

Projet n° 9771 du Fonds pour l'environnement mondial : Meilleures pratiques mondiales concernant les nouvelles questions de politique générale préoccupantes au regard de l'Approche stratégique de la gestion internationale des produits chimiques

Directives techniques sur la reformulation des peintures au plomb

© Programme des Nations Unies pour l'environnement, 2022
ISBN : 978-92-807-3940-4
Numéro de travail : DTI/2438/GE

Reproduction

La présente publication peut être reproduite en tout ou partie et sous quelque forme que ce soit à des fins pédagogiques et non lucratives, sans autorisation spéciale du détenteur du droit d'auteur, à condition de la citer comme source. Le Programme des Nations Unies pour l'environnement apprécierait de recevoir un exemplaire de toute publication utilisant le présent document comme source.

La présente publication ne peut être ni revendue ni utilisée à quelque fin commerciale que ce soit sans l'autorisation écrite préalable du Programme des Nations Unies pour l'environnement. Toute demande d'autorisation, mentionnant l'objectif et la portée de la reproduction, doit être adressée à la direction de la Division de la communication du Programme des Nations Unies pour l'environnement, P.O. Box 30552, Nairobi 00100, Kenya.

Clauses de non-responsabilité

Les appellations employées dans la présente publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent aucune prise d'opinion de la part du Secrétariat des Nations Unies quant au statut juridique des pays, territoires, villes, régions ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites. Pour plus d'informations concernant l'utilisation des cartes dans les publications, veuillez consulter la page suivante : <https://www.un.org/Depts/Cartographic/english/htmain.htm>.

La mention de toute société commerciale ou de tout produit dans la présente publication ne signifie nullement que le Programme des Nations Unies pour l'environnement ou les auteurs du présent document approuvent les sociétés ou produits cités. L'utilisation d'informations issues de la présente publication à des fins de publicité n'est pas autorisée. Les noms et symboles de marques commerciales sont utilisés à des fins rédactionnelles sans aucune intention de porter atteinte au droit des marques ou au droit d'auteur.

Les opinions exprimées dans la présente publication sont celles des auteurs et ne reflètent pas nécessairement celles du Programme des Nations Unies pour l'environnement. Nous déplorons toute erreur ou omission susceptible d'avoir été commise involontairement.

© Cartes, photos et illustrations comme indiqué.

Mise en page et conception graphique : Mile Losic

Citation suggérée : Programme des Nations Unies pour l'environnement, *Directives techniques sur la reformulation des peintures au plomb*. Genève, Suisse, 2022.

La présente publication a été élaborée dans le cadre du projet de grande envergure n°9771 du Fonds pour l'environnement mondial intitulé : *Global best practices on emerging chemical policy issues of concern under the Strategic Approach to International Chemicals Management*. Ce projet est financé par le Fonds pour l'environnement mondial, mis en œuvre par le Programme des Nations Unies pour l'environnement et exécuté par le secrétariat de l'Approche stratégique de la gestion internationale des produits chimiques (SAICM). Le Centre national pour une production plus propre de la Serbie exprime sa gratitude au Fonds pour l'environnement mondial, qui a contribué financièrement à l'élaboration, à la révision et à la conception du présent document.



Projet n°9771 du Fonds pour l'environnement mondial : Meilleures pratiques mondiales concernant les nouvelles questions de politique générale préoccupantes au regard de l'Approche stratégique de la gestion internationale des produits chimiques

Volet n° 1 : encourager les gouvernements et les industriels à prendre des mesures réglementaires et volontaires pour éliminer les peintures au plomb

Directives techniques sur la reformulation des peintures au plomb

Photo : © Kansai Helios

Programme des Nations Unies pour l'environnement, Nairobi

Remerciements

La présente publication a été élaborée sous la direction de Vojislavka Satric et de Branko Dunjic du Centre national pour une production plus propre (CNPP) de la Serbie, avec les conseils et le soutien de Nicoline Lavanchy, de Kenneth Davis et de Mihaela Paun du Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) ainsi que d'Angela Bandemehr de l'Agence américaine de protection de l'environnement.

L'élaboration de ces directives techniques n'aurait pas pu être possible sans la contribution de nombreux partenaires et parties prenantes, notamment les centres nationaux pour une production plus propre de la Colombie, du Pérou, de l'Équateur, de la Chine et de la Jordanie ainsi que l'organisation SRADev Nigeria, la fondation Nexus3 en Indonésie et le Réseau international pour l'élimination des polluants organiques persistants (IPEN). L'Organisation mondiale de la Santé (OMS), l'initiative pour l'état de droit de l'American Bar Association, le World Coatings Council et l'Institut des Nations Unies pour la formation et la recherche ont également participé à l'élaboration du présent document. La mise en page et la conception graphique ont été réalisées par Mile Losic. Le PNUE et le CNPP de la Serbie adressent leurs remerciements à l'ensemble des individus et des organisations qui ont fait part de leurs observations sur la présente publication.

Nous souhaitons remercier les fournisseurs de pigments suivants : BASF Colors & Effects, Ferro, Pyosa, Mathisen, Clariant, Yingze New Material et Jiangsu Shuangle Pigment, dont le soutien aux petites et moyennes entreprises a facilité la bonne mise en œuvre de ce projet.

Nous souhaitons également exprimer notre gratitude envers les producteurs de peinture suivants, qui ont

participé au test pilote de reformulation de peintures au plomb dans le cadre du projet mentionné ci-dessus : Zhejiang Utop New Material Co.,Ltd, Zhejiang Tiannu Group Paint Co., Ltd, Hunan Xiang Jiang Paint Group Co., Ltd, Jiangsu Lanling Polymer Material Co., Ltd et Jiangsu Changjiang Paint Co., Ltd (Chine) ; Icelltex, Pintuland, Pinturas Multitonos, Pinturas Supratech (Colombie) ; et quatre entreprises indonésiennes, PT Mataram Paint, PT Bitar Asia, PT Rajawali Hiyoto et PT. Sigma Utama (Indonésie), Golden Chemicals Company, Jordan Sipes Paints, Tameer Paints industry, (Jordanie), Blentech Ltd, Precious Paints Nigeria Limited, Integrated Paints and Allied Products Ltd, Lean-on Chemical and Allied Products Nig. Ltd, Olabi Paint, President Paint, Havela Coatings and Paint Ltd (Nigéria), Envasadora San Gabriel, Soprin, J&S Ferreteria Industrial (Universal Colors) et Larpaint (Colombie).

Pour obtenir plus d'informations supplémentaires, veuillez écrire à l'adresse suivante :

lead-cadmiumchemicals@un.org.

Avec le soutien du :



gef GLOBAL ENVIRONMENT FACILITY

Liste des acronymes

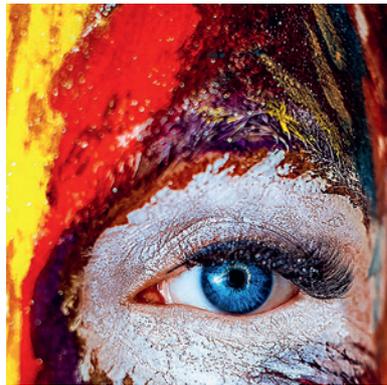
CAS	▶ Service des résumés analytiques de chimie (division de la Société américaine de chimie)
CNPP	▶ Centre national pour une production plus propre
CPV	▶ Concentration pigmentaire volumique
CPVC	▶ Concentration pigmentaire volumique critique
FEM	▶ Fonds pour l'environnement mondial
IPEN	▶ Réseau international pour l'élimination des polluants organiques persistants
ISO	▶ Organisation internationale de normalisation
OMS	▶ Organisation mondiale de la Santé
PBr	▶ Pigment brun
PME	▶ Petites et moyennes entreprises
PNUUE	▶ Programme des Nations Unies pour l'environnement
PO	▶ Pigment orange
PR	▶ Pigment rouge
PW	▶ Pigment blanc
PY	▶ Pigment jaune
REACH	▶ Enregistrement, évaluation et autorisation des substances chimiques
SAICM	▶ Approche stratégique de la gestion internationale des produits chimiques
SGH	▶ Système général harmonisé de classification et d'étiquetage des produits chimiques

Table des matières

	Remerciements.....	IV
	Liste des acronymes.....	V
	Introduction	8
1	Résumé	10
2	Contexte	13
3	Termes et définitions	15
4	Peintures au plomb	17
5	Processus de substitution	22
	5.1 Identification des éventuels produits de remplacement.....	23
	5.2 Évaluation des éventuels produits de remplacement.....	24
6	Substitution des pigments de plomb	26
	6.1 Théorie des couleurs.....	27
	6.2 Le Colour Index.....	28
	6.3 Processus de dispersion.....	29
	6.4 Substitution du rouge de plomb anticorrosion (PR 105).....	32
	6.4.1 Évaluation des produits de remplacement.....	34
	6.5 Substitution du blanc de plomb (PW 1).....	36
	6.6 Substitution du chromate de plomb (PY 34) et du rouge de chromate, de molybdate et de sulfate de plomb (PR 104).....	36
	6.6.1 Évaluation des pigments inorganiques de remplacement.....	37
	6.6.2 Évaluation des pigments organiques de remplacement.....	39
	6.6.3 Préparations de pigments secs, pigments hybrides et pâtes pigmentaires.....	43
	6.6.4 Reformulation des peintures contenant des pigments.....	44
7	Substitution des siccatifs au plomb	47
	7.1 Rôle et composition des siccatifs.....	47
	7.2 Propriétés d'une sélection de siccatifs.....	48
	7.3 Perte du pouvoir siccatif.....	50
	7.4 Évaluation des produits de remplacement des siccatifs au plomb.....	51
	7.5 Reformulation de peintures contenant des siccatifs.....	53
	Conclusion	56
	Bibliographie.....	59
	Annexe 1 – Conseils pour la recherche d'informations sur les produits de remplacement moins dangereux.....	61
	Annexe 2 – Exemples de composition.....	62
	Annexe 3 – Études de cas de reformulation de peintures.....	64
	Annexe 4 – Sélection de normes ISO relatives aux méthodes générales d'essai pour les peintures et vernis.....	75
	Annexe 5 – Liste non exhaustive de fournisseurs.....	78

« [...] La couleur par elle-même exprime quelque chose, on ne peut s'en passer ; on doit l'utiliser. Ce qui est beau est aussi le bon choix. »

Lettre de Vincent van Gogh à son frère Théo



Photos : www.pixabay.com



INTRODUCTION

Au cours de sa deuxième session de 2009, la Conférence internationale sur la gestion des produits chimiques définit le plomb dans la peinture comme nouvelle question de politique générale dans le cadre de l'Approche stratégique de la gestion internationale des produits chimiques (SAICM). L'objectif d'élimination des peintures au plomb a été réaffirmé à l'occasion des troisième et quatrième sessions de la Conférence en 2012 et en 2015. En 2011, l'Alliance mondiale pour l'élimination des peintures au plomb* (ci-après l'« Alliance mondiale ») a été créée. En 2017, l'Assemblée des Nations Unies pour l'environnement a adopté la [résolution 3/9 en vue d'éliminer l'exposition aux peintures au plomb et de promouvoir la gestion écologiquement rationnelle des déchets de batteries au plomb](#). Cette résolution renouvelle l'engagement à éliminer le plomb dans les peintures, invite les parties prenantes intéressées à s'associer à l'Alliance mondiale et demande au Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) de soutenir les efforts des pays visant à éliminer l'utilisation du plomb en leur fournissant des outils et en renforçant leurs capacités d'élaboration de politiques nationales.

L'Alliance mondiale est un partenariat fondé sur le volontariat visant à prévenir l'exposition au plomb contenu dans les peintures. Elle est conjointement menée par le PNUE et l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) et dirigée par un Conseil consultatif dont la présidence est assurée par l'Agence américaine de protection de l'environnement (PNUE, 2021). L'Alliance mondiale a pour principal objectif de prévenir l'exposition des enfants au plomb contenu dans les peintures et de minimiser l'exposition professionnelle. C'est à cette fin qu'elle encourage l'introduction de lois visant à mettre progressivement fin à la fabrication, à l'importation et à la commercialisation de peintures au plomb dans tous les pays. L'Alliance mondiale collabore avec les gouvernements, l'industrie de la peinture, les organisations non gouvernementales et d'autres acteurs afin d'accroître la sensibilisation et de promouvoir la prise de mesures d'élimination du plomb dans les peintures, qui est techniquement réalisable et favoriserait la santé humaine, en particulier celle des enfants.

* Pour obtenir plus d'informations sur l'Alliance mondiale, veuillez consulter le site du PNUE (en anglais) : <https://www.unep.org/explore-topics/chemicals-waste/what-we-do/emerging-issues/global-alliance-eliminate-lead-paint>.

