)		La calamine, la rouille et les restes de peinture sont éliminés complètement. Les peintures doivent avoir été éliminées par des moyens appropriés avant décapage à l'acide	Avant galvanisation ou trempé à chaud par exemple

^a Explication des symboles utilisés
Sa = décapage par projection d'abrasif (ISO 8501-1)
St = nettoyage à la main ou à la machine (ISO 8501-1)
Be = décapage à l'acide

^b A, B, C et D sont les conditions initiales de subjectiles d'acier non revêtus (voir ISO 8501-1).

^c Les exemples de clichés représentatifs montrent uniquement des zones qui n'étaient pas revêtues préalablement et étaient décapées à l'aide de sable de quartz. Le décapage par projection au moyen de sable de quartz est interdit dans de nombreux pays. En raison de leur couleur, l'utilisation d'autres abrasifs de décapage par projection peut modifier l'aspect de la surface décapée, même après un nettoyage minutieux.

^d Dans le cas de subjectiles d'acier avec des revêtements métalliques peints ou non, une application analogue de certains degrés standards de préparation peut être convenue, sous réserve qu'ils soient techniquement fiables dans les conditions données.

^e La calamine est considérée comme étant peu adhérente si elle peut être éliminée lorsqu'elle est soulevée avec la lame d'un couteau de poche.

^f Les facteurs influençant l'évaluation doivent faire l'objet d'une attention particulière.

^g Ce degré de préparation de surface ne peut être obtenu et maintenu que dans certaines conditions qu'il ne peut pas être possible de produire sur site.

ANNEXE B : Degrés standards de préparation pour la préparation secondaire des surfaces (partielle)

Degré standard de préparation ^a	Méthode de préparation de surface	Clichés de référence d'après l'ISO 8501-1 ou l'ISO 8501-2 ^{b,c,d}	Caractéristiques essentielles des surfaces préparées ^f (Pour de plus amples détails comprenant le traitement avant et après la préparation de surface (colonne 2), voir l'ISO 8501-2 : 1994)	Domaine d'application
P Sa 2 ^e	Décapage localisé par projection	B Sa 2 C Sa 2 D Sa 2 (s'appliquent aux zones non revêtues d'une surface)	Les peintures très adhérentes doivent être intactes ^f . Sur la surface des autres parties, les peintures peu adhérentes et la plupart de la calamine, de la rouille et des matières étrangères sont éliminées. Toute contamination résiduelle doit être très adhérente.	Préparation des surfaces en acier revêtues sur lesquelles des peintures subsistent ^g
P Sa 2 1/2 ^e		B Sa 2 1/2 C Sa 2 1/2 D Sa 2 1/2 (s'appliquent aux zones non revêtues d'une surface)	Les peintures très adhérentes doivent être intactes ^f . Sur la surface des autres parties, les peintures peu adhérentes et la plupart de la calamine, de la rouille et des matières étrangères sont éliminées. Les traces de contamination qui subsistent doivent apparaître simplement comme de légères taches sous formes de points ou de traînées.	
P Sa 3 ^{e,h}		C Sa 3 D Sa 3 (s'appliquent aux zones non revêtues d'une surface)	Les peintures très adhérentes doivent être intactes ^f . Sur la surface des autres parties, les peintures peu adhérentes et la plupart de la calamine, de la rouille et des matières étrangères sont éliminées. Les traces de contamination qui subsistent doivent apparaître simplement comme de légères taches sous formes de points ou de traînées.	
P M ^{ee}	Meulage mécanique localisé	P Ma	Les peintures très adhérentes doivent être intactes ^f . Sur la surface des autres parties, les peintures peu adhérentes et la plupart de la calamine, de la rouille et des matières étrangères sont éliminées. Les traces de contamination qui subsistent doivent apparaître simplement comme de légères taches sous formes de points ou de traînées	
P St 2 ^e	Nettoyage à la main ou à la machine localisé	C St 2 D St 2	Les peintures très adhérentes doivent être intactes ^f . Sur la surface des autres parties, les peintures peu adhérentes et la plupart de la calamine, de la rouille et des matières étrangères sont éliminées.	
P St 3 ^e	Nettoyage à la main ou à la machine localisé	C St 3D St 3	Les peintures très adhérentes doivent être intactes ^f . Sur la surface des autres parties, les peintures peu adhérentes et la plupart de la calamine, de la rouille et des matières étrangères sont éliminées. Toutefois, la surface doit être traitée beaucoup plus soigneusement que pour P St 2 pour donner un reflet dû à la nature métallique du subjectile	Préparation des surfaces en acier revêtues sur lesquelles des peintures subsistent ^g

^a Explication des symboles utilisés :

P Sa = décapage localisé par projection d'abrasif des surfaces préalablement revêtues (ISO 8501-2) ;

P St = nettoyage localisé à la main ou à la machine des surfaces préalablement revêtues (ISO 8501-2) ;

P Ma = meulage localisé mécanique des surfaces préalablement revêtues (ISO 8501-2)

^b Dans le cas de subjectiles d'acier avec des revêtements métalliques peints ou non, une application analogue de certains degrés standards de préparation peut être convenue, sous réserve qu'ils soient techniquement fiables dans les conditions données.

^c Il n'existe pas de clichés spécifiques pour les degrés P, dans la mesure où l'aspect de la surface totale ainsi préparée est largement déterminé par le type de peinture existante et par son état. Pour les zones de la surface dépourvues de peinture, ce sont les clichés présentés pour les degrés correspondants sans préparation qui s'appliquent. Pour expliciter davantage les degrés P, l'ISO 8501-2 présente différents clichés de ces surfaces avant et après traitement. Dans les cas des degrés P Sa 2, P St 2 et P St 3, pour lesquels aucun cliché n'est disponible, l'aspect des peintures résiduelles sera analogue à celui correspondant au P Sa 2 ½ ou P Ma.

^d Les facteurs influençant l'évaluation doivent faire l'objet d'une attention particulière.

^e P est utilisé comme lettre-code pour le degré de préparation dans le cas des surfaces revêtues par des peintures très adhérentes qui pourront être conservées. Les principales caractéristiques de chacune des deux zones de surface préparées, celle à peinture très adhérente et celle sans aucune trace de peinture, sont spécifiées séparément dans la colonne appropriée. Les degrés P font toujours référence à la totalité de la surface. En ce qui concerne le traitement des peintures restantes, voir l'ISO 8501-2 : 1994, 4.5.

^f Les peintures sont considérées comme très adhérentes si elles ne peuvent pas être éliminées lorsqu'elles sont soulevées avec la lame d'un couteau de poche.

^g Il convient, de préférence, de connaître les informations suivantes au sujet de la peinture existante :

- Le type de revêtement de peinture (par exemple type de liant et de pigment) ou de revêtement métallique, ainsi que son épaisseur approximative et la date de son application ;
- Le degré de rouille, comme défini dans l'ISO 4628-3, en faisant attention à la corrosion sous-jacente, le cas échéant ;
- Le degré de cloquage, comme défini dans l'ISO 4628-2 ;
- Des informations supplémentaires concernant, par exemple, l'adhérence (après des essais tels que décrits dans l'ISO 2409), le craquelage (ISO 4628-4), l'écaillage (ISO 4628-5), les contaminants chimiques et autres contaminants, ainsi que tout autre détail important.

La vérification de la compatibilité de la peinture prévue avec les peintures existantes ou leurs résidus fait partie intégrante de la conception d'un système de peinture anticorrosion.

^h Ce degré de préparation de surface ne peut être obtenu et maintenu que dans certaines conditions qu'il ne peut être possible de produire sur site.

À noter, dans le cas d'un décapage par voie humide, qu'une fleur de rouille peut se former en surface du métal. Il conviendra d'éliminer cette fleur de rouille en fonction des recommandations techniques du fournisseur du système de peinture.

La norme principale pour l'appréciation visuelle des surfaces préparées est l'ISO 8501, tant pour le décapage par projection d'abrasif (Sa) que les décapages manuels et mécaniques (St). La qualité des surfaces décapées dans le cas d'un décapage à l'eau (décapage UHP) est évaluée selon l'ISO 8501.4 (en cours de révision) ou en France plus communément selon la NFT 35520 qui précise deux notions :

- le degré de soin : - DHP1 : décapage léger,
- DHP2 : décapage moyen,
- DHP3 : décapage poussé,
- DHP4 : mise à nu de l'acier ;
- l'échelle d'oxydation flash (avec clichés de référence) :
- OF0 : aucune trace d'oxydation,
- OF1 : faible oxydation superficielle non pulvérulente,
- OF2 : oxydation superficielle pulvérulente.



Fig. 17 : Échelle d'oxydation

Ainsi, pour une préparation par décapage UHP selon la NFT 35520, on précise le degré de soin DHP et le degré d'oxydation flash admissible OF.