La présente publication résulte du projet n° 9771 du Fonds mondial pour l'environnement (FEM). Intitulé « Meilleures pratiques mondiales concernant les nouvelles questions de politique générale préoccupantes au regard de l'Approche stratégique de la gestion internationale des produits chimiques », ce projet vise à accélérer la mise en œuvre d'initiatives nationales et relatives à la chaîne de valeur afin de traiter des nouvelles questions de politique générale et de contribuer à l'objectif de la SAICM fixé pour 2020 ainsi qu'au Programme de développement durable à l'horizon 2030. Le projet est entièrement financé par le FEM*.

Il comporte trois volets principaux :

- Encourager les gouvernements et les industriels à prendre des mesures réglementaires et volontaires pour éliminer les peintures au plomb (volet relatif aux peintures au plomb) ;
- Gérer le cycle de vie des substances chimiques incorporées dans les produits ; et
- Gérer les connaissances et engagement des parties prenantes.

Pour soutenir l'objectif de l'Alliance mondiale visant à promouvoir l'introduction de lois sur les peintures au plomb, les résultats prévus par le premier volet sont l'élaboration et l'application par 40 pays de lois qui restreignent l'utilisation du plomb dans les peintures, ainsi que l'élimination du plomb dans les processus de production d'au moins 30 petites et moyennes entreprises (PME) fabricantes de peinture dans sept pays**. Le volet sur la peinture au plomb implique une collaboration avec les gouvernements en vue de faciliter la mise au point de lois portant sur la présence de plomb dans les peintures, ainsi qu'avec les PME afin d'encourager l'abandon progressif des matières premières contenant du plomb. Les présentes directives techniques ont été rédigées afin d'aider les PME à modifier la composition de leurs peintures en leur fournissant des orientations en la matière, ainsi que des exemples de reformulations réalisées par certaines PME. Le projet a débuté lors d'un atelier de lancement en janvier 2019 et devrait s'achever en 2022.

Les activités menées dans le cadre du produit « Projets pilotes de démonstration avec des fabricants de peinture dans les petites et moyennes entreprises » ont pour principal objectif d'appuyer la transition des PME vers des peintures sans plomb. Le Centre national pour une production plus propre (CNPP) de la Serbie

a organisé des projets pilotes de reformulation avec des PME de cinq pays, dont la Jordanie, l'Équateur, le Pérou, la Colombie et la Chine. De la même façon, le Réseau international pour l'élimination des polluants organiques persistants (IPEN) a collaboré avec ses partenaires présents en Indonésie et au Nigéria. Le projet a permis de fournir aux PME les présentes directives techniques, qui comprennent notamment des études de cas sur les meilleures pratiques issues des projets pilotes de démonstration mis en œuvre par les PME.

Les partenaires du projet (à savoir les CNPP de la Chine, de la Colombie, de l'Équateur, de la Jordanie et du Pérou ainsi que la fondation Nexus3 en Indonésie et l'organisation SRADev Nigeria) ont travaillé avec une sélection de PME dans le cadre de projets pilotes visant à démontrer que le remplacement des composés contenant du plomb était possible. Les PME concernées ont volontairement choisi de participer. Par ailleurs, différents fournisseurs mondiaux de matières premières ont fourni les pigments sans plomb ainsi qu'une assistance technique aux PME afin de soutenir la formulation de peintures ne contenant pas de composés de plomb. La collaboration avec les entreprises a largement pâti des mesures de confinement dues à la COVID-19, la reformulation des peintures au plomb devant être effectuée en personne dans un laboratoire. La pandémie a également empêché les partenaires du projet de travailler avec un plus grand nombre de PME. Cependant, le présent document intègre les expériences de reformulation menées dans plusieurs PME sous forme d'études de cas.

La version préliminaire des directives a été mise à l'essai dans certaines PME au cours du travail sur la reformulation, avec le soutien des CNPP et de l'IPEN, ainsi que dans le cadre de consultations avec des associations de l'industrie de la peinture, des organisations de normalisation et de métrologie ainsi que des organes gouvernementaux dans les pays participants. Plusieurs commentaires ont été suggérés et acceptés pour affiner les Directives. Pour finir, les directives ont été approuvées au cours d'un atelier de validation*** organisé au mois d'avril 2021.

Nous espérons que les PME du monde entier pourront tirer parti des présentes directives pour réussir à remanier la composition de peintures au plomb, et que les études de cas incluses fournissent un exemple convaincant des possibilités de fabrication de peintures sans plomb dont l'efficacité est similaire, voire meilleure (notamment en ce qui concerne la résistance à la lumière ou à la chaleur ainsi que les propriétés mécaniques, anticorrosives et décoratives).

* Pour plus d'informations sur le projet du FEM et de la SAICM, veuillez consulter l'adresse suivante (en anglais) : <https://www.saicm.org/Implementation/GEFProject/tabid/7893/language/en-US/Default.aspx>.

** Plus d'informations sont disponibles à l'adresse suivante (en anglais) : <https://www.saicm.org/Implementation/GEFProject/tabid/7893/language/en-US/Default.aspx>.

*** Les ressources et les présentations des organisations participantes sont accessibles à l'adresse suivante (en anglais) : <https://saicmknowledge.org/event/validation-workshop-paint-reformulation-guidelines>.



RÉSUMÉ

Les directives techniques sur la reformulation des peintures au plomb ont été élaborées pour aider à résoudre les contraintes de capacité et les obstacles techniques à la substitution des composés de plomb dans les peintures, en mettant l'accent sur les besoins des PME pour une reformulation efficace et efficiente des peintures.

La peinture est un matériau de revêtement pigmenté qui, lorsqu'il est appliqué sur un support, forme un film sec et opaque aux propriétés protectrices, décoratives ou techniques. Elle est formulée pour répondre à différentes propriétés techniques, telles qu'une résistance spécifique aux produits chimiques ou aux intempéries, un effet de mise en valeur ou de camouflage, un aspect décoratif, des propriétés isolantes, conductrices ou antibactériennes, etc. La peinture doit aussi pouvoir s'adapter à une variété de substrats et de méthodes d'application. Étant donné que de nombreuses formulations initiales contiennent du plomb pour conférer une couleur ou des propriétés spécifiques à la peinture, les directives techniques fournissent seulement des informations générales sur les processus de reformulation des peintures. Cependant, des études de cas (voir l'annexe 3) font état de démonstrations pilotes organisées dans le cadre

du projet du FEM sur les peintures au plomb, qui ont permis aux entreprises participantes de recevoir des analyses plus détaillées et des données plus précises selon leurs besoins.

Les termes relatifs à la peinture employés dans les présentes directives techniques sont conformes à la norme ISO 4618:2014 intitulée « Peintures et vernis – Termes et définitions ».

Les peintures contiennent un grand nombre d'ingrédients, notamment des liants, des solvants, des additifs, des plastifiants, des enduits et des pigments. La qualité d'une peinture dépend principalement des matières premières qui en font un film. Toutefois, les pigments, les charges, les additifs, les processus de production et les méthodes d'application jouent également un rôle important. Il est essentiel qu'ils ne présentent aucun risque important pour la santé humaine et l'environnement.

Bien qu'ils soient soumis à des exigences techniques strictes, les composés de plomb présents dans les peintures (principalement en tant que pigments et siccatifs) sont extrêmement dangereux pour

l'environnement et la santé humaine. Les PME doivent renoncer aux matières premières qui contiennent du plomb et chercher à minimiser la teneur en plomb de leurs composants. Cependant, les produits choisis pour remplacer le plomb doivent avoir le moins de propriétés dangereuses possible.

Les présentes directives techniques décrivent les dangers liés aux composés de plomb et à leurs produits de remplacement en se référant aux conventions du Système général harmonisé de classification et d'étiquetage des produits chimiques (SGH)*. Le Système définit et classe les dangers des produits chimiques et communique des renseignements en matière de santé et de sécurité sur des étiquettes et des fiches de données de sécurité. Le SGH a été élaboré sous la supervision des Nations Unies et a pour objet d'adopter des critères uniformes pour la classification des dangers et d'uniformiser le contenu et le format des étiquettes et des fiches de données de sécurité utilisées partout dans le monde.

Les normes d'étiquetage du SGH servent à illustrer les dangers encourus et permettent aux PME de faire leur choix parmi les produits de remplacement disponibles.

Pour commencer, les présentes directives fournissent une **courte description des propriétés dangereuses du plomb ainsi que des composés qui en sont utilisés dans la fabrication de peintures** (chapitre 4).

Les composés du plomb inclus dans les peintures sont éminemment dangereux pour la santé humaine et l'environnement et devraient être remplacés en priorité. L'utilisation de produits de remplacement devrait ainsi entraîner une réduction des risques globaux pour la santé humaine et l'environnement. **Le chapitre 5 fournit des orientations sur l'approche générale à adopter et les étapes du processus de substitution**, en vue d'aider les PME à choisir des produits de remplacement qui ne soient pas plus dangereux, ou autant, que les composés du plomb qu'ils remplacent.

Outre les caractéristiques en matière de couleur, d'effets et de pouvoir masquant, les pigments doivent répondre à de multiples exigences techniques spécifiques, notamment une insolubilité totale dans le milieu ambiant, une bonne résistance à la lumière, aux intempéries, à la chaleur et aux effets des produits chimiques, et doivent disposer de certaines propriétés relatives à la protection de l'environnement et de la santé. **Le chapitre 6 décrit les caractéristiques des pigments de remplacement.** Leurs propriétés anticorrosives sont comparées à celles du tétroxyde de plomb (PR 105).

Le processus de reformulation des couches de finition nécessite généralement de trouver des couleurs correspondantes, c'est pourquoi la théorie des couleurs est brièvement présentée. Afin de préciser la fonction recherchée (durabilité, dispersibilité, stabilité thermique, résistance aux saignements, rétention du

brillant), les propriétés relatives à l'environnement, à la santé et à la sécurité ainsi que la viabilité économique et la disponibilité des pigments de remplacement du PY 34 et du PR 104 sont détaillées.

Étant donné que la couleur et les propriétés d'une peinture dépendent largement du processus et des additifs de dispersion, le chapitre 6 contient également de brèves explications à ce sujet.

Enfin, **le chapitre 7 fournit des informations sur les types de siccatifs, leur rôle et sur les produits de remplacement des siccatifs au plomb.**

► **Figure 1 – Échantillonneur d'espace de tête**



En complément, l'annexe 1 donne des conseils pour la recherche d'informations sur les produits de remplacement moins dangereux, et les annexes 2 et 3 fournissent respectivement des exemples de reformulations ainsi que des études de cas tirées des projets pilotes menés avec les PME. L'annexe 4 présente une liste de normes ISO sélectionnées pour les méthodes générales d'essai des peintures et vernis. Cette liste comprend des méthodes pour tester les propriétés de performance des peintures. Pour finir, une liste non exhaustive de fournisseurs datant de mai 2021 est fournie en annexe 5.

* Pour obtenir plus d'informations, veuillez consulter le site Web suivant (en anglais) : <https://www.osha.gov/dsg/hazcom/ghsguideoct05.pdf>.

Selon les industriels du secteur, la reformulation des peintures pour en éliminer les composés de plomb est réalisable, et les effets techniques et financiers sont maîtrisables.

L'élimination des composés de plomb peut également présenter des avantages économiques potentiels.

En produisant ou en utilisant des peintures sans composés de plomb, les fabricants de peinture et les utilisateurs (tels que les fabricants de jouets) pourront accéder à des marchés où la teneur en plomb dans la peinture a déjà été limitée.

► Encadré 1 – Principales conclusions

Les conclusions suivantes ont été tirées de l'essai pilote de reformulation de peinture mené avec les PME dans le cadre du projet du FEM et de la SAICM.

- La plupart des PME qui participent au projet n'utilisent pas de siccatifs au plomb et toutes les études de cas concernent le remplacement des pigments de plomb.
- Le projet nous a appris que les pigments de plomb sont utilisés dans les peintures à base de solvant et à base d'eau.
- Certaines petites entreprises ne disposent pas de tous les équipements nécessaires pour effectuer les tests de performance des peintures et leur extrapolation à l'échelle industrielle. Utiliser des pâtes pigmentaires peut pallier le manque de matériel de broyage.
- Les marchés de taille réduite (marchés des consommateurs) présentent un moindre intérêt commercial pour les fournisseurs et la disponibilité de pigments sans plomb y est limitée (Jordanie, Équateur). Associés à la pandémie de COVID-19, ces éléments ont ralenti la mise en œuvre du projet dans les pays cités.
- Tous les participants conviennent qu'il est important de recevoir un soutien technique de la part des fournisseurs. Certains partenaires ont organisé des réunions avec les équipes techniques du projet, ce qui leur a permis de mieux comprendre le processus de reformulation et de choisir les bons pigments plus rapidement.
- Les PME ont réussi à réduire de manière significative la concentration de plomb dans les peintures après reformulation. La troisième étude de cas (annexe 3), par exemple, indique une réduction de la teneur en plomb de 34 689 ppm à moins de 56 ppm à l'issue du remaniement d'une peinture alkyde.
- Les coûts économiques de la reformulation varient. Comme le montre la première étude de cas (annexe 3), le prix de la matière première de remplacement est parfois moins élevé que celui du plomb, ce qui entraîne une baisse des coûts. Dans d'autres cas, le prix de la peinture augmente de manière significative.
- Les entreprises ont reformulé leurs peintures au plomb avec succès, mais le perfectionnement des teintes et l'optimisation des coûts requièrent des efforts supplémentaires.

Veuillez vous reporter à l'annexe 3 pour obtenir des informations supplémentaires sur les études de cas portant sur les PME.

Des références sont fournies aux lecteurs qui souhaitent en savoir plus.



CONTEXTE

L'Alliance mondiale pour l'élimination des peintures au plomb est un partenariat fondé sur le volontariat dirigé conjointement par le PNUE et l'OMS qui vise à prévenir l'exposition au plomb en encourageant l'élimination progressive des peintures contenant du plomb. L'Alliance mondiale est soutenue par un Conseil consultatif présidé par l'EPA et composé de représentants des gouvernements de la Colombie, de la République de Moldova, du Kenya et de la Thaïlande ainsi que de l'IPEN, de l'Alliance pour la santé et l'environnement, du World Coatings Council, de l'initiative pour l'état de droit de l'American Bar Association, d'AkzoNobel (firme multinationale de production de peintures), de Boysen (entreprise asiatique de fabrication de peintures) et de l'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel.

L'Alliance mondiale a pour principal objectif de prévenir l'exposition des enfants au plomb contenu dans les peintures et de minimiser l'exposition professionnelle au plomb. Son objectif plus large est de promouvoir

un arrêt progressif de la fabrication et de la commercialisation de peintures contenant du plomb afin d'éliminer les risques dus à ces peintures. À cette fin, l'Alliance s'efforce principalement de promouvoir la mise en place de cadres réglementaires nationaux adaptés afin de mettre un terme à la fabrication, à l'importation, à l'exportation, à la distribution, à la vente et à l'utilisation de peintures au plomb et de produits recouverts de celles-ci. L'objectif est qu'un minimum de 100 pays adoptent des lois qui serviront à interdire le plomb dans les peintures d'ici 2023*.

D'après l'Alliance mondiale, la production, l'importation, l'exportation et la vente de peintures au plomb étaient réglementées dans 83 pays au mois de septembre 2021, ce qui représente 43 % des pays du monde. Cette proportion devrait continuer à augmenter. Cependant, pas moins de 100 pays à revenu faible ou intermédiaire n'ont pas encore fixé de seuil légal pour la teneur en plomb des peintures, et la législation de certains pays fixe des seuils très élevés

* Additif de juin 2021 au plan d'action de l'Alliance mondiale, à paraître prochainement à l'adresse suivante : <https://www.unep.org/explore-topics/chemicals-waste/what-we-do/emerging-issues/global-alliance-eliminate-lead-paint>.

qui ne permettent pas de protéger la santé publique et l'environnement ou présentent des lacunes dans leur application.

Afin d'encourager l'adoption de lois sur les peintures au plomb*, le FEM soutient le [projet sur les meilleures pratiques mondiales concernant les nouvelles questions de politique générale préoccupantes mené dans le cadre de la SAICM](#). Le premier volet de ce projet est consacré à l'élimination progressive de la peinture au plomb. Le projet prévoit la collaboration avec les gouvernements afin de promouvoir l'adoption de lois régulant la peinture au plomb, ainsi qu'avec les PME pour encourager la reformulation des peintures au plomb.

Les directives techniques sur la reformulation des peintures au plomb ont été élaborées dans le cadre de la collaboration avec les PME lors du projet du FEM et de la SAICM visant à donner des indications sur la reformulation des peintures. Le projet contient des informations (voir la section « Ressources ») sur d'autres outils conçus par l'Alliance mondiale pour promouvoir l'adoption de lois relatives aux peintures au plomb, tels que le document « [Orientations et loi type en matière de réglementation de la peinture au plomb](#) » (ci-après dénommé « loi type »). La loi type a été mise au point afin de fournir des orientations aux pays sur la façon d'instaurer de nouvelles lois ou de modifier la législation existante. Les gouvernements peuvent s'en servir pour élaborer leurs propres textes législatifs, conformément aux cadres juridiques en vigueur et à leur contexte national.

Les pays ayant mis en place des lois limitant la teneur en plomb des peintures ont généralement suivi l'une des deux approches suivantes : 1) définition d'un ensemble de seuils réglementaires pour certaines substances chimiques en fonction des risques liés à chaque composé de plomb employé comme additif dans les peintures (procédé actuel du règlement REACH de l'Union européenne) ; 2) définition d'un seuil réglementaire unique pour la concentration totale en plomb dans les peintures quelles qu'en soient les sources. Ces deux approches ont permis de limiter la teneur en plomb des peintures.

La loi type recommande d'établir un seuil réglementaire unique pour la concentration totale de plomb dans la peinture. Elle indique que pour être efficaces, les lois sur les peintures au plomb doivent viser les objectifs clés suivants :

- la prévention de la fabrication, de la commercialisation et de l'importation de peintures dont la teneur en plomb dépasse le seuil réglementaire ;
- la mise au point de méthodes assurant le respect et l'application de la législation ;
- l'établissement de responsabilités et de modalités institutionnelles pour la gestion et à l'application des lois sur les peintures au plomb.

La loi type propose d'adopter des dispositions légales interdisant de vendre, d'offrir à la vente, de fabriquer à des fins de vente, de distribuer sur le marché et d'importer les peintures dont la teneur en plomb dépasse le seuil réglementaire. Le seuil proposé est de 90 mg/kg, sur la base du poids du contenu non volatil total de la peinture. Ce seuil réglementaire assure la meilleure protection sanitaire disponible et est de l'ordre du réalisable d'un point de vue technique. La loi type recommande aux industriels (fabricants, distributeurs et importateurs) de certifier la conformité des peintures au seuil établi. Les PME doivent renoncer aux additifs qui contiennent du plomb et chercher à réduire la teneur en plomb des matières premières.

Alors que de plus en plus de pays élaborent et adoptent des lois sur la peinture au plomb, ces directives techniques sont destinées à aider les PME à produire des peintures à faible teneur en plomb total conformes au seuil réglementaire en mettant au point des formules qui n'intègrent pas, de façon délibérée, des additifs au plomb, et qui tiennent compte de l'éventuelle teneur résiduelle en plomb des matières premières utilisées.

* L'expression « lois sur les peintures au plomb » est entendue au sens le plus large possible et comprend toute exigence légale obligatoire qui entraîne des conséquences en cas de non-respect. Il peut s'agir de statuts, de règlements ou de normes, tant qu'un mécanisme d'application est prévu.



TERMES ET DÉFINITIONS

Additif (ISO 4618:2014) : toute substance qui, ajoutée en petites quantités dans un produit de peinture, améliore ou modifie une ou plusieurs propriétés.

Charge : substance en grain ou en poudre, insoluble dans le milieu de suspension et utilisée pour modifier ou compléter certaines propriétés physiques.

NOTE 1 : en allemand, il convient d'éviter les termes « *Extender* », « *Extenderpigment* », « *Pigmentextender* » ou « *Verschnittmittel* ».

Colorant (ISO 4618:2014) : matière colorante, soluble dans le milieu d'utilisation.

Concentration pigmentaire volumique (CPV) (ISO 4618:2014) : rapport, exprimé en pourcentage, du volume total des pigments et/ou des matières de charge et/ou d'autres particules solides ne formant pas de feuillet, contenues dans un produit, au volume total des matières non volatiles.

Concentration pigmentaire volumique critique (CPVC) (ISO 4618:2014) : valeur de la concentration pigmentaire volumique pour laquelle le liant remplit

très exactement le volume laissé disponible entre les particules de matières pulvérulentes supposées au contact et au-dessus de laquelle certaines propriétés du feuillet sont notablement modifiées.

Corrosion (ISO 8044:2015) : interaction physico-chimique entre un métal et son milieu environnant entraînant des modifications dans les propriétés du métal et pouvant conduire à une dégradation significative de la fonction du métal, du milieu environnant ou du système technique dont ils font partie.

Couleur (ISO 4618:2014) : sensation provoquée par la perception de la lumière par l'œil humain d'une composition spectrale donnée (note à l'article : une couleur est caractérisée par sa teinte, sa saturation et sa luminosité).

Couleur terne ou pâle : couleur dont la saturation est réduite.

Durabilité (ISO 4618:2014) : aptitude d'un revêtement à résister aux agressions de son environnement.

Enduit : produit de peinture fortement chargé destiné essentiellement à niveler les irrégularités des subjectiles à peindre et à améliorer l'aspect de surface
NOTE 1 : le terme « enduit » est aussi largement utilisé dans le sens de charge.

Floculation (ISO 4618:2014) : formation d'agglomérats peu cohérents de pigment ou de matières de charge dans un produit de peinture.

Flottation (ISO 4618:2014) : séparation d'un ou de plusieurs pigments d'un produit de peinture coloré, conduisant à la formation de stries ou de plages de couleur différentes à la surface de la couche.

Inhibiteur de corrosion (ISO 8044:2015) : substance chimique qui, présente à une concentration appropriée dans un système de corrosion, diminue la vitesse de corrosion, sans changer notablement la concentration en agent corrosif.

Matière première : tout type de matière non transformée utilisée dans les processus de fabrication.

Metamérisme (ISO 4618:2014) : phénomène perçu lorsque deux spécimens ont la même couleur sous un éclairage, mais une réflexion spectrale et des courbes de transmission différentes.

Pouvoir masquant (ISO 4618:2014) : aptitude d'un revêtement à masquer par opacité la couleur ou les différences de couleur du subjectile.

Produit de peinture (ISO 4618:2014) : produit liquide, en pâte ou en poudre qui, appliqué sur un subjectile, forme une couche possédant des qualités protectrices, décoratives et/ou spécifiques.

Saignement (ISO 4618:2014) : migration d'une substance colorée d'un matériau dans un autre matériau en contact avec lui et qui peut produire un tachage ou une décoloration indésirable.

Saturation : pureté ou intensité d'une couleur qui permet de la qualifier de « terne » ou de « délavée » ou de la percevoir comme telle.

Surflottation (ISO 4618:2014) : mouvement des particules pigmentaires d'un revêtement liquide produisant une couleur qui, bien qu'uniforme sur toute la surface, est manifestement différente de celle du feuil humide fraîchement appliqué.

Peinture (ISO 4618:2014) : produit de peinture pigmenté qui, appliqué sur un subjectile, forme un feuil opaque ayant des propriétés protectrices, décoratives ou techniques particulières.

Pigment (ISO 4618:2014) : colorant sous forme de particules, insoluble dans le milieu de suspension (par exemple produit de peinture ou plastique).

REMARQUE : veuillez vous reporter aux explications ci-dessous concernant certains des termes employés dans les présentes directives.

- **Additif** : conformément à la norme ISO 4618:2014, ce terme désigne toute substance ajoutée en petites quantités (siccatisifs, agents dispersants, etc.)
- **Composé de plomb** : terme désignant les pigments synthétiques (PY 34, PR 104) et les siccatisifs qui sont des composés « purs » d'un seul produit chimique, par opposition aux pigments et aux charges naturels qui sont constitués d'un mélange indéterminé de composés.
- **Matière première** : conformément à l'ISO 4618:2014, terme qui désigne toutes les matières non transformées utilisées dans les processus de fabrication (pigments naturels ou synthétiques, additifs, résines, solvants, charges naturelles ou synthétiques de tout type).

4

LES PEINTURES AU PLOMB

Le plomb est un métal toxique naturellement présent dans la croûte terrestre. Dans de nombreuses parties du monde, la généralisation de son usage a entraîné une importante contamination de l'environnement, une exposition humaine et de graves problèmes de santé publique. L'OMS considère le plomb comme l'un des 10 produits chimiques gravement préoccupants pour la santé publique.