Selon l'ISO 8501.4, le DHP est exprimé en Wa (Wa1, Wa2, Wa2,5) et l'oxydation flash par L, M, H (Light Medium, Heavy).

4.7.2.1.3.2 Rugosité

La plupart des peintures adhèrent au substrat métallique par accrochage physique. Pour ce faire un certain profil d'ancrage est nécessaire : c'est la notion de rugosité.

Auparavant mesurée au moyen d'équipements, la rugosité est appréciée aujourd'hui selon l'ISO 8503.1 et 2 au moyen d'un comparateur visiotactile, soit S pour sphérique (grenaille ronde) ou G pour grit, angulaire (abrasif angulaire).

Il est couramment requis un minimum de rugosité moyen G pour un accrochage optimal ; il est important de se conformer aux recommandations du fabricant du système de peinture qui peut préciser une exigence différente.



Photo 32 : Évaluation de la rugosité après décapage
• ISO 8503-2 : Emploi d'un comparateur Viso-Tactile : Chaque comparateur est découpé en quatre cadrans de valeur connue (le Ry5) (document internet)

4.7.2.1.3.3 Autres critères de qualité de la surface préparée

D'autres critères peuvent être requis afin de s'assurer de la performance du système de protection anticorrosion :

- taux de contaminants solubles à la surface du support : il est couramment mesurée par test de Bresle (contaminations solubles globales) selon l'ISO 8502.6 et 9. Le niveau de pollution saline résiduel à la surface du support est particulièrement sensible dans le cas de systèmes de peintures pour des surfaces en immersion car celle-ci peut être à l'origine de cloquage osmotique ;
- évaluation de la poussière résiduelle à la surface du substrat métalliques selon l'ISO 8502.3. Ce test est réalisé au moyen d'un ruban adhésif plaqué à la surface du substrat à analyser. La quantité et la taille des poussières sont ensuite évaluées en comparaison des clichés de référence. Une exigence de quantité 2 et de taille 2 (particules à peine visibles à l'œil nu, tailles de particules comprises entre 50 et 100 µm maximum) est souvent exigée.

À noter que l'OHGPI publie un guide référencé « Guide 2000 » qui répertorie de façon très synthétique et illustré tous les types et toutes les qualités de préparation de surface référencées en renvoyant aux différentes normes existantes et/ou en publiant des clichés de référence. Nous vous invitons à consulter ce guide qui est très pratique.

4.7.2.2 Systèmes de peintures

La norme ISO 12944.5 écrit un cadre de référence pour la définition des systèmes de peintures en fonction :

- de la catégorie de corrosivité (à l'exception des classes CX et Im4),
- de la nature des peintures et système de peintures,
- de la nature du substrat (acier, acier galvanisé, acier métallisé) et degrés de préparation de surface,
- de la durabilité attendue.

Attention : Seul le degré de préparation de surface Sa2.5 sur acier est pris en compte dans la norme. Pour les qualités alternatives il appartiendra à l'entreprise et au fabricant de peinture de démontrer la performance du système de peinture conformément, à minima, aux essais de performance en laboratoire précisés dans la partie 6 de la norme ISO 12944.

Les systèmes de peintures sont composés des différents types de peintures suivantes :

- les alkydes (AK) : monocomposant en phase solvant,
- les acryliques (AY) : monocomposant en phase solvant ou aqueuse,
- les époxydes ou époxys (EP) : bicomposant,
- les polyuréthanes (PU) : mono ou bicomposant,
- les éthyle silicate (ESI) : monocomposant,
- les polyaspartiques (PAS) : bicomposant,
- les polysiloxanes (PS) : mono ou bicomposant,
- les systèmes à base de primaire riche en zinc ZN (R), dans le cas où la teneur en zinc est supérieure à 80% en masse du feuillet de primaire.

Le système est défini par :

- un primaire,
- un intermédiaire,
- une finition.



Photo 33 : poste peinture airless © Prezioso Linjebygg

Cependant, selon le type de peinture, la catégorie de corrosivité, la durabilité escomptée, le système peut se réduire à une seule couche qui intègre dès lors l'ensemble des propriétés requises. Le tableau ci-après résume à la fois le nombre de couches à minima requis mais également l'épaisseur à minima requise :

Tableau B.2 : Résumé du nombre minimal de couches (NMC) et de la NDFT minimale du système de peinture en fonction de la durabilité et de la catégorie de corrosivité de subjectiles en acier décapés par projection d'abrasif

Durabilité		Limitée (L)			Moyenne (M)			Haute (H)			Très haute (VH)		
		Zn (R)	Divers		Zn (R)	Divers		Zn (R)	Divers		Zn (R)	Divers	
Type de primaire		Zn (R)	EP, PU, PU	AK, AY	Zn (R)	EP, PU, PU	AK, AY	Zn (R)	EP, PU, PU	AK, AY	Zn (R)	EP, PU, PU	AK, AY
Base de liant du primaire		ESI, EP, PU	EP, PU, ESI	AK, AY	ESI, EP, PU	EP, PU, ESI	AK, AY	ESI, EP, PU	EP, PU, ESI	AK, AY	ESI, EP, PU	EP, PU, ESI	AK, AY
Base de liant des couches suivantes		EP, PU, AY	EP, PU, AY	AK, AY	EP, PU, AY	EP, PU, AY	AK, AY	EP, PU, AY	EP, PU, AY	AK, AY	EP, PU, AY	EP, PU, AY	AK, AY
C2	NMC	*			-	-	1	1	1	1	2	2	2
	NDFT	*			-	-	100	60	120	160	160	180	200
C3	NMC	-	-	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
	NDFT	-	-	100	60	120	160	160	180	200	200	240	260
C4	NMC	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	2	-
	NDFT	60	120	160	160	180	200	200	240	260	260	300	-
C5	NMC	2	2	-	2	2	-	3	2	-	3	3	-
	NDFT	160	180	-	200	240	-	260	300	-	320	360	-

NOTE 1 : Les abréviations sont décrites dans le tableau A.1. La base du liant du primaire est recommandée pour des couches uniques.

NOTE 2 : Outre la technologie à base de polyuréthane, d'autres technologies de peintures peuvent être adaptées, par exemple les polysiloxanes, les polyaspartiques, et les polymères fluorés [copolymères fluoroéthylène/éther vinylique (FEVE)]

* Si une peinture est souhaitée, utiliser un système de catégorie de corrosivité ou de durabilité supérieur, par exemple C2 élevée ou C3 moyenne.

La norme précise ensuite dans l'annexe C, qui est informative, les exigences d'épaisseurs par couche selon leur nature et la nature du système de peinture dans sa globalité pour chaque nature de support (acier, acier galvanisé, acier métallisé) et par catégorie de corrosivité, par exemple pour le C3 :

Tableau C3 : Système de peinture pour l'acier pour la catégorie de corrosivité C3

Système n°	Couche primaire				Couche(s) suivante(s)	Système de peinture		Durabilité			
	Type de liant	Type de primaire	Nombre de couches	NDFT en µm		Type de liant	Nombre total de couches	NDFT en µm	L	M	H
C3.01	AK, AY	Divers	1	de 80 à 100	AK, AY	1-2	100	X			
C3.02	AK, AY	Divers	1	de 60 à 160	AK, AY	1-2	160	X	X		
C3.03	AK, AY	Divers	1	de 60 à 80	AK, AY	2-3	200	X	X	X	
C3.04	AK, AY	Divers	1	de 60 à 80	AK, AY	2-4	260	X	X	X	X
C3.05	EP, PU, ESI	Divers	1	de 80 à 120	EP, PU, AY	1-2	120	X	X		
C3.06	EP, PU, ESI	Divers	1	de 80 à 160	EP, PU, AY	2	180	X	X	X	
C3.07	EP, PU, ESI	Divers	1	de 80 à 160	EP, PU, AY	2-3	240	X	X	X	X
C3.08	EP, PU, ESI	Zn (R)	1	60	-	1	60	X	X		
C3.09	EP, PU, ESI	Zn (R)	1	de 60 à 80	EP, PU, AY	2	160	X	X	X	
C3.10	EP, PU, ESI	Zn (R)	1	de 60 à 80	EP, PU, AY	2-3	200	X	X	X	X

NOTE 1 : Pour consulter les abréviations, voir le Tableau A.1
 NOTE 2 : Outre la technologie à base de polyuréthane, d'autres technologies de peintures peuvent être adaptées, par exemple les polysiloscans, les polyaspartiques et les polymères fissurés [(copolymère fluoroéthylène/éther vinylique (FEVE))]

4.7.3 SYSTÈMES DE PEINTURES ET MÉTHODES ALTERNATIVES

Comme nous avons pu le voir, la préparation de surface par projection d'abrasif à sec constitue une « référence » à partir de laquelle sont qualifiés tous les systèmes de peintures.