Il n'existe pas de seuil au-dessous duquel l'exposition au plomb n'aurait pas d'effets nocifs. Le plomb est susceptible de causer des dommages irréversibles au cerveau et au système nerveux, et d'entraîner ainsi une baisse de QI et des troubles du comportement. L'exposition au plomb peut également causer de l'anémie, augmenter les risques d'hypertension, et endommager les reins et le système reproducteur. Les jeunes enfants et les femmes enceintes (dont le fœtus peut être touché) sont particulièrement vulnérables aux effets néfastes du plomb. Un niveau d'exposition relativement faible peut suffire à entraîner des troubles neurologiques graves, voire irréversibles. Le plomb se diffuse dans l'organisme vers le cerveau, le foie, les reins et les os. Il est stocké dans les dents et les os, où il s'accumule au fil du temps. Pour évaluer l'exposition humaine, on mesure généralement la concentration

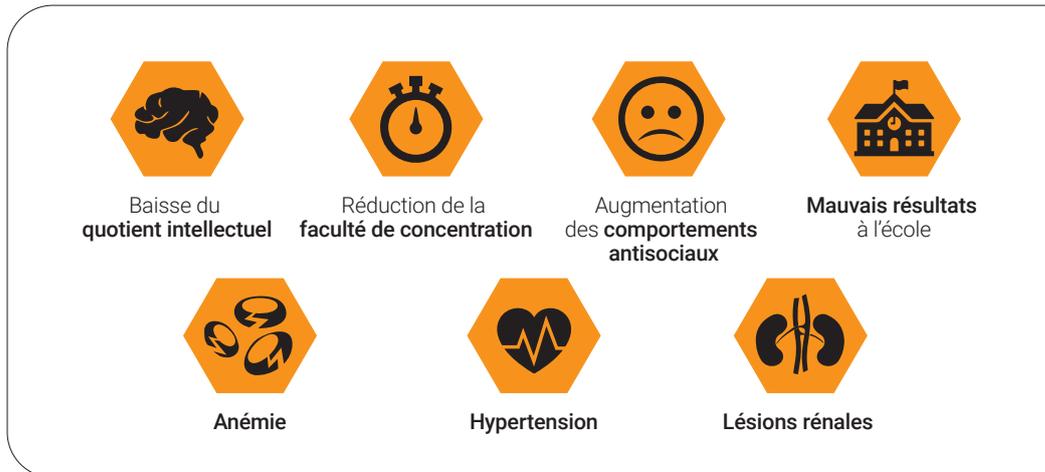
de plomb dans le sang. Le plomb présent dans les os passe dans le sang pendant la grossesse, et le fœtus y est donc exposé au cours de son développement.

Selon l'[Institute for Health Metrics and Evaluation](#), les effets à long terme de l'exposition au plomb ont entraîné 901 700 décès et la perte de 21,6 millions d'années de vie en bonne santé, en raison d'une incapacité ou d'un décès, en 2019 dans le monde.

Le plomb libéré dans l'environnement à partir de n'importe quelle source, y compris de peintures, est également toxique pour les plantes, les animaux et les micro-organismes. Chez l'ensemble des animaux étudiés, il a été établi que le plomb a des effets néfastes sur plusieurs organes et systèmes organiques, y compris le sang, le système nerveux central et les reins ainsi que les systèmes reproducteur et immunitaire. Il s'accumule dans la plupart des organismes, qui y sont exposés au sein de leur milieu de vie de multiples façons et par de nombreuses sources.

Le plomb est un polluant dont la toxicité largement démontrée pour l'environnement menace les écosystèmes marins et terrestres (PNUE, 2010). Des

► Figure 2 – Effets de l'exposition au plomb sur la santé des enfants*



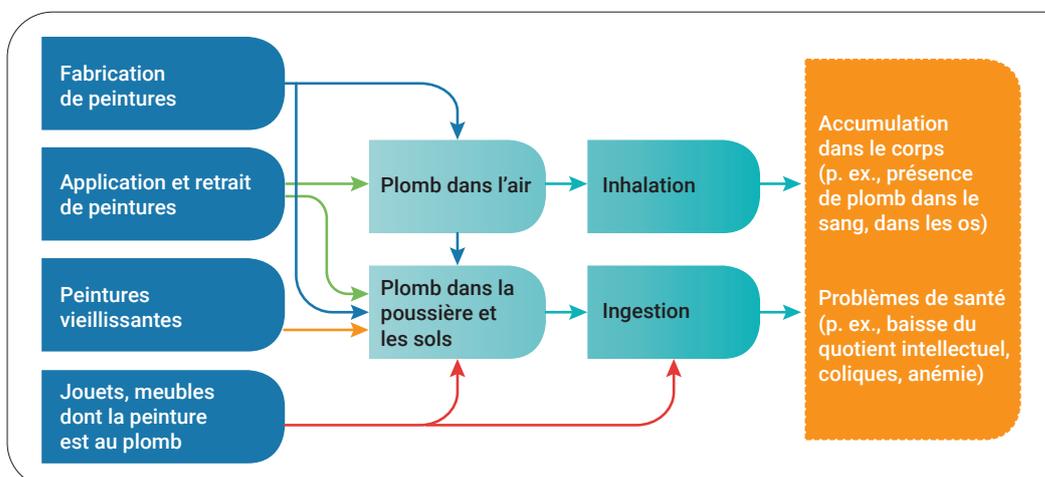
Source : Programme des Nations Unies pour l'environnement, *Update on the Global Status of Legal Limits on Lead in Paint*. 2020. Consulté en septembre 2021. Disponible à l'adresse suivante : <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/35105/GS-2020.pdf?sequence=3>.

études indiquent que les forêts constituent des puits de particules atmosphériques. Les particules de plomb présentes dans l'atmosphère se déposent sur le feuillage et sont acheminées vers le sol par l'eau de pluie ou la chute des feuilles mortes. Par conséquent, les organismes des écosystèmes forestiers peuvent être exposés à des taux de plomb particulièrement élevés (Zhou *et al.*, 2019). Il est également reconnu que la contamination par le plomb touche une variété d'espèces d'oiseaux et représente un risque pour la biodiversité (Haig *et al.*, 2014). L'ingestion de plomb par les espèces marines dans les eaux contaminées, notamment les plantes aquatiques, les invertébrés et les poissons, a également été démontrée. Chez les poissons, par exemple, le plomb peut avoir des effets hématologiques et neurotoxiques et peut perturber la fonction enzymatique, ce qui nuit à leurs chances de survie à long terme et à leur reproduction (Demayo *et al.*, 1982).

Pendant longtemps, des composés de plomb ont été intégrés à la composition de peintures décoratives

et industrielles ainsi que d'autres enduits pour en rehausser la couleur, réduire la corrosion sur les surfaces métalliques ou diminuer le temps de séchage. À l'heure actuelle, les producteurs de peinture disposent d'un large accès à des pigments et siccatifs sans plomb. Certaines des matières premières utilisées dans la fabrication de peintures peuvent également présenter une forte teneur en plomb d'origine naturelle. Le vieillissement, le décollage ou l'écaillage des peintures au plomb après leur application libère des particules de plomb dans la poussière et dans le sol à l'intérieur et autour des maisons, des écoles, des terrains de jeux et d'autres endroits. La peinture décorative à usage domestique a été reconnue comme principale source d'exposition des enfants au plomb présent dans les peintures. L'exposition au plomb peut être évitée. L'élimination de l'exposition au plomb à sa source, par l'adoption de lois encourageant la reformulation des peintures sans matières premières contenant du plomb, est l'action la plus efficace pour protéger la population et l'environnement des effets nocifs de ce métal.

► Figure 3 – Modes et sources d'exposition au plomb chez les êtres humains Source : OMS, 2020.



Le plomb qui contamine la terre et la poussière est facilement avalé ou inhalé, en particulier par les jeunes enfants qui jouent sur le sol ou à l'extérieur et qui portent leurs mains ou divers objets à la bouche. Les enfants peuvent également ingérer le plomb présent dans les peintures qui revêtent leurs jouets. De même que les adultes, ils sont susceptibles d'être exposés au plomb présent dans la poussière et les écailles de peinture au plomb retirée des murs. Le plomb est particulièrement dangereux pour les jeunes enfants, car ils en absorbent une quantité quatre à cinq fois plus élevée que les adultes pour une même source.

Les effets négatifs de l'exposition au plomb sur le développement du cerveau des enfants ont des coûts économiques importants dont la charge pèse sur les enfants touchés, leur famille et les sociétés dans leur ensemble. Ils comprennent le coût de soins de santé, ainsi que ceux liés aux pertes de productivité et aux déficiences intellectuelles. L'exposition au plomb atteint son poids économique le plus important dans les pays à revenu faible ou intermédiaire. D'après les estimations, les coûts annuels (en dollars internationaux) de l'exposition au plomb par région, eu égard à la diminution du QI sont, entre autres, les suivants : 134,7 milliards en Afrique, 142,3 milliards en Amérique latine et aux Caraïbes et 699,9 milliards en Asie*.

L'exposition professionnelle au plomb peut se produire lors de la fabrication, de l'application, du vieillissement et de l'enlèvement de la peinture en l'absence de mesures techniques de prévention, de mesures d'hygiène du travail et d'équipement de protection individuelle appropriés (Were *et al.*, 2014 ; Rodrigues *et al.*, 2010). Au cours de la phase de production, les travailleurs peuvent être exposés à des ingrédients contenant du plomb, qui sont souvent sous forme de poudre. Lorsque la peinture est appliquée par

pulvérisation ou enlevée par grattage, projection d'abrasif, ponçage à sec ou décapage thermique, des particules et des fumées de plomb sont libérées et constituent une source d'exposition par inhalation⁸. En outre, les particules de plomb se déposent sur la peau et les vêtements des travailleurs, d'où elles peuvent être ingérées. Lorsque les travailleurs ne disposent pas d'installations pour changer leurs vêtements ou se laver, ce dépôt peut également devenir source d'exposition à domicile pour leurs familles (OMS, 2020).

Retirer les peintures au plomb utilisées à des fins de décoration dans les maisons, les écoles et d'autres bâtiments peut avoir un coût considérable. Par opposition, il est peu coûteux d'éliminer les composés de plomb au cours de la fabrication de nouvelles peintures décoratives. De fait, de nombreuses entreprises ont déjà réussi à reformuler leurs produits de peinture en évitant d'y ajouter délibérément du plomb. D'après les industriels du secteur, il est possible d'éliminer le plomb de la composition des peintures décoratives et à usage domestique, et les incidences économiques et techniques de cette reformulation sont maîtrisables. Un nombre grandissant de fabricants déclarent publiquement qu'il est possible d'éliminer les composés de plomb dans tous les types de peinture.

Partout dans le monde, de plus en plus de gouvernements cherchent à élaborer des lois visant à éliminer le plomb dans les peintures. Il est important que les fabricants de peinture se tiennent informés de ces évolutions dans leur pays ou dans les pays vers lesquels ils exportent leurs produits, afin d'éclairer leurs décisions en matière de reformulation de peinture.

Les matières premières utilisées dans les peintures qui sont susceptibles de contenir du plomb sont présentées dans le tableau suivant.

► **Tableau 1 – Matières premières pouvant contenir du plomb**

TYPE DE PEINTURE	PIGMENTS	ENDUITS	SICCATIFS
Apprêts, couches intermédiaires et de finition à base d'huile et d'alkyde (les résines alkyde peuvent être source de plomb en raison du catalyseur au plomb utilisé dans leur synthèse)	●	●	●
Apprêts, autres bases	●	●	
Couches intermédiaires, autres bases		●	
Couches de finition, autres bases	●	●	

* Pour obtenir plus d'informations, veuillez consulter le site Web suivant : <https://med.nyu.edu/departments-institutes/pediatrics/divisions/environmental-pediatrics/research/policy-initiatives/economic-costs-childhood-lead-exposure-low-middle-income-countries>.

► Figure 4 – Inspection d’une peinture au plomb au moyen d’un analyseur de spectrométrie de fluorescence X



Photo : www.istockphoto.com

Il convient de noter que les enduits synthétiques ne contiennent aucun composé de plomb, mais que la plupart des enduits sont d'origine naturelle et peuvent contenir du plomb. L'utilisation de ces enduits d'origine naturelle peut donc entraîner l'ajout non intentionnel de plomb dans le produit. Les peintures peuvent également être contaminées involontairement en raison de la teneur en plomb de pigments naturels, tels que les oxydes de fer.

Enfin, du plomb peut également s'infiltrer dans les peintures au cours de leur production. La contamination se produit si l'on utilise pour produire de la peinture sans plomb le même équipement que celui qui a servi à produire de la peinture qui en contient, sans le nettoyer préalablement.

Il existe différentes méthodes d'analyse utilisées pour mesurer le plomb dans la peinture. Le *Guide succinct des méthodes de dosage du plomb dans la peinture* élaboré par l'OMS présente une vue d'ensemble des principaux outils disponibles, notamment les méthodes d'analyse en laboratoire, la spectrométrie de fluorescence X à l'aide d'appareils portables ou de paillasse et les trousseaux chimiques de contrôle (OMS, 2020).

Le tableau suivant présente les propriétés dangereuses des matières premières contenant du plomb les plus couramment utilisées.

► **Tableau 2 – Propriétés dangereuses des composés de plomb utilisés dans les peintures**

SUBSTANCE CHIMIQUE/ NUMÉRO CAS	CODE DU COLOUR INDEX*	MENTION DE DANGER DU SGH
PIGMENTS (OCDE, 2021a)		
Rouge de chromate, de molybdate et de sulfate de plomb (PbCrO ₄ (CrH ₂ O ₄ ·Pb)/12656-85-8	PR 104	H350 : peut provoquer le cancer H360Df : peut nuire à la fertilité ou au fœtus H373 : risque présumé d'effets graves pour les organes à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée
Chromate de plomb (PbCrO ₄)/7758-97-6	PY 34	H400 : très toxique pour les organismes aquatiques H410 : très toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme
Vert de chrome (mélange de chromate de plomb et de bleu de fer) PG 15		
Tétoxyde de plomb ou minium (Pb ₃ O ₄)/1314-41-6	PR 105	H302 : nocif en cas d'ingestion H332 : nocif par inhalation H351 : susceptible de provoquer le cancer H360 : peut nuire à la fertilité ou au fœtus H360 Df : peut nuire au fœtus. Susceptible de nuire à la fertilité H362 : peut être nocif pour les bébés nourris au lait maternel H372 : risque avéré d'effets graves pour les organes H372 : risque avéré d'effets graves pour les organes (système nerveux central, système sanguin et reins) à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée par inhalation ou ingestion H410 : très toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme
Monoxyde de plomb (PbO)/1317-36-8	PY 46	H316 : provoque une légère irritation cutanée H341 : susceptible d'induire des anomalies génétiques H351 : susceptible de provoquer le cancer H360 : peut nuire à la fertilité ou au fœtus H373 : risque présumé d'effets graves pour les organes (système nerveux central, système sanguin et reins) à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée H413 : peut être nocif à long terme pour les organismes aquatiques
Blanc de plomb (2PbCO ₃ ·xPb(OH) ₂)/37361-76-5	PW 1	H350 : peut provoquer le cancer H360 : peut nuire à la fertilité ou au fœtus H370 : risque avéré d'effets graves pour les organes (système nerveux central, système sanguin et reins) H372 : risque avéré d'effets graves pour les organes (système nerveux central, système sanguin et reins) à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée H413 : peut être nocif à long terme pour les organismes aquatiques
SICCATIFS (ECHA, 2021a ; ECHA, 2021b)		
Octoate de plomb (C ₁₆ H ₃₀ O ₄ Pb) – 7319-86-0	Sans objet	H302 : nocif en cas d'ingestion H332 : nocif par inhalation H360 : peut nuire à la fertilité ou au fœtus
Naphténate de plomb (C ₂₂ H ₁₄ O ₄ Pb) – 61790-14-5	Sans objet	H373 : risque présumé d'effets graves pour les organes à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée H400 : très toxique pour les organismes aquatiques H410 : très toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme

*Le Colour Index attribue un nom et un numéro uniques à chaque pigment (voir la section 6.2).

Dans la fabrication de peintures, ces matières premières peuvent être remplacées par de nombreux produits disponibles sur le marché.



5

PROCESSUS DE REMPLACEMENT

Les fabricants reconnaissent que l'application de la loi est le principal facteur qui motive le remplacement des produits chimiques dangereux. Cependant, de nombreuses entreprises et organisations ont pris des mesures supplémentaires afin d'instaurer d'autres critères, qui portent notamment sur une meilleure connaissance des fournisseurs, la politique de l'organisation, les exigences relatives à la chaîne d'approvisionnement, les coûts des soins de santé, la protection des travailleurs et de l'environnement ainsi que la pression exercée par le public ou les employés.

La substitution est l'un des principes de base de la gestion des risques liés aux produits chimiques. Ce principe stipule que les substances chimiques dangereuses doivent être systématiquement remplacées par des produits moins dangereux ou, de préférence, par des produits pour lesquels aucun danger n'a été identifié (Olofsson, 2011). La substitution ne se résume généralement pas au remplacement d'un produit chimique par un autre. La différence entre les propriétés des deux produits chimiques peut nécessiter d'autres changements d'ordre technique ou organisationnel.

La substitution peut consister à remplacer une substance dangereuse, que ce soit en utilisant une

alternative technologique, en mettant en place une mesure organisationnelle ou en revoyant totalement la conception du produit.

Outre les composés de plomb, de nombreuses autres matières premières très dangereuses sont utilisées dans l'industrie de la peinture, notamment des solvants (naphta, toluène), des additifs (phtalate de dibutyle comme plastifiant, formaldéhyde comme agent de préservation des peintures à base d'eau), des pigments de chrome hexavalent (chromate de zinc) et des composés de brome pour peintures ignifuges.

Les informations fournies dans ce chapitre peuvent aider les entreprises à poursuivre leurs efforts de substitution des produits chimiques dangereux.

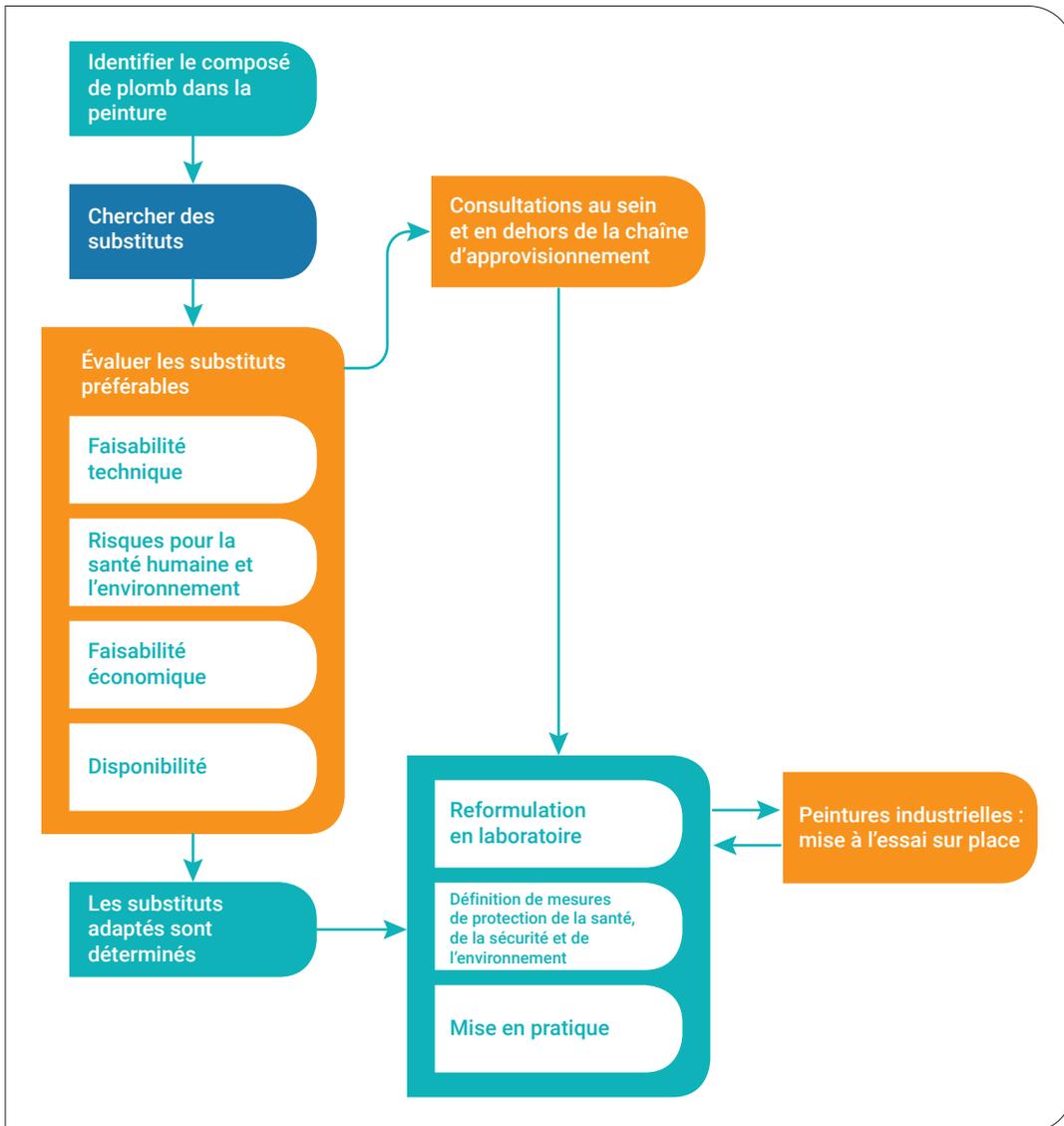
Le diagramme ci-dessous illustre les étapes à suivre pour remplacer les matières contenant du plomb dans les peintures. Ce processus est applicable à toutes les substances chimiques dangereuses pour lesquelles des produits de remplacement sont disponibles sur le marché et dont les propriétés dangereuses sont déjà reconnues, ce qui élimine le besoin de mener des recherches supplémentaires. Il soutiendra les efforts des entreprises visant à remplacer volontairement les

matières premières contenant du plomb, à respecter les seuils de teneur en plomb existants ou prévus (p. ex, ceux prévus dans la loi type ou appliqués dans des pays comme l'Uruguay, le Kenya et les Philippines) ou à satisfaire aux exigences liées à l'élimination progressive de composés de plomb spécifiques (p. ex., règlement européen REACH).

pratique de produits de remplacement. Des acteurs externes à la chaîne d'approvisionnement peuvent également fournir des informations sur les options de remplacement.

La recherche de produits de remplacement commence par l'analyse des fonctions de la substance que l'on

► **Diagramme 1 – Étapes de la substitution des composés de plomb**



5.1 Identification des éventuels produits de remplacement

Un produit de remplacement est une substance qui peut être utilisée à la place d'une substance dangereuse, capable de remplir la même fonction que la substance originale.

Il est essentiel que les parties prenantes de la chaîne d'approvisionnement entretiennent une bonne communication lors de la recherche et de la mise en

cherche à remplacer. Une connaissance détaillée et spécifique de la fonction exacte d'une substance pour une utilisation particulière permettra aux entreprises de rechercher d'autres moyens d'assurer cette fonction. Il est essentiel de prendre en compte les effets que peut avoir l'utilisation d'un produit de remplacement sur la fonction d'un produit fini. Il peut également s'avérer nécessaire d'étudier les qualités des produits finis sur une plus longue période. Par exemple, certaines peintures doivent résister aux intempéries tout au long de la durée de vie d'un produit donné.

Il est important de définir toutes les fonctions d'une substance pour chaque utilisation (parfois en vue de servir une industrie ou un client en particulier) afin de pouvoir déterminer quels produits de remplacement permettraient d'accomplir ces mêmes fonctions. Une fois les fonctions et les conditions d'utilisation précisément définies, consulter les parties prenantes de la chaîne d'approvisionnement et les acteurs externes permet d'obtenir de meilleurs résultats.

La communication au sein de la chaîne d'approvisionnement est un processus interactif auquel la totalité des parties concernées peut participer. Il s'agit d'une composante importante de la recherche de produits de remplacement utilisables en toute situation. Au sein de la chaîne d'approvisionnement, les entreprises peuvent se renseigner sur les produits de remplacement envisageables à l'aide de leurs propres ressources (cahiers des charges, connaissances des employés, etc.) ou auprès de fournisseurs, d'utilisateurs, ou d'associations industrielles et professionnelles. La communication au sein de la chaîne d'approvisionnement aidera les entreprises à identifier les produits de remplacement disponibles, à mesurer leurs faisabilités technique et économique ainsi qu'à obtenir des informations sur leur sécurité et leur disponibilité.

Il peut être utile de se renseigner auprès d'acteurs externes à la chaîne d'approvisionnement, notamment auprès de revues professionnelles, d'organismes de recherche, de groupes de défense de l'environnement, d'organisations non gouvernementales, d'institutions académiques, de bases de données* (p. ex. la plateforme SUBSPORT, le système REACH-IT, les dossiers non confidentiels élaborés conformément à l'annexe XV du règlement REACH, les bases de données des brevets...) ou d'experts du domaine.

5.2 Évaluation des éventuels produits de remplacement

Lorsque d'éventuels produits de remplacement sont identifiés, leur analyse constitue la première étape du processus de planification de la substitution (ECHA, 2011).