Pourquoi cette exigence unique de qualité de préparation de surface Sa 2.5 et rugosité à minima moyen G ?

Comme on a pu le voir, la norme précise également d'autres modes de préparation de surface :

- décapage abrasif par voie humide,
- décapage manuel et mécanique,
- décapage UHP,
- etc.

On peut compléter ces techniques par d'autres méthodes qui se déploient de plus en plus, au rang desquelles le décapage par induction, le décapage laser, le décapage cryogénique par exemple.

Ces différents modes de préparations de surfaces sont « alternatifs » car ils ne permettent pas d'atteindre le même résultat. Le décapage humide peut permettre d'atteindre le degré de soin Sa 2.5, mais avec une oxydation flash instantanée. L'élimination de cette oxydation flash est

possible, mais quelle est la part d'oxyde résiduelle sur le support de façon objective ? De même, le décapage manuel et mécanique permet au mieux d'obtenir un St3, un décapage UHP un DHP4 mais, là encore, avec un certain degré d'oxydation flash ; dès lors il n'est pas possible de définir d'équivalence (les systèmes de peintures sont certifiés avec une préparation de surface Sa 2 ½ ou UHP Wa1, 2, et 2 ½).

Voilà pourquoi les systèmes de peintures sont qualifiés sur une qualité de préparation de surface Sa 2 ½ et une rugosité moyenne G.

Malgré tout, l'environnement de l'ouvrage, les contraintes de mise en œuvre, l'importance des travaux, les enjeux financiers et bien d'autres critères rendent les préparations de surfaces alternatives pour le moins intéressantes, si ce n'est parfois l'unique solution possible.

Nous encourageons dès lors à qualifier le système de peinture envisagé sur le mode et la qualité de préparation de surface retenus selon les termes de la norme ISO 12944.6 afin que la performance du système de peinture soit à minima démontrée.

Il conviendra également dans ce cas de redoubler de vigilance lors des essais de convenance pour vérifier la pleine performance du système retenu.

Pour les systèmes de peintures, il faut noter que le cadre fixé par l'ISO 12944 doit être pris comme un guide et non pas comme une restriction à des systèmes innovants dont la performance serait démontrée avec moins de couches et/ou moins d'épaisseur sèche. Comme pour les préparations de surface alternatives, il est tout à fait possible de qualifier des types de peintures différents, un nombre de couches différent, des épaisseurs différentes. Il suffit de réaliser des tests conformément au point 6 de l'ISO 12944.6.

4.7.4

**TRAITEMENT DES POINTS SINGULIERS
OU SURFACES PARTICULIÈRES**

En référence à l'ISO 12944.3 « Conception et dispositions constructives », il n'est pas rare en maintenance de devoir trouver des solutions spécifiques pour palier l'existence de certaines zones « non conformes » au titre de la norme mais pour lesquelles il convient de faire quelque chose plutôt que de ne rien faire.

Citons notamment les entrefers et autres interstices dus aux choix d'assemblage initiaux au niveau desquels l'inaccessibilité des surfaces à traiter rend l'intervention par des systèmes de peintures et méthodes de traitement traditionnels peu efficaces. Après nettoyage/décapage de ces zones sensibles au mieux de ce qu'il est possible de faire, des solutions d'injection de résine ou l'application de mastics compatibles avec le système de peinture utilisé sont couramment mis en œuvre.

Ces usages étant palliatifs, il est difficile de demander tout engagement de garantie sur de telles surfaces théoriquement exclues selon les règles de qualité en vigueur.

Notons également d'autres surfaces tels que les câbles des ponts à hauban dont, dans bien des cas, la présence de brai de houille chargé en fibre d'amiante nécessite à la fois des conditions d'intervention très contraignante et des choix de système de peinture adapté.

Pour toutes ces surfaces, il est nécessaire que la maîtrise d'œuvre conduise les études préalables nécessaires pour la définition de solutions adaptées au cas par cas.



Photo 34 : Pont du Vecchio, vue du masticage des zones présentant des interstices entre fers © Lassarat

En résumé, à partir du bilan de la visite de reconnaissance, des diagnostics, des essais de décapage préalables, des différentes contraintes et critères à prendre en compte décrits aux paragraphes 4.2 à 4.6, des systèmes de peintures et méthodes possibles en respect des exigences de qualification, paramètres et enjeux, il est possible ensuite de construire un dossier de consultation qui tient compte de l'ensemble de ces éléments.

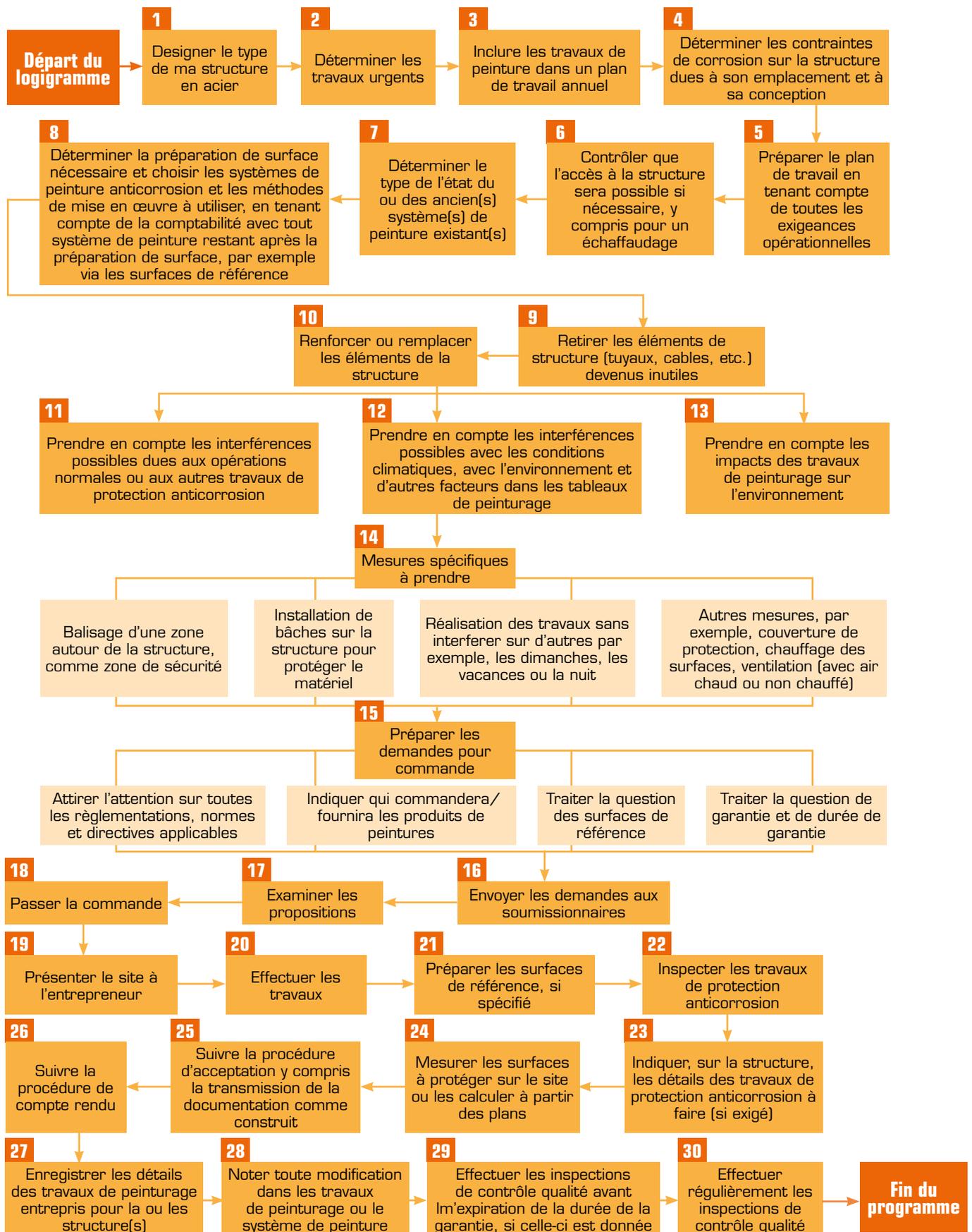
Pour ce faire, la norme ISO 12944.8 « **Développement de spécifications pour les travaux neufs et de maintenance** » constitue un outil d'aide à la rédaction d'un cahier des charges de consultation tout à fait utile et pertinent.

Nous noterons notamment les points de vigilance suivants :

- veiller à bien qualifier tous les paramètres techniques, notamment au moyen des tableaux et check list joints à la norme,
- veiller à bien définir des surfaces de références autant que nécessaire. Elles permettront à tout moment de vérifier le niveau de performance du revêtement une fois le travail achevé de façon entendue entre toutes les parties.

La bibliographie citée à la fin de cet article constitue une base normative de référence complète pour les travaux de peinture anticorrosion.

Par ailleurs, en conclusion de l'ensemble de ce paragraphe de prescription, le logigramme joint en annexe D pour les travaux de maintenance constitue une référence intéressante pour l'entité en charge du processus de consultation :



5

Mise en œuvre

- 5.1** État des lieux avant travaux
- 5.2** Réception de l'ouvrage avant démarrage des travaux
- 5.3** Installation de chantier
- 5.4** Mise en place des accès / confinements / système aéraulique et traitement de l'air
- 5.5** Préparation de surface
- 5.6** Produits de peinture
- 5.7** Application des peintures
- 5.8** Habilitation / qualification / certification du personnel
- 5.9** Contrôle qualité extérieur
- 5.10** Essais de conformance
- 5.11** Gestion des non-conformités

Le marché ayant été attribué, quels sont désormais les points de vigilance et de surveillance à avoir et qui feront que le projet se déroulera avec un minimum d'aléas et en veillant au niveau de performance attendu ?

Nous nous attacherons dans ce paragraphe à développer les points spécifiques uniquement aux travaux de peinture industrielle sur ouvrages métalliques, sans reprendre des points plus transverses liés à l'organisation et à l'exécution d'un projet en général.

5.1

État des lieux avant travaux

Avant même d'accéder à l'ouvrage, il est bien souvent utile de procéder à des constats en présence d'un huissier afin d'éviter tout litige en cours de réalisation ou au moment de la livraison. Notons par exemple les cas particuliers suivants :

- intervention en zone naturelle sensible, voire classée Natura 2000. En cas de nécessité, par exemple de création de voie d'accès avec remise en état ensuite et/ou de préservation de certaines plantes ou d'espèces faunistiques endémiques, il peut être utile de faire constater par huissier exactement dans quel état les lieux ont été trouvés avant transfert de responsabilité ;
- dans le cas d'un ouvrage contaminé par des CMR (plomb et/ou amiante), il est indispensable de faire réaliser des prélèvements par un laboratoire certifié (COFRAC) dans l'environnement de l'ouvrage susceptible d'être contaminé par les travaux en présence d'un huissier. Ce point O permettra de démontrer l'éventuel « bruit de fond » (présence d'ores et déjà d'une certaine contamination) avant démarrage des opérations. Il est préférable que la définition des zones à prélever soit partagée par les différentes parties prenantes ;
- accès via des zones privées. Il n'est pas rare que les travaux interviennent dans des zones où il est nécessaire pour accéder de passer par des terrains privés. Dès lors, il est judicieux de procéder à la signature d'une Autorisation d'Occupation Temporaire (AOT) pour l'intervention et de faire réaliser un constat d'huissier afin de prévenir tout litige en fin de chantier après remise en état éventuelle.

Afin d'éviter toute situation conflictuelle en cours de réalisation, il est recommandé de réaliser une réception contradictoire de l'ouvrage avant démarrage des travaux en présence du maître d'ouvrage ou de son représentant mandaté. Cette réception doit porter à minima sur les critères suivants :

- vérification des dispositions constructives conformément à la Norme ISO 12944.3 ;
- vérification de l'état de surface des substrats métalliques ou des systèmes peintures en place conformément aux éléments précisés au marché (selon la série de norme ISO 4628 et selon l'ISO 12944.4) ;

Même si les diagnostics préalables ne les ont pas constatées, il est parfois possible, lors de la réalisation de la réception de l'ouvrage avant travaux, que certaines « fragilités » soit détectées au niveau de l'ouvrage.

Il est alors nécessaire pour le maître d'ouvrage d'examiner la nécessité de réparer ou renforcer la structure aux endroits identifiés avant démarrage des opérations.

Un PV de réception avant démarrage des travaux devra être signé par les différentes parties prenantes.

Elle doit se faire conformément au plan d'installation remis à l'offre et validée contractuellement. L'emprise doit être conforme et les dispositions en matière de prévention des risques d'hygiène, de sécurité et d'environnement correctement en place.

On veillera tout particulièrement à l'implantation des unités de décapage, de récupération de déchets, de filtration de l'air et d'extraction/ventilation, dont les distances entre la zone d'implantation et les zones de travail doivent être conformes aux dispositions définies pour en assurer pleinement la performance et le respect des exigences, notamment de sécurité.

On veillera au stockage des peintures conformément aux exigences thermiques et hygrométriques du fabricant et à la réglementation en matière de sécurité et d'hygiène, ainsi qu'au stockage des déchets et notamment à leur tri.

Dans le cas spécifique d'intervention en présence de produits CMR (plomb, amiante par exemple), l'installation nécessite des dispositions très spécifiques ; l'entreprise doit s'y conformer et procéder aux essais réglementaires (tests fumées, prélèvements en situation d'opération, etc.), le cas échéant au moyen d'une entreprise qualifiée.



Photo 35 : Installation © Lassarat

Le schéma industriel d'intervention doit préciser en détail les moyens d'accès, de confinement, de récupération des déchets (mise en place de système d'aspiration), de traitement de l'air (filtration), de chauffage/déshydratation, d'extraction/ventilation, l'ensemble intégré à un bilan aéraulique.

Les échafaudages, qu'ils soient sur pieds ou suspendus, sont une nécessité dans bien des cas, notamment dans le cas d'un décapage primaire en présence de produits CMR (plomb et/ou amiante). Dans ce cas, l'entreprise qui réalise les travaux doit être qualifiée. Cette dernière devra monter l'échafaudage ainsi que les confinements conformément à la note de calcul (surcharge, prise au vent) et aux schémas de montage produits avant démarrage de cette phase de montage. Après réception réalisée par l'entreprise en charge des travaux de montage, l'ensemble des entreprises utilisatrices devra vérifier que l'ouvrage correspond bien à leurs besoins. Cette vérification est réalisée par du personnel formé et habilité par chaque entreprise.

La vérification devra être réalisée et formalisée tous les jours avant chaque nouvelle utilisation par chaque utilisateur. Les éventuelles modifications pourront être réalisées uniquement par l'entreprise ayant effectuée le montage. Tout utilisateur souhaitant une modification devra formuler sa demande auprès de l'entreprise responsable du lot échafaudage qui verra ensuite avec l'entreprise en charge des travaux pour prendre en compte cette demande.



Photo 36 : Pont d'Aquitaine confinement © Prezioso Linjebygg

Aucun accès n'est autorisé sur l'échafaudage :

- en phase de montage,
- lors des phases de modifications,
- avant réception,
- tous les jours avant vérification par la personne compétente de son entreprise (utilisatrice), qui en autorise l'accès ensuite.

Dans le cas spécifique des travaux de peinture industrielle, le chantier est particulièrement évolutif et la phase de décapage par projection d'abrasifs à sec (si c'est la méthode retenue) génère une quantité de déchets et donc une surcharge potentielle sur l'échafaudage qu'il convient de bien gérer. Ainsi, en connaissance de la surcharge possible par plancher, il est possible d'en déduire le tonnage maximum que peut supporter l'échafaudage, en prenant bien entendu une marge de sécurité ; il conviendra, selon le nombre de sableurs et le débit horaire d'abrasif par poste de travail, de calculer le temps limite de décapage à partir duquel il est obligatoire d'évacuer les déchets de décapage.

L'applicateur en charge des travaux doit faire ce bilan matière et préciser au maître d'ouvrage ou à son ou ses représentants, l'organisation de travail qui garantit la pleine sécurité de l'échafaudage.

À noter que la capacité structurelle limite de l'ouvrage en lui-même aura déjà été confrontée au résultat de la note de calcul de l'échafaudage qui intègre les besoins de chaque utilisateur dans leurs conditions limites. Il appartient au maître d'ouvrage de mettre en place les dispositions nécessaires pour vérifier que tous ces points soient respectés.

Selon la nature des anciens fonds à décapier (avec présence de CMR ou pas), le fait de réaliser un décapage primaire ou secondaire, le mode de préparation de surface retenu, etc., un confinement sera requis ou pas pour l'exécution des travaux (souvent après démonstration que les dispositions proposées respectent la réglementation et notamment le code du travail) et, si ce confinement est requis, il pourra être simple peau ou double peau.