Un produit de remplacement peut être utilisé dans les cas où :

- il remplit une fonction équivalente à celle du composé de plomb (les pigments de finition ne peuvent généralement pas être remplacés par une seule substance et nécessitent donc de recourir à plusieurs produits de remplacement appropriés) ;

- il donne lieu à une réduction des risques globaux pour la santé humaine et l'environnement, compte tenu de la pertinence et de l'efficacité des mesures de gestion des risques dans les installations ;
- son utilisation est techniquement et économiquement faisable ; et
- il est disponible sur le marché.

La première phase d'analyse consiste à évaluer la faisabilité technique du produit de remplacement. Une fois que des produits de remplacement dont les fonctions correspondent aux exigences établies sont identifiés, il faut déterminer s'il est nécessaire d'adapter ou de modifier les processus. Un produit de remplacement doit parfois faire l'objet d'un traitement différent afin de remplir la même fonction que la substance qu'il remplace (voir la section 6.6.2).

Pour les produits de remplacement considérés comme étant techniquement faisables, la deuxième phase d'analyse est l'évaluation des dangers et des risques** qu'ils posent pour la santé humaine et l'environnement. Cette évaluation consiste à définir des critères de dangers et de risques considérés comme acceptables et à comparer les propriétés dangereuses de la substance ou du mélange (siccatifs, etc.) à remplacer avec celles des éventuels produits de remplacement. La comparaison de propriétés et d'effets similaires entre des substances ou des mélanges n'est pas toujours simple. Lorsque la comparaison des profils de risque ou un manque de données soulève une inquiétude, il peut être nécessaire de mener une évaluation plus détaillée.

L'analyse des dangers doit identifier les principaux effets des produits de remplacement sur la santé et l'environnement afin d'éviter que la substitution n'entraîne des risques impossibles à maîtriser. Les fiches de données de sécurité sont un bon moyen de se renseigner sur les propriétés dangereuses des produits chimiques. Leur objectif est de fournir des informations complètes sur les substances ou les mélanges utilisés comme solutions de remplacement. Ces fiches fournissent des informations sur les risques (y compris environnementaux) ainsi que des orientations sur les mesures de sécurité aux employeurs comme aux travailleurs.

Les produits de remplacement peuvent toutefois être soumis à des analyses plus sophistiquées, qu'il est possible de classer dans les deux catégories suivantes (Edwards, Rossi et Civie, 2016) :

* ANNEXE 1 – Conseils pour la recherche d'informations

** Un risque découle de deux facteurs, à savoir les propriétés intrinsèques du produit chimique (ses dangers) et la façon dont il est utilisé (les modes d'exposition).

- a. Collectes de données sur les risques : celles qui portent sur les propriétés dangereuses d'un produit chimique doivent être compilées dans un tableau. Les entreprises peuvent établir leurs propres règles pour l'analyse et la comparaison des différents produits de remplacement. Cette catégorie comprend notamment le *Pollution Prevention Options Analysis System* (P2OASYS)**, la méthode d'analyse par colonnes de la version 2017 du SGH ainsi que la méthode de substitution de 5 produits chimiques hautement prioritaires* de l'Institut pour la réduction de l'utilisation des produits toxiques de l'université du Massachusetts.
- b. Évaluations des substances chimiques en fonction de dangers précédemment définis comme prioritaires : ces méthodes comprennent l'élaboration de recommandations visant à éliminer certains produits chimiques très dangereux. Elle inclut également des instruments de prise de décisions au sujet des produits de remplacement. L'outil *Green Screen for Safer Chemicals**** est un exemple de ce type de méthodes.

La principale limite de ces outils est le manque de données sur les propriétés dangereuses de la plupart des produits chimiques actuellement utilisés.

Un produit de remplacement peut être plus sûr (notamment parce qu'il n'est pas carcinogène ou mutagène), mais peut présenter d'autres dangers, liés par exemple à sa corrosivité ou à son inflammabilité. Ces risques sont plus faciles à maîtriser et il est

nécessaire de prévoir les mesures nécessaires pour les gérer et les contrôler lors de l'utilisation de ces produits.

Les produits de remplacement doivent être analysés à plusieurs reprises, car les résultats obtenus à un moment donné peuvent changer à mesure que les propriétés dangereuses et les risques associés aux produits deviennent mieux connus.

La faisabilité économique consiste à identifier l'option la moins coûteuse parmi un ensemble de solutions de remplacement qui permettent toutes d'atteindre les objectifs fixés. Son évaluation comprend l'estimation des coûts de production directs et indirects tangibles, plutôt que de simplement comparer le prix des produits de remplacement à celui de la substance chimique à remplacer.

La première étape consiste à déterminer la disponibilité et le coût des éventuels produits de remplacement au moyen d'informations facilement accessibles en vue de comparer les coûts. Pour vérifier la viabilité des produits de remplacement, il est nécessaire d'évaluer si son utilisation engendrerait d'autres coûts, par exemple liés à une plus forte consommation de produits chimiques, à une augmentation des coûts de fabrication ou à l'achat de nouveaux équipements. Il faut également garder à l'esprit que les prix ne sont pas fixes et peuvent potentiellement être réduits. L'interdiction ou la restriction de l'utilisation de certaines substances chimiques provoque une hausse de la demande, qui entraîne une augmentation de l'offre des produits de remplacement et donc une baisse des prix.

* Pour obtenir plus d'informations, veuillez consulter le site Web suivant : https://www.turi.org/Our_Work/Alternatives_Assessment/Alternatives_Assessment/Tools_and_Methods/P2OASys_Tool_to_Compare_Materials.

** Des informations supplémentaires sont accessibles à l'adresse suivante : <https://www.yumpu.com/en/document/view/7083577/turi-5-chemicals-alternatives-assessment-study-high-priority>.

*** Pour obtenir davantage d'informations, veuillez consulter le site Web suivant : <https://www.greenscreenchemicals.org/>.



SUBSTITUTION DES PIGMENTS DE PLOMB

Il est nécessaire de sélectionner les bonnes matières premières afin que la performance de la peinture soit optimale, notamment en matière d'application (au trempé, par pulvérisation, etc.), d'adhérence à un support, de durcissement, de protection mécanique ou chimique requise et d'aspect décoratif. La peinture est un processus complexe qui comprend un ensemble de variables chimiques, physiques, environnementales, économiques, et relatives à la santé, à la sécurité et au génie des procédés.

Les peintures sont composées de liants, de solvants, de pigments, d'enduits et de différents additifs. Le tableau suivant contient des informations sur les fonctions et les performances exigées pour les pigments et les charges (Goldschmidt et Streitberger, 2007).

La couleur ainsi que le pouvoir colorant et masquant d'une peinture dépendent largement de la taille et de la distribution granulométrique des particules de

► **Tableau 3 – Exigences fonctionnelles et de qualité appliquées aux pigments et aux charges**

FONCTIONS DES PIGMENTS	EXIGENCES RELATIVES AUX PIGMENTS ET AUX CHARGES	FONCTIONS SPÉCIFIQUES DES CHARGES
<ul style="list-style-type: none"> • Absorption partielle • Diffusion de la lumière • Effets d'optique par réflexion orientée ou interférentielle • Protection contre les rayons ultraviolets • Protection contre la corrosion 	<ul style="list-style-type: none"> • Dispersibilité • Insolubilité • Solidité à la lumière et résistance aux intempéries • Résistance à la chaleur • Résistance aux effets des produits chimiques • Compatibilité physiologique 	<ul style="list-style-type: none"> • Enduisage • Ponçabilité • Amélioration des qualités mécaniques et techniques de l'enduit • Amélioration des propriétés d'inhibition de la corrosion

pigments. La concentration pigmentaire volumique, le choix des additifs dispersants, l'interaction entre les pigments et les polymères ainsi que le processus de dispersion sont d'autres facteurs liés aux pigments qui influent sur les propriétés des peintures. La dispersion (ou le broyage) agit sur la teinte, le pouvoir masquant, le brillant, la viscosité, la stabilité, la résistance aux intempéries et l'apparence du feuil (voile, surflottation, flottation, etc.).

En plus du remplacement des pigments de plomb par des produits moins dangereux, la reformulation des peintures peut également supposer des changements dans la base de broyage, les additifs mouillants et dispersants et le processus de dispersion. Remplacer les pigments de plomb dans les couches de finition

nécessite également d'ajuster les couleurs au moyen de nuances. Ces questions sont traitées dans le présent chapitre qui présente les éléments de base de la théorie des couleurs ainsi que le processus et les additifs de dispersion.

6.1 Théorie des couleurs

La luminosité, la teinte et la saturation sont des termes standard utilisés dans l'industrie de la peinture pour décrire les trois dimensions de la couleur. Comprendre ces termes est indispensable pour réussir à ajuster les couleurs. Les couleurs peuvent varier en fonction de l'une, des deux ou des trois dimensions.

► Encadré 2 – Luminosité, teinte et saturation

Luminosité (clarté ou obscurité) : cette dimension indique le degré de clarté ou de noirceur d'une couleur. Elle est mesurée verticalement dans la représentation sphérique des couleurs (voir la figure 5). Le haut de l'échelle correspond aux couleurs les plus blanches, qui s'assombrissent peu à peu et passent par le gris, au milieu, pour atteindre le noir, tout en bas. La luminosité d'une couleur est décrite en la qualifiant de plus sombre ou de plus claire.

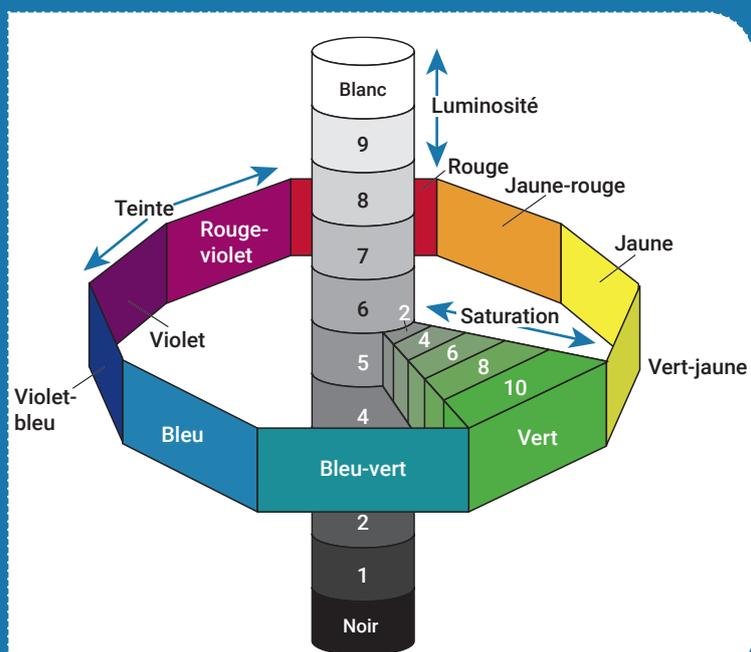
Teinte (nuance) : cette dimension forme un cercle externe dans la représentation sphérique des couleurs. Elle décrit la transition du jaune, du rouge et du bleu (les couleurs primaires) vers le vert.

L'évolution des couleurs suit le cercle des teintes : un bleu peut tendre vers le rouge et se transformer en violet ou prendre des teintes vertes (bleu verdâtre) ; un rouge peut être rendu plus bleu (violet ou bordeaux) ou plus jaune (orange) ; un jaune peut devenir plus rouge ou plus vert (couleurs secondaires). Afin de décrire les différences de teinte, on dira par exemple qu'une couleur est plus rouge ou plus verte qu'une autre.

Saturation (intensité, éclat) : cette dimension traduit le degré d'intensité et d'éclat d'une couleur. Elle s'échelonne le long des rayons qui partent de l'axe central vers la périphérie. Les couleurs les moins saturées, qui sont ternes et délavées, sont proches du centre de la représentation sphérique, aux confins de laquelle se situent les couleurs les plus intenses. Les variations de saturation sont décrites en qualifiant une couleur de plus ou moins saturée.

Le noir, le blanc et le gris sont des couleurs achromatiques, c'est-à-dire dépourvues de teinte.

► Figure 5 – Représentation sphérique des couleurs



Pour produire une couleur vive et intense, il faut utiliser des couleurs primaires qui ne contiennent pas d'autres nuances, afin que celles-ci n'affectent pas la couleur visée. Par exemple, un vert, un jaune ou un bleu intense ne doit pas contenir de rouge et donc être produit à partir de jaune et de bleu verdâtres ; les violets purs proviennent du mélange de rouge bleuté et de bleu rougeâtre sans nuance jaune ; l'orange intense résulte de l'association de rouge jaunâtre et de jaune rougeâtre qui ne contiennent pas de bleu.

Plutôt que de les éclaircir, le blanc pâlit toutes les couleurs et n'en altère pas la teinte lorsqu'il est utilisé à des fins de nuancage.