Dans le cas particulier du décapage secondaire avec aspiration à la source, par exemple des poussières, l'ensemble des dispositions d'accès et de confinement peut être pensé de façon moins contraignante. En revanche, dans le cas de la mise en place d'un confinement visant à contenir les émissions de poussières avec présence ou pas de composés CMR, plusieurs risques sont à maîtriser :

- risque CMR lorsqu'il y en a (exemple amiante et/ou plomb) : ce risque est géré comme on l'a vu par un ensemble de textes qui précise le niveau d'exposition autorisé du personnel, les dispositifs de traitement de l'air dans la zone de confinement et niveau autorisé vers l'extérieur, ainsi que les dispositifs de récupération et de traitement des déchets ;
- risque d'explosion : toute poussière de nature organique ou métallique ainsi que les COV peuvent présenter un risque d'explosion en milieu confiné et en présence d'une source d'ignition. C'est pourquoi il est important de considérer la LIE de ce mélange de poussières et de celui des COV en phase d'application de peintures et de mettre en place des moyens d'extractions afin de s'assurer d'être en tout point inférieur à la LIE avec un facteur 10 de sécurité ;
- risque de contamination de l'environnement : selon la loi sur l'air, l'eau, le sol, il est impératif de mettre en place les dispositions adaptées de récupération et de traitements des poussières et des COV émises lors des opérations, selon leur niveau de toxicité avéré. Ces moyens de filtration sont à adapter au cas par cas (selon la nature et quantité de poussières et de même pour les COV) et des prélèvements doivent permettre de s'assurer de leur performance en sortie de filtration. On veillera à l'étanchéité des planchers afin qu'il n'y ait pas de contamination possible par gravité (sols ou eau si présence d'un cours d'eau).



Photo 37 : Pont du Vecchio, vue du confinement et des sas permettant l'accès à la zone de travail © Lassarat

Par ailleurs, pour des raisons de qualité de la prestation, il est dans bien des cas requis de mettre en place un système de chauffage ou de climatisation et/ou de déshydratation de l'air afin de maintenir dans le confinement les conditions exigées (température et hygrométrie) tant pour préserver le degré de soin requis à la préparation de surface que pour permettre une application et un séchage/une réticulation des différentes couches de peintures conformément aux données du fabricant.

Par conséquent, en tenant compte de tous ces enjeux et exigences, on peut comprendre qu'un bilan aéraulique détaillé avec schéma d'implantation s'impose. Le maître d'ouvrage devrait exiger ce détail pour chaque phase d'intervention.

5.5.1 NETTOYAGE / DÉGRAISSAGE PRÉLIMINAIRE

Afin de retirer de la surface les éventuelles pollutions qui auraient pu se déposer sur les structures au fil du temps, un nettoyage à l'eau sous haute pression peut être nécessaire avec ou sans détergents, eau froide ou eau chaude selon le choix de l'entreprise qui réalise les travaux. À noter que l'eau chaude a un pouvoir dépolluant bien supérieur. Cette opération préliminaire permet de disposer d'une surface exempte de pollutions qui pourraient être préjudiciables pour la suite des travaux. A noter, qu'en cas d'utilisation de détergents, il est important d'utiliser des produits biodégradables si les effluents ne peuvent être entièrement récupérés.

5.5.2 PRÉPARATION DE SURFACE PRIMAIRE ET/OU SECONDAIRE

La préparation de surface, primaire ou secondaire, selon le zonage de l'ouvrage, doit être réalisée conformément aux dispositions du marché tant en termes de méthode, que de moyens engagés et de résultat à obtenir (Cf 4.7.2.1).

5.5.3 RÉCEPTION DE LA SURFACE DÉCAPÉE

L'entreprise en charge des travaux devra réaliser après chaque phase de préparation de surface et juste avant l'application du primaire, la réception des surfaces préparées en respect des critères de qualité définis au marché à savoir, en théorie :

- le respect de l'étendue des travaux (cas notamment d'une préparation secondaire),
- le degré de soin selon les termes de l'ISO 8501,
- la rugosité selon les termes de l'ISO 8503,
- la quantité de poussières résiduelles selon l'ISO 8502.3,
- la quantité de contaminations solubles selon l'ISO 8502.6 et 9.

Dans bien des cas, cette étape constitue un point d'arrêt sollicité par le maître d'ouvrage et/ou par la maîtrise d'œuvre. Dans ce cas, le maître d'ouvrage ou son représentant et/ou la maîtrise d'œuvre devront être convoqués à chaque réception par l'entreprise et les travaux ne pourront pas continuer sans validation de cette étape de réception.

5.6.1 STOCKAGE

Un thermo-hygromètre enregistreur devra être installé dans le container ou local de stockage afin de démontrer que les produits restent dans les conditions limites de stockage fixés par le fabricant.

5.6.2 CONTRÔLE DES PEINTURES À RÉCEPTION ET AVANT APPLICATION

Les lots de peintures et solvants sont identifiés et affectés.

Une fiche de renseignement des peintures et diluants trace les caractéristiques de conformité de chaque lot utilisé.

Les emballages doivent être intègres, sans défaut apparent au moment de leur livraison, les étiquettes doivent être conformes à la réglementation en vigueur.

Les numéros de lot, les DLUO sont contrôlés avant applications.



Photo 38 : Pont du Vecchio, vue montrant le travail de pré-touche, à la brosse, des zones difficiles d'accès au pistolet sans air et présentant des singularités © Lassarat

5.6.3 PRÉPARATION DES PEINTURES AVANT APPLICATION

Avant toute opération, il est nécessaire de prendre connaissance de la Fiche Technique (FT) et des Fiches de Données Sécurité (FDS) des produits, consignées dans le dossier de suivi qualité du chantier et disponibles. Les consignes de la FT doivent être suivies pendant la préparation des produits et leur application. Il faut vérifier la présence dans le dossier de contrôle des certificats d'identifications rapides (CIR) des produits utilisés et la conformité des valeurs indiquées sur le document.

À l'ouverture du (ou des) pot(s), les produits seront homogénéisés de façon mécanique. Au moment de l'ouverture de chaque emballage, une première vérification visuelle est réalisée, puis après mélange de chaque composant (A et B dans le cas d'un bi-composant). Tout aspect anormal (teinte, sédimentation, grumeaux, mousse, odeur dans le cas d'un produit aqueux, etc.) doit générer l'ouverture d'une fiche de non-conformité et le lot doit être écarté. Des investigations sont dès lors lancées auprès du fabricant.

Dans le cas des bi ou tri-composants, les proportions de mélange devront être en accord avec la FT. Un temps de mûrissement peut être requis (s'en référer à la FT). La durée de vie en pot après mélange devra être respectée en fonction de la température d'intervention.

Pour ajuster la viscosité, la dilution est autorisée dans les limites données par la FT des produits.

Dans le cas des peintures sans solvant et en fonction des températures ambiantes et du support, un réchauffeur pourra être utilisé.

> Avant et pendant l'application, il conviendra de vérifier:

- l'adéquation entre le ou les produits utilisés et ceux demandés par la spécification,
- l'absence de peau et de sédimentation irréversible,
- l'aptitude à l'emploi dans les conditions prévalant sur l'ouvrage.

5.7.1 PRÉ-TOUCHES/POST-TOUCHES

Des pré-touches à la brosse avant application de chaque couche du système seront réalisées sur arêtes, soudures et zones « difficiles » d'accès.

5.7.2 CHOIX DES MOYENS D'APPLICATION

Le matériel d'application doit être propre.

Le mode d'application sera choisi en accord avec la FT des peintures et en fonction de la localisation sur l'ouvrage. Les méthodes d'application pourront être manuelles (brosse, rouleau) :



Fig. 18 : Brosses et rouleaux

ou par pulvérisation au pistolet conventionnel ou sans air « Airless » :



Fig. 19 : Pistolets et airless © Linjebygg

Les applications à la brosse seront réservées pour l'application dans les endroits difficiles d'accès et les coins, les boulons, les angles.

Veiller à ce que le moyen de mise en œuvre utilisé entre dans le champ de qualification du système de peinture.

5.7.3 CONTRÔLES EN COURS D'APPLICATION

Le contrôle en cours d'application est le contrôle intérieur réalisé par l'entreprise.

Le contrôle Intérieur (entreprise) comprend 2 niveaux :

- **le contrôle interne** (contrôle par le chantier de ses propres tâches). C'est une obligation contractuelle de l'entreprise ; il est réalisé sous l'autorité du responsable de chantier dans les conditions définies par le PAQ. Il s'applique aux choix et à la fourniture des matériaux, produits et composants, aux matériels utilisés, aux moyens et conditions de transport, de stockage, aux conditions de mise en œuvre ;
- **le contrôle externe** est réalisé par un responsable indépendant de la direction du chantier et directement rattaché à la direction qualité de l'entreprise. Il peut également être réalisé par un prestataire externe pour le compte de la direction de l'entreprise. Ce contrôle a pour principal objectif de s'assurer que le contrôle interne est correctement mis en œuvre et d'apporter assistance et conseils. Il détermine en début de chantier les points d'arrêts et les points critiques qu'il juge nécessaire.



Photo 39 : Vue de l'application au pistolet sans air de la couche de primaire © Lassarat

> **En cours d'application, les règles suivantes devront être respectées :**

- humidité relative (HR) < 85 % ou en accord avec les fiches techniques (FT) de produits,
- température du substrat > point de rosée + 3°C,
- température du substrat < température maximale du substrat indiquée par la FT,
- température ambiante en accord avec les températures minimale et maximale fixées par les FT.



Photo 40 : Kit d'inspection : jauge de rugosité, mesure de point de rosée, peigne pour film humide, jauge d'épaisseur de revêtement et logiciel de gestion de données ©Elcomer

Ces quatre paramètres sont cruciaux dans la réalisation de la peinture anticorrosion. En cas de non-respect, des défauts pourraient apparaître dans le temps sur la peinture. La performance est également altérée par un non-respect des paramètres d'application.

Un enregistrement journalier des conditions climatiques avec contrôle avant, pendant et après l'application sera réalisé. L'idéal étant d'avoir un enregistreur permanent dans la zone de travail.

La première couche du système de peinture sera appliquée sur une surface propre et préparée conformément aux prescriptions.

Les délais de recouvrement entre les différentes couches du système ainsi que le délai entre l'application de la dernière couche et la mise en service devront être respectés, conformément aux prescriptions de fiches techniques des produits.

L'épaisseur humide sera contrôlée régulièrement en cours d'application dans le cadre d'un autocontrôle réalisé par l'opérateur. Cette vérification sera réalisée à l'aide d'un peigne humide (ISO 2808).

Attention : il est dans bien des cas requis, dans les fiches techniques du fabricant, des conditions spécifiques à respecter en phase de séchage afin que le système peinture atteigne son niveau de performance maximal requis.

Cette section n'a pas pour vocation de passer en revue toutes les obligations en la matière, elle se limite à préciser les obligations et pratiques spécifiques aux activités de protection anticorrosion par revêtement (peinture et métallisation). Nous ne traitons pas également de la galvanisation, cette dernière étant réalisée par des entreprises spécialisées dont le métier est bien à part. De même pour les accès, que ce soit pour les activités de montage/démontage d'échafaudages, mise en place et utilisation de nacelles, travaux sur cordes : chaque activité est soumise à un ensemble d'exigences réglementaires et normatives y compris concernant tant l'entreprise que son personnel par domaine de compétences et responsabilités.

Avant de préciser les exigences et pratiques concernant la peinture industrielle, un rappel de quelques définitions s'impose :

- **qualification** : validation d'un niveau de compétences théoriques et ou pratiques acquis par le biais d'une formation générale ou spécifique ainsi que par une expérience vérifiée et validée dans le domaine technique du périmètre de la qualification. Cette qualification doit être validée par une ou des épreuves objectives qui sanctionnent le niveau de compétence acquis. Un cahier des charges précis doit fixer le cadre d'exigences pour l'obtention de cette qualification ;
- **certification** : à la différence d'une qualification, la certification est attribuée à partir d'un cahier des charges précis (souvent encadré par une norme) par un organisme de certification tierce partie. Elle garantit la parfaite indépendance de décision dans le processus d'évaluation des candidats. La certification a donc une valeur toute particulière ;
- **l'habilitation** : cette dernière est délivrée par l'employeur à son employé à partir de prérequis spécifiques (formation/qualification/certification spécifiques, visite médicales, aptitudes spécifiques, etc.). Elle engage la responsabilité de l'employeur dans la qualification d'une personne à la réalisation d'une tâche précise.

Afin d'assurer la qualité de mise en œuvre des revêtements et la sécurité du personnel intervenant, différentes qualifications/certifications existent. La qualification du personnel intervenant est parfois obligatoire, notamment pour des raisons de sécurité, ou souhaitable dans d'autres cas, notamment sur les aspects de maîtrise technique.

5.8.1 QUALIFICATIONS À CARACTÈRE « OBLIGATOIRE »

Un certain nombre de technologies nécessite une qualification spécifique du personnel afin que les conditions d'hygiène et de sécurité entourant l'emploi de l'équipement soient parfaitement maîtrisées.

On peut citer notamment :

- l'emploi d'équipements « Airless », dont les pressions de travail dépassent largement les 250 bars avec des jets de peinture extrêmement coupant qui peuvent générer de graves lésions au personnel qui emploie ces équipements ;
- l'emploi de pompes de décapage à l'eau UHP. Les pressions de travail dépassent largement les 2000 bars. Des formations spécifiques à la sécurité d'emploi de ces équipements existent (notamment auprès de l'organisme S3C) ;

- l'emploi d'équipements de métallisation dont le risque d'explosion est avéré avec certains équipements à flamme ;
- etc.

Cette liste est non exhaustive et nous invitons l'ensemble des parties prenantes à bien identifier, au travers de l'analyse de risque spécifique au projet, les risques spécifiques pouvant être générés par l'emploi de technologies et/ou d'équipements spécifiques afin d'anticiper au maximum les éventuelles qualifications particulières à apporter au personnel intervenant.

5.8.2 QUALIFICATIONS / CERTIFICATIONS TECHNIQUES

Un certain nombre de qualifications et de certifications existent au niveau de la profession afin de s'assurer du niveau de maîtrise de chaque intervenant dans le périmètre de tâches qui le concerne. En lien avec le point précédent, il existe toujours un volet hygiène/sécurité dans les éventuelles formations préalables requises ainsi que dans les examens pour l'obtention des qualifications et certifications.

L'organisme tierce partie, accrédité COFRAC, qui fait référence en France pour la certification du personnel intervenant dans la protection anticorrosion par revêtement est l'ACQPA (Association pour la Qualification et la Certification en Peinture Anticorrosion).

L'ACQPA est composé de l'ensemble des acteurs de la profession répartis en collègues :

- A : clients (utilisateurs et prescripteurs),
- B : fabricants de peintures,
- C : applicateurs,
- D : centres et organismes techniques.

La certification des compétences et qualification du personnel couvre :

- **les opérateurs** des entreprises d'application de peinture dans le domaine de l'acier et du béton, intervenant dans la réalisation et la supervision directe des travaux de mise en œuvre des peintures. La certification s'appuie sur la norme NFT 30 609-1 et sur le règlement particulier défini par l'ACQPA ;
- **les inspecteurs**, spécialisés en ingénierie de la protection anticorrosion par traitement de surface et mise en peinture, assurant les missions de contrôles extérieurs des travaux et de conseils. Cette certification a été mise en place par rapprochement avec le FROSIO (Organisme Norvégien délivrant des certifications d'inspecteurs) : les certifications ainsi obtenues en France sont labellisées ACQPA-FROSIO.

Pour les opérateurs, on considère 3 niveaux de compétences distinctes :

> **Niveau 1 : l'opérateur exécutant**

L'opérateur niveau 1 est la personne qui exécute les opérations :

- a) de préparation de surface ;
- b) d'application de revêtements à l'aide d'une brosse, rouleau ou pistolet.



Photo 41 : poste peinture au rouleau © Lassarat

> **Niveau 2 : le chef d'équipe ou de chantier**

Le responsable de chantier est la personne qui a en charge l'exécution des travaux et en assure le contrôle interne ; il est responsable de la conformité de ceux-ci vis-à-vis des prescriptions techniques. Il dispose au moins des mêmes compétences techniques que l'opérateur de niveau 1.

> **Niveau 3 : le conducteur de travaux**

C'est la personne qui est en charge au sein de l'entreprise, d'après le dossier fourni par le chef d'agence ou de l'entreprise, de la réalisation du (ou des) chantier(s) au travers de :

- la conformité des travaux au cahier des charges,
- la qualité des travaux, la sécurité et le respect de l'environnement.

Le conducteur de travaux ACQPA Niveau 3 possède la compétence technique pour réaliser les opérations de contrôle externe.

Pour les opérateurs niveau 1 et 2, les options suivantes existent :

- option a : préparation de surface,
- option b : application de peinture au pistolet,
- option c : métallisation (conformément à la norme NF EN 22 063),
- option d : revêtements spéciaux (ex silicate d'éthyle zinc...),
- option e : application à la brosse et au rouleau,
- option f : décapage à l'eau UHP (Ultra Haute Pression),
- option g : application de peinture sur support béton.

À noter que, pour chaque niveau, la certification peut être renouvelée en fin de période de validité après validation par un comité des exigences requises (sur dossier et/ou examen supplémentaire selon le niveau et le cycle de renouvellement).

En France, l'ACQPA est le seul organisme certificateur. La valeur de cette certification est donc toute particulière.

En revanche, il existe de nombreuses formations qualifiantes sur des bases similaires (ex pour la métallisation sur la base de la Norme ISO EN 22 063) ou complémentaire, par exemple selon les référentiels de l'organisme américain SSPC (the society for protective coating = l'équivalent du GEPI en France).

Dans de nombreux cahiers des charges de consultation, le maître d'ouvrage exige des certifications pour chaque intervenant selon son niveau d'intervention. Cette disposition permet de s'assurer que l'entreprise titulaire mettra en place une organisation compétente pour la réalisation des travaux.