Même l'ajout d'une petite quantité de couleur complémentaire (rouge pour le vert, jaune pour le violet et bleu pour l'orange) induit une désaturation de la couleur. L'intensité (la saturation) de la couleur diminue lorsqu'elle est mélangée à sa couleur complémentaire.

Le noir peut être employé en petites quantités pour foncer les couleurs. En utiliser trop rendrait la couleur presque noire. Les couleurs peuvent également être assombries en y ajoutant leur couleur complémentaire.

Cela produit une couleur foncée plus riche que celle obtenue par la simple incorporation de noir.

6.2 Le Colour Index

Le Colour Index* est le système standard de classification des pigments par code universellement reconnu. Publié pour la première fois en 1925, il est actuellement tenu à jour par la Society of Dyers and Colourists et l'American Association of Textile Chemists and Colourists. Le Colour Index attribue un nom unique et un numéro à chaque pigment. Les tableaux suivants présentent les abréviations du Colour Index (tableau 4) ainsi que les numéros assignés à la structure chimique des pigments (tableau 5). Les codes attribués aux colorants commencent par la lettre A pour les colorants acides et par la lettre B pour les colorants basiques.

Les deux premières lettres décrivent la couleur générale du pigment (tableau 4), et le numéro est l'identifiant individuel du pigment (tableau 5).

► **Tableau 4 – Abréviations des noms de pigments du Colour Index**

ABRÉVIATION	PIGMENT	ABRÉVIATION	PIGMENT
PB	pigment bleu	PBk	pigment noir
PBr	pigment brun	PG	pigment vert
PM	pigment métallique	PO	pigment orange
PV	pigment violet	PR	pigment rouge
PW	Pigment blanc	PY	pigment jaune

► **Tableau 5 – Numéros associés à la structure chimique d'une sélection de pigments**

CLASSE CHIMIQUE	NUMÉROTATION DANS LE COLOUR INDEX	CLASSE CHIMIQUE	NUMÉROTATION DANS LE COLOUR INDEX
Composés nitrosés	100000–102999	Stilbènes	400000–407999
Composés nitrés	103000–109999	Composés du diphenylméthane	410000–419999
Monoazoïques	110000–199999	Composés du triarylméthane	420000–449999
Diazoïques	200000–299999	Composés du xanthène	450000–459999

* Pour obtenir plus d'informations, veuillez consulter le site Web disponible à l'adresse suivante : <https://colour-index.com/>.

6.3 Processus de dispersion

La norme ISO 18451-1 établit trois types de particules présentes dans les pigments en poudre : les particules primaires, les agrégats et les agglomérats.

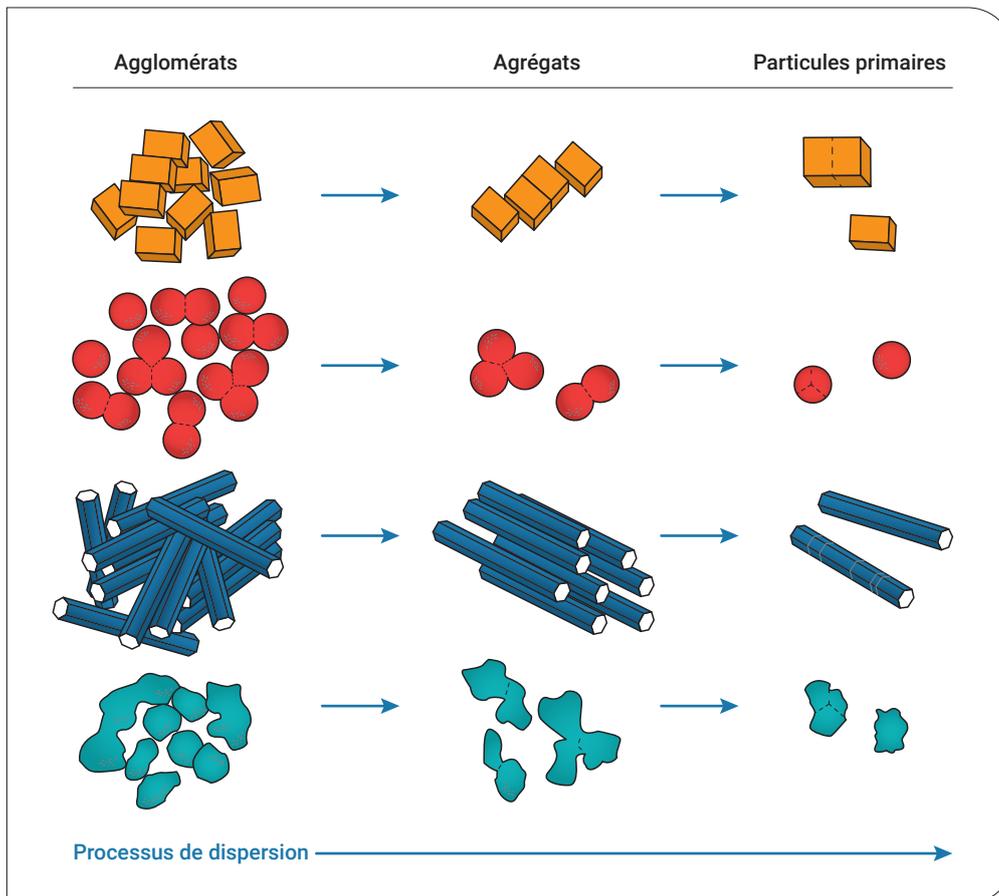
L'objectif de la dispersion est de parvenir à une distribution stable et uniforme de particules de pigment précisément séparées (particules primaires et agrégats) au sein d'un milieu (voir la figure 6).

Le processus de dispersion (ou de broyage) se divise en trois étapes :

- Décomposition mécanique des agglomérats en agrégats et en particules primaires par broyage ;

- Mouillage des particules séparées (les pigments sont mis en contact avec le milieu plutôt qu'avec l'air ou l'humidité) ; et
- Stabilisation des particules visant à éviter qu'elles ne s'agglomèrent à nouveau par empêchement stérique moyennant une chaîne polymère adsorbée ou une rétroionisation entre particules de la même charge. Les agents dispersants modernes combinent des mécanismes de stabilisation stérique et électrostatique. Ce procédé est généralement connu sous le nom de « stabilisation électrostérique ».

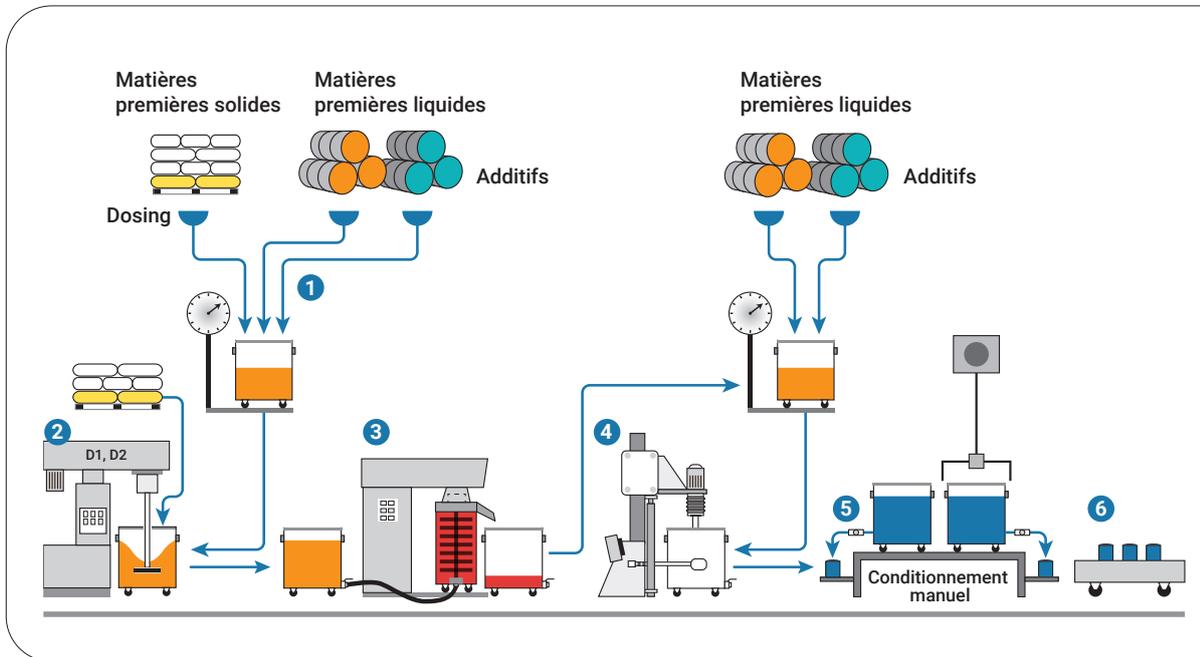
► Figure 6 – Modèles de composition des pigments de la norme ISO 18451-1



Le schéma suivant (figure 7) illustre le processus de fabrication de peintures.

En plus de correctement disperser les particules de pigments, il est important d'en assurer la stabilisation à long terme. Un manque de stabilisation pourrait en

► Figure 7 – Processus de fabrication des peintures



- 1 Pesage et dosage des matières premières (résines, solvants, pigments, enduits et additifs)
- 2 Mélange par disperseur (pré-broyage) : mouillage et séparation mécanique des agglomérats
- 3 Broyage (dispersion) : poursuite de la séparation et stabilisation de la dispersion de pigments
- 4 Dilution : mélange de la dispersion avec une solution préparée à l'avance d'autres composants liquides (liants, solvants, additifs) pour la rendre homogène
- 5 Filtration
- 6 Conditionnement

La production de peinture doit être supervisée afin d'ajuster la viscosité de la pâte, la température, le taux d'écoulement dans le dispositif de broyage et la taille de particules requis lors du broyage.

Au cours de l'opération de broyage, la décomposition mécanique, le mouillage et la stabilisation ne suivent pas nécessairement un ordre chronologique. Ces sous-processus se produisent en partie successivement et en partie simultanément.

La norme ISO 1524:2013 (Peintures, vernis et encres d'imprimerie – Détermination de la finesse de broyage) définit une méthode pour déterminer la finesse de broyage des peintures au moyen d'une jauge appropriée graduée en micromètres. Cette méthode s'applique à tous les types de peintures liquides et de produits assimilés, excepté les produits contenant des pigments en forme de lamelles (par exemple, des copeaux, de l'oxyde de fer micacé ou des particules de zinc).

effet avoir des répercussions négatives incluant un changement de couleur, une sédimentation ou une modification de la viscosité de la dispersion.

Les poudres de pigments secs doivent être mouillées, dispersées et stabilisées au moyen d'additifs bien particuliers. Les additifs mouillants accélèrent le mouillage des agglomérats de pigments par la résine, tandis que les additifs dispersants améliorent la stabilité des pigments dispersés. Il est courant qu'un produit serve à la fois d'additif mouillant et dispersant. Le processus de mouillage des peintures à base de solvant diffère grandement de celles à base d'eau. Le mouillage des systèmes à base de solvants est généralement assez facile en raison de la faible tension superficielle des solvants organiques. En raison de la tension superficielle élevée de l'eau, les systèmes à l'eau nécessitent l'utilisation d'additifs spéciaux pour permettre un mouillage suffisant des pigments.

La dispersion des pigments peut être stabilisée par défloculation ou par floculation contrôlée. Dans la plupart des applications, il est souhaitable de stabiliser la formule défloculée, mais la floculation contrôlée peut être préférable dans d'autres cas.

De manière générale, la défloculation permet d'utiliser les pigments de manière plus efficace, d'améliorer les propriétés d'écoulement et d'obtenir une plus forte charge en pigments. En raison de la petite taille des particules des pigments défloculés, on obtient un haut brillant et un meilleur pouvoir colorant. Ces propriétés sont particulièrement intéressantes pour les couches de finition, qui doivent présenter la meilleure apparence possible et d'excellentes propriétés de surface (notamment dans le cas de peintures automobiles).

En l'absence d'additifs, les particules de pigments s'agglomèrent les unes aux autres et forment des floculats non contrôlés. Par opposition, dans le cadre d'une floculation contrôlée, les molécules des additifs se fixent entre les particules de pigment et les empêchent de s'agglomérer.

entraîner une réduction de la brillance et d'autres effets indésirables éventuels qu'il faut contrôler. Les additifs issus de la floculation contrôlée sont principalement utilisés pour fabriquer des apprêts, des sous-couches et des revêtements de protection.

Il est possible de mesurer la stabilisation des peintures à l'aide d'indicateurs fondés sur un pigment, sur la brillance ou sur la transparence de la peinture. Les mélanges ainsi que la surflottation et la flottation doivent être évalués au moyen d'un test de frottement et de sédimentation. Une perte d'uniformité du feuil après frottement est le signe d'une faible stabilisation des particules de pigment. La différence de couleur entre les zones frottées et non frottées indique le degré de floculation et l'étendue de la surflottation.