Photo 42 : Poste peinture airless © JP Persy

Le contrôle extérieur est exercé pour le client qui peut être :

- le maître d'ouvrage lui-même,
- le maître d'œuvre,
- un organisme indépendant (ces structures peuvent effectuer elles-mêmes le contrôle extérieur ou diligenter un autre organisme indépendant pour le faire).

Il permet de surveiller le contrôle intérieur et de contrôler la conformité aux spécifications du marché.

Les points essentiels à vérifier sont les suivants :

- contrôle de la préparation de surface : propreté de surface et profil de rugosité selon les normes ISO 8501-1 et 8503-2 mais également taux de poussières résiduelles selon l'ISO 8502.3 et, si besoin, le taux de contamination saline résiduel selon l'ISO 8502.6 et 9 ;
- contrôle des conditions climatiques : humidité relative, température ambiante, température du support, point de rosée... selon la fiche technique produit et l'ISO 8502-4 ;
- contrôle de la conformité des produits et des conditions de stockage ;
- contrôle de l'application de la métallisation et des différentes couches de peinture : épaisseur selon ISO 19840, fermeture du film/aspect, respect des temps de séchage... ;
- contrôle de l'enregistrement des données qualité.

Pour chaque contrôle normalisé, il existe souvent plusieurs méthodes. Il est possible que ces contrôles soient associés à des points d'arrêt.

Un point d'arrêt marque la fin d'une ou de plusieurs phases de la mise en œuvre de la protection anticorrosion. Pour sa levée, c'est-à-dire pour continuer cette mise en œuvre, un point d'arrêt donne lieu à :

- la production de documents remis au client prouvant qu'un certain nombre de vérifications et de contrôles a été effectué lors de la ou des phases en question ;
- un accord formalisé du client (pour cet accord, le client dispose d'un délai de réponse).



Photo 43 : Contrôle épaisseur peinture © JP Persy

Avant le début des travaux, en atelier comme sur site, l'entreprise réalise, dans le cadre du PAQ, une épreuve de convenue avec les moyens, personnel, matériels et produits prévus pour :

- la préparation des surfaces ;
- l'application des produits.

L'objectif de cette épreuve est de vérifier :

- la possibilité d'atteindre, dans les conditions du chantier, les résultats demandés ;
- la bonne organisation des contrôles et l'adéquation des documents de suivi prévus à cet effet.

L'épreuve est réalisée sur des surfaces représentatives de l'ouvrage ou d'un élément d'ouvrage en y incluant celles difficiles d'accès, ainsi qu'un élément représentatif (tranche oxycoupée par exemple...). La convenue porte aussi sur la procédure de contrôle prévue au PAQ ; en outre, des clichés sont pris pour être utilisés comme références lors des travaux et contrôles ultérieurs. Ces contrôles sont des contrôles intérieurs effectués sous la responsabilité du chef d'équipe ou de chantier, d'une part, et du responsable du contrôle externe, d'autre part, qui visent conjointement les documents de suivi d'exécution de l'épreuve de convenue.

Il convient, en même temps que ces essais de convenue sont réalisés, de définir les surfaces de références. Ces dernières doivent être choisies de sorte qu'elles soient représentatives des différentes situations d'exposition de l'ouvrage aux contraintes de vieillissement.

En cas de litige futur, on pourra faire appel à ces surfaces de référence pour une analyse comparative.

De façon générale, l'ensemble des écarts doivent être notifiés avant qu'une décision soit prise sur le traitement. Suivant la gravité de l'écart, une fiche de NON-CONFORMITE (F.N.C) sera ouverte et instruite s'il y a non-respect strict des règles de l'art.

Quelques exemples de non-conformités rencontrés dans le domaine de la protection anticorrosion par peinture :

- données des fiches C.I.R. (Caractéristiques d'Identification Rapide) de fabrication située hors des fourchettes admissibles : extrait sec, taux de cendre et masse volumique ;
- application des peintures alors que la température du support est inférieure au point de rosée + 3° C ;
- application des peintures sur une préparation de surface non conforme à la prescription technique du système de peinture ;
- etc.

Chaque FNC ouverte doit conduire à minima à une action corrective, afin de remettre en conformité la situation relevée, mais également à d'éventuelles actions préventives afin que l'écart ne se reproduise pas. Une fois l'action de remise en conformité réalisée, la FNC doit être fermée, après validation du client.

Aucune FNC ne doit rester ouverte à la réception des travaux.

6

Hygiène, sécurité environnement

On renverra le lecteur au chapitre « Prévention et sécurité » du GUIDE STPRES O [Introduction commune à tous les guides] afin d'avoir de plus amples détails sur les exigences générales en la matière.

À noter cependant que, dans le domaine de la peinture anticorrosion, les risques principalement rencontrés sont :

- risque électrique ;
- risques d'incendie et d'explosion (COV, poussières) ;
- risques sanitaires (expositions aux poussières, manipulation de produits chimiques, etc.). Nous rappelons que les abrasifs utilisés doivent contenir moins de 1 % de silice cristalline libre. Des valeurs limites d'exposition professionnelle réglementaires sur 8h (VLEP 8h) sont fixées par le Code du travail [article R. 4412-149] : pour le quartz à 0,1 mg/m³, pour la cristobalite et la tridymite à 0,05 mg/m³ ;
- TMS (Troubles musculosquelettiques) ;
- risque lié à la circulation (balisage, protection collective, limitation des déplacements) ;
- risque lié au bruit ;
- haute pression (air comprimé, eau, UHP, flexibles hydrauliques, usage d'Airless, etc.) ;
- risque de chute de hauteur (travaux en hauteur) ;
- risques de chute de plain pieds (nécessité de veiller à la propreté des chantiers) ;
- risque de projection (lors du décapage par projection d'abrasif notamment) ;
- risque chimique et plus particulière risque CMR.

En complément, l'ISO 12944.1 précise qu'il est important, dans le cadre de la réalisation de travaux de protection anticorrosion, de prêter une attention particulière dans les choix d'interventions sur les différents points suivants :

- pas de spécifications ou d'utilisation de substances toxiques ou carcinogènes (CMR) ;
- émissions de composés volatils (COV) ;
- mesures contre les effets nocifs des fumées et poussières, vapeurs, bruits aussi bien que des risques d'incendies ;
- protection du corps y compris des yeux, la peau, l'ouïe et du système respiratoire (les EPI doivent être conformes à la réglementation en fonction de chaque tâche réalisée) ;
- protection de l'eau, des sols, de l'air au cours de la mise en œuvre des méthodes d'intervention ;
- un maximum de recyclage des matériaux, limitation des déchets et évacuation de ceux-ci en filière adaptée.

D'un point de vue environnementale, il est important de mettre en avant la nécessité d'optimiser l'emprunte carbone en intégrant cette dimension dans les choix de méthodes d'intervention. Il n'est plus rare de voir apparaître ce critère comme l'un des critères de performance requis au marché.

7

Suivi après livraison des travaux

7.1 Durée de vie et protocole de suivi

7.2 Contrôle colorimétrique

Quelques définitions concernant la durée de vie et le protocole de suivi :

- **durabilité** : durée de vie estimée d'un système de peinture jusqu'à la première maintenance majeure ;
- **protocole de suivi** : opération permettant de détecter et suivre la dégradation d'un système de protection anticorrosion. La caractérisation des désordres sera réalisée conformément aux dispositions précisées à l'article 3.2 « visite de reconnaissance » qui préconise notamment l'usage de la série de normes ISO 4628 qui, nous le rappelons, définit la terminologie utilisée pour décrire l'aspect visuel de la majorité des dégradations constatées, ainsi que des clichés de référence permettant de qualifier, tant en termes d'intensité, de gravité que de taille, chaque défaut observé.

Afin d'assurer un entretien optimum des protections par revêtements, il est nécessaire de mettre en place un protocole de suivi permettant de connaître la durabilité résiduelle de la peinture et d'intervenir au plus tôt en cas de désordres prématurés.

Dans le cas spécifique où le maître d'ouvrage a requis une stabilité de teinte dans le temps, il est possible de mettre en place un suivi par contrôle colorimétrique en application de la norme NFT 34-554-1 : « **Système de peinture anticorrosion – Stabilité dans le temps des caractéristiques colorimétriques d'une peinture de finition pour ouvrage métallique** ».

Elle s'attache à fixer les écarts colorimétriques acceptables pour les teintes normalisées.



Photo 44 et 45 : Colorimétrie © JP Persy

Écarts fixés après 1 an en Floride dans des conditions spécifiques

Ce contrôle est effectué avec un colorimètre ou (de préférence) un spectrocolorimètre à composante spéculaire exclue avec les caractéristiques suivantes :

- géométrie 45/0°
- illuminant D 65 (ou C)
- observateur 2 ou 10 °
- espace chromatique CIE 1976 (CIE Lab)

Exemples d'écarts (ΔE^*) admissibles : - RAL 1015 = 5
 - RAL 1021 = 15
 - RAL 5010 = 10
 - RAL 9010 = 5



Photo 46 : Mesure de la couleur par colorimètre tri-stimuli
 (Extrait Guide LCPC Entretien de la protection anticorrosion des Ouvrages métalliques)

Elle s'attache également à fixer les zones de perception des couleurs sur des ouvrages en service et la mise en œuvre des mesures de couleurs.

- perception visuelle globale : sur l'ouvrage dans son ensemble (il faut qu'il soit homogène au départ !)
- surface homogène de couleur : là où on va mesurer la couleur (sur une ou plusieurs parties de l'ouvrage) ;
- nombre de mesures dépendant de la taille de l'ouvrage ;
- mesure des valeurs : L^* , a^* , b^* ;
- mesure au temps t_D puis en service.

ATTENTION : nous attirons l'attention des utilisateurs et prescripteurs sur la nécessité de prendre en compte que certaines teintes sont plus sensibles que d'autres au vieillissement naturel. Il convient déjà à minima de choisir une teinte ayant passé les tests d'exposition en Floride.

TABLE DES ILLUSTRATIONS

FIGURES

- Fig. 1 : **Principe général de la « pile de corrosion »** (exemple pour l'acier au carbone) *source ACCOAST*
- Fig. 2 : **Principe de la corrosion généralisée ou uniforme** (généralités, exemple pour l'acier au carbone) *source ACCOAST*
- Fig. 3 : **Principe de la corrosion galvanique** (généralités, exemple pour l'acier au carbone) *source ACCOAST*
- Fig. 4 : **Principe de la corrosion cavernreuse ou par effet de crevasse** (généralités, exemple pour l'acier au carbone en eau de mer) *source ACCOAST*
- Fig. 5 : **Principe de la corrosion par piqûres** (généralités, exemple pour un alliage passivé en eau de mer)
- Fig. 6 : **Principe de la corrosion-érosion** (généralités, exemple pour un alliage passivé) *source ACCOAST*
- Fig. 7 : **Principe de la corrosion-cavitation** (généralités, exemple pour un alliage passivé) *source ACCOAST*
- Fig. 8 : **Principe de la corrosion intergranulaire** (généralités) *source ACCOAST*
- Fig. 9 : **Principe de la corrosion sélective** (généralités, exemple pour un alliage passivé) *source ACCOAST*
- Fig. 10 : **Principe de la tribocorrosion** (généralités) *source ACCOAST*
- Fig. 11 : **Principe de la corrosion sous contrainte** (généralités, exemple pour un alliage passivé) *source ACCOAST*
- Fig. 12 : **Principe de la corrosion en milieu gazeux ou corrosion sèche** (généralités) *source ACCOAST*
- Fig. 13 : **Construction de la Tour Eiffel**
- Fig. 14 : **Process galvanisation** www.galvaunion.com
- Fig. 15 : **Les quatre composants**
- Fig. 16 : **Notion de CPV**
- Fig. 17 : **Échelle d'oxydation flash**
- Fig. 18 : **Brosses et rouleaux**
- Fig. 19 : **Pistolets et airless** (photo Prezioso Linjebygg)

PHOTOS

- Photo 1 : **Corrosion** (photo JP Persy)
- Photo 2 : **Viaduc ferroviaire de Caronte, vue avant travaux de réfection anticorrosion** (photo Lassarat)
- Photo 3 : **Anode extérieure sur un pieu métallique** (photo Grimaldi)
- Photo 4 : **Iron Bridge** (document bibliographique)
- Photo 5 : **Passerelle Pic du Midi** (photo www.galvaunion.com)
- Photo 6 : **Métallisation à la flamme** (photo Lassarat)
- Photo 7 : **Métallisation à l'arc électrique** (photo Lassarat)
- Photo 8 : **Vue de la travée d'un pont métallique après application de la deuxième couche de primaire époxydique** (photos Lassarat)
- Photo 9 : **Vue des anciens fonds sur un ouvrage revêtu de peinture ancienne à base de minium de plomb** (photo Lassarat)

- Photo 10 : **Pont SNCF de Caronte, vue échafaudage et confinement** (photo Lassarat)
- Photo 11 : **Pont du Vecchio vue d'ensemble pendant travaux** (photo Lassarat)
- Photo 12 : **Pont de Tulle avant travaux** (photo JP Persy)
- Photo 13 : **Essai de quadrillage** (Doc internet)
- Photos 14, 15, 16 : **Toutes les fibres d'amiante sont classées CANCEROGENE de catégorie 1 au niveau Européen**
- Photo 17 : **Viaduc du grand canal du Havre en cours de travaux** (photo Lassarat)
- Photo 18 : **Viaduc du Viaur en cours de travaux** (photo Lassarat)
- Photo 19 : **Viaduc de Rouzat** (photo Lassarat)
- Photo 20 : **Masque complet doté d'un système à ventilation assistée avec filtres TMP3 pour travaux continus (nettoyage zone contaminée)** (document Internet)
- Photo 21 : **Compartment « propre »** (photo Prezioso Linjebygg)
- Photo 22 : **Compartment « sale » avec extracteurs** (photo Prezioso Linjebygg)
- Photo 23 : **Sas de décontamination**
- Photo 24 : **Confinement – Réhabilitation CF**
- Photo 25 : **Ouvrage en zone préservée** (photo Prezioso Linjebygg)
- Photo 26 : **Passerelle Sainte Colombe à Vienne** (photo Prezioso Linjebygg)
- Photo 27 : **Matériel de décapage** (photo Prezioso Linjebygg)
- Photo 28 : **Pont suspendu de La Voulte en cours de travaux** (photo Lassarat)
- Photo 29 : **Fondation Louis Vuitton à Paris** (document internet)
- Photo 30 : **Décapage à sec ; atelier et matériel de sablage** (photos Prezioso Linjebygg)
- Photo 31 : **Décapage à l'eau** (photo Prezioso Linjebygg)
- Photo 32 : **Evaluation de la rugosité après décapage** (photo internet)
- Photo 33 : **Poste peinture airless** (photo Prezioso Linjebygg)
- Photo 34 : **Pont du Vecchio, vue du masticage des zones présentant des interstices entre fers** (photo Lassarat)
- Photo 35 : **Installation** (photo Lassarat)
- Photo 36 : **Pont d'Aquitaine, confinement** (photo Prezioso Linjebygg)
- Photo 37 : **Pont du Vecchio, vue du confinement et des sas permettant l'accès à la zone de travail** (photo Lassarat)
- Photo 38 : **Pont du Vecchio, vue montrant le travail de pré touche, à la brosse, des zones difficiles d'accès au pistolet sans air et présentant des singularités** (photo Lassarat)
- Photo 39 : **Vue de l'application au pistolet sans air de la couche de primaire** (photo Lassarat)
- Photo 40 : **Kit d'inspection : jauge de rugosité, mesure de point de rosée, peigne pour film humide, jauge d'épaisseur de revêtement et logiciel de gestion de données** (photo Elcomer)
- Photo 41 : **Poste peinture au rouleau** (photo Lassarat)
- Photo 42 : **Poste peinture airless** (photo JP Persy)
- Photo 43 : **Contrôle épaisseur peinture** (photo JP Persy)
- Photo 44 et 45 : **Colorimétrie** (Photos JP Persy)
- Photo 46 : **Mesure de la couleur par colorimètre tri-stimuli** (Extrait Guide LCPC Entretien de la protection anticorrosion des Ouvrages métalliques)



Le comité de pilotage du guide « Protection des ouvrages métalliques » [FAME 2] était composé de :

Christian TRIDON , président du STRRES	
Hubert LABONNE , vice-président d'honneur du STRRES	
Christophe JANSSEN	LASSARAT
Jean-Hugues AUTISSIER	BAUDIN-CHATEAUNEUF
Christian TOURNEUR	FREYSSINET
Jeanne NGO BIBINBE	FNTP
Yves PICARD	expert
Daniel POINEAU	expert
Michel FRAGNET	expert

Le guide FAME 2 a été rédigé par : **Stéphane RANDU**
avec l'expertise de :

Patrick NAYLOR	
Gérard COLLE , vice-président d'honneur du STRRES	
Élisa PETROVA	OHGPI
Marie-Thérèse MBIDA	FNTP
Régis DORBESSAN	OPPBTT
Jean-Paul PERSY	
Victor PETIT	SIXENSE-IPRS
Samuel PINEAU	ACCOAST

Ce document a été réalisé avec le concours
de la Fédération Nationale des Travaux Publics (FNTP)