Pour effectuer le test de sédimentation, la dispersion de pigments est diluée, versée dans un cylindre de mesure gradué et stockée pendant un certain temps. Dans les systèmes floculés, une couche sans pigments se détache progressivement du reste de la dispersion, dont elle est généralement séparée par une limite claire.

► Figure 8 – Disperseurs

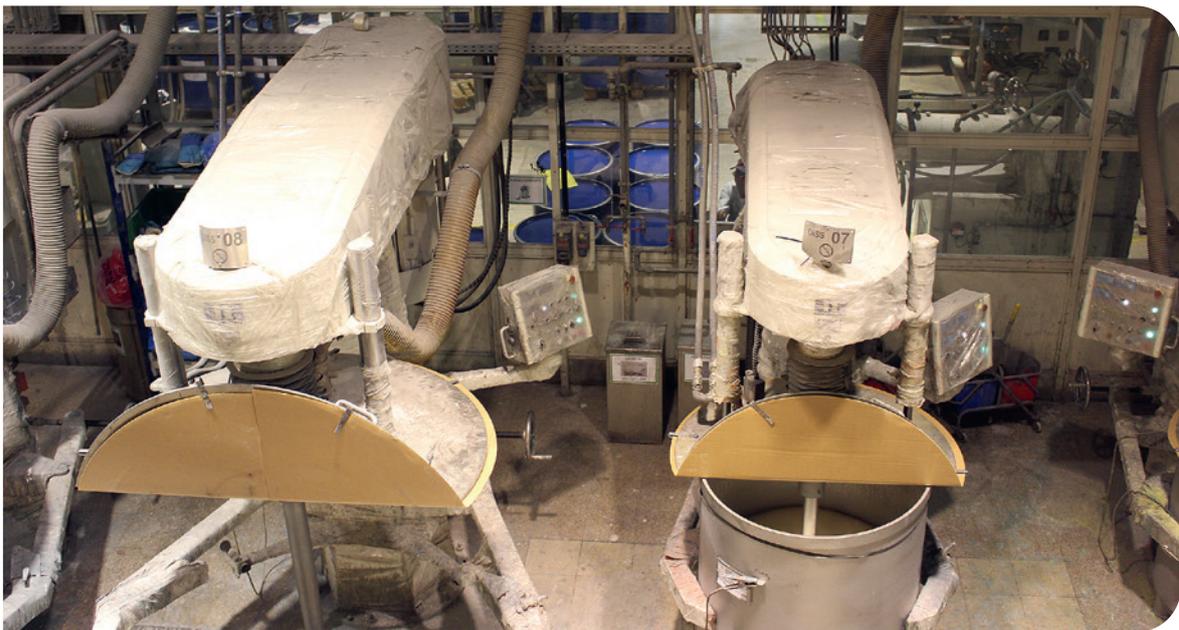


Photo : © Kansai Helios

La floculation contrôlée forme des structures de réseau tridimensionnelles qui entraînent un comportement d'écoulement thixotrope (pseudoplasticité ou retour rapide à un état de gel). Dans ces structures, la viscosité au repos est plutôt élevée. Cependant, lorsqu'une contrainte de cisaillement est appliquée, les floculats de pigments se désagrègent et la viscosité diminue. Les floculats peuvent se reformer lorsque les contraintes de cisaillement sont interrompues, et l'on obtient alors un comportement rhéologique, qui se manifeste par la formation de coulure, la sédimentation, ainsi qu'une excellente stabilité sur surface verticale en cas de feuil très épais. Contrôler la floculation permet aussi de maîtriser la surflottation et la flottation, puisque les pigments agglomérés en floculats ne peuvent alors pas se séparer du mélange. La cofloculation peut

À l'inverse, les systèmes colloïdaux stables présentent une zone de transition entre la phase pigmentée et la solution claire de liants surnageant.

Lorsqu'un seul pigment est dispersé, la quantité d'additif et les paramètres du broyage peuvent être ajustés afin d'obtenir la meilleure qualité de broyage possible. Il est toutefois nécessaire de trouver un compromis dans les paramètres lors du broyage simultané de plusieurs pigments différents. Le broyage simultané n'est pas recommandé, car les propriétés des pigments peuvent différer lors du broyage. Les pigments difficiles à broyer peuvent si possible être remplacés, broyés séparément ou ajoutés sous forme de concentrés.

Une quantité trop importante ou trop faible d'additifs peut nuire à la stabilité de la dispersion de pigments. La quantité requise d'additifs mouillants et dispersants dépend du type de pigments, car les additifs se fixent à la surface de ces derniers. Si la quantité d'additifs dispersants est trop faible, leurs avantages ne seront pas pleinement exploités. À l'inverse, si elle est trop élevée, l'épaisseur de la barrière protectrice peut diminuer en raison d'une surconcentration à la surface du pigment, qui influe également sur la stabilisation. La présence de molécules libres dans le feuil peut également en diminuer l'adhérence ou la dureté.

Les fabricants fournissent généralement des informations sur les types d'additifs et les quantités adaptées selon les types de pigments et de peinture (à base de solvant ou d'eau). Cependant, le dosage des additifs doit être optimisé au moyen d'une série de tests en laboratoire.

Le tableau suivant présente les taux d'additifs qu'il est recommandé d'utiliser (B&K, s.d.).

Lorsque les résultats des tests de laboratoire sont appliqués à l'ensemble de la production, le processus de broyage n'offrira des performances équivalentes que s'il est réalisé dans les mêmes conditions.

6.4 Substitution du rouge de plomb anticorrosion (PR 105)

Le rouge de plomb (PR 105), ou minium, est l'un des pigments anticorrosion les plus anciens et les plus répandus. Doté d'excellentes propriétés d'inhibition de la corrosion, il est principalement utilisé dans les primaires pour métaux. Le rouge de plomb est un inhibiteur indirect qui doit entrer en réaction avec un certain type de résine. Lorsqu'il est utilisé dans des liants à base d'huile de lin ou d'autres oléorésines, ce pigment réagit avec leurs composants acides pour former du sel de plomb, qui est anticorrosif.

► **Tableau 6 – Quantités d'additifs recommandées**

TYPE D'AGENTS MOUILLANTS ET DISPERSANTS	PIGMENTS INORGANQUES	PIGMENTS ORGANIQUES	TOTAL
Polymères classiques de faible masse moléculaire	0,5 à 2 % d'additifs par rapport au pigment	1 à 5 % d'additifs par rapport au pigment	0,1 à 1 % d'additifs
Polymères de masse moléculaire élevée	1 à 10 % d'additifs par rapport au pigment	10 à 80 % d'additifs par rapport au pigment	0,2 à 3 % d'additifs

► **Figure 9 – Broyeur à panier**



Une protection anticorrosion sans intervention chimique peut être obtenue si la diffusibilité et la perméabilité des agents corrosifs tels que l'oxygène, l'eau et les sels sont considérablement réduites par une formulation appropriée. Les pigments lamellaires (silicates d'aluminium, oxyde de fer lamellaire, mica, etc.) sont les plus adaptés pour cette méthode.

Les propriétés anticorrosives d'un apprêt dépendent de nombreux facteurs, notamment le type de résine, le rapport entre la concentration pigmentaire volumique et la concentration pigmentaire volumique critique, le type de pigment anticorrosion et celui des autres pigments et enduits, les conditions de dispersion et la formulation de la peinture. Tous ces facteurs doivent être pris en considération lors du processus de reformulation des peintures.

Le tableau 7 contient des informations sur les pigments qui peuvent remplacer le rouge de plomb.

Le phosphate de zinc représente la première option de remplacement des pigments de plomb anticorrosion.

► **Tableau 7 – Possibilités de remplacement des pigments de plomb anticorrosion**

TYPE DE PIGMENTS	PIGMENT	FONCTIONNEMENT
Pigments anticorrosion à réaction chimique	Oxyde de zinc (ZnO) Phosphate de zinc (ZnPO ₄) Phosphates de zinc modifiés Phosphate de calcium Phosphates de calcium modifiés	Permettent de lier les stimulateurs de la corrosion, tels que les chlorures et les sulfates, en formant des composés insolubles et/ou en stabilisant la valeur pH d'un enduit mis en contact avec un milieu corrosif. Une légère solubilité dans le milieu corrosif est donc nécessaire.
Pigments anticorrosion à réaction électrochimique	Chromate de zinc (ZnCrO ₃)*, Phosphate de zinc (ZnPO ₄) Phosphates de zinc modifiés Phosphate de calcium Phosphates de calcium modifiés	Passivation de surfaces métalliques par la formation de fines couches, par exemple de phosphate ou de chromate. La solubilité et la réactivité des pigments actifs sont des critères très importants.
Pigment anticorrosion de protection cathodique active	Poussière de zinc	Type spécial de pigment qui fournit une protection cathodique active lorsqu'il est appliqué à des subjectiles ferreux. Sert d'anode galvanique qui protège le subjectile métallique. La peinture doit contenir les ingrédients nécessaires pour établir une bonne conductivité électrique entre le subjectile ferreux et les particules de pigment galvaniques. Parvenir à une CPV semblable ou supérieure à la CPVC est la condition la plus importante pour que les primaires riches en zinc offrent une protection contre la corrosion.
Pigments d'inhibition passive de la corrosion	Oxyde de fer micacé Silicates d'aluminium	Pigments barrière qui renforcent le feuillet et le rendent moins perméable aux agents corrosifs. Il s'agit de pigments chimiquement inertes en forme de plaquettes ou de lamelles. Leurs particules forment une interface qui empêche le subjectile d'entrer en contact avec de l'eau et des électrolytes.

*Le chromate de zinc contient du chrome hexavalent et ne peut être utilisé en remplacement des pigments de plomb anticorrosion.

Cette substance ne contient pas de plomb, ni de chrome hexavalent. Cependant, son pouvoir inhibiteur de la corrosion est plus faible que celui des pigments de plomb. Combiner du phosphate de zinc et de l'oxyde de zinc est un bon moyen de réduire les coûts et de parvenir à de bonnes propriétés anticorrosives. L'oxyde de zinc tend à réagir avec les acides gras contenus dans le liant utilisé, ce qui produit des sels de zinc qui forment une barrière contre les agents corrosifs.

La troisième étude de cas illustre la fabrication d'une couche primaire alkyde avec du phosphate de zinc. L'exemple 4 présente la formulation d'une couche de fond à base d'ester époxydique combinée avec du phosphate de zinc et de l'oxyde de zinc (voir l'annexe 3 qui contient des exemples de reformulation).

La nouvelle génération de pigments anticorrosion à base d'orthophosphates modifiés et de pigments de polyphosphate de zinc a permis d'améliorer considérablement l'efficacité des phosphates de zinc conventionnels (Heubach, 2019). L'efficacité d'un pigment dépendant du milieu de suspension, les fabricants recommandent d'utiliser différents types de phosphate de zinc selon les milieux.

Le zinc est un métal lourd et la demande de peintures anticorrosion sans zinc a augmenté au cours des dernières années. Le phosphate de calcium est une alternative au phosphate de zinc standard dont l'aptitude à remplacer le rouge de plomb est évaluée dans le tableau 8. L'utilisation d'orthophosphate de calcium et de magnésium permet aussi d'obtenir des propriétés anticorrosion, et le phosphate de calcium modifié est une alternative aux pigments qui offre une performance anticorrosion à long terme.

Il est également important de bien choisir les charges, qui constituent les principaux ingrédients des couches de fond (environ 32 % dans l'exemple 3 figurant à l'annexe 3). Les propriétés physiques des charges, telles que la taille et la répartition granulométrique de leurs particules, leur indice de réfraction, leur densité, leur dureté et leur couleur, ainsi que leur structure cristalline et leur énergie de surface, confèrent à ces minéraux leur fonctionnalité (magazine *Paint and Coating Industry*, 2001). Les charges peuvent améliorer les propriétés mécaniques et la résistance à la corrosion d'une peinture. La structuration en plaques des particules de certaines charges forme un film qui empêche l'eau, l'oxygène et divers produits chimiques d'atteindre le subjectile.

Le talc feuilleté (silicate de magnésium hydraté) est une charge hydrophobe aux propriétés anticorrosives démontrées qui limite la pénétration de l'eau et d'autres agents corrosifs dans le feuil. Il réduit la corrosion ainsi que le décollement et le cloquage du feuil. En raison de la forme de ses particules et de son inertie chimique, le talc favorise également l'adhésion, ce qui renforce la durabilité de la peinture.

Le mica et l'argile kaolinique constituent également des charges fonctionnelles dont la forme des particules améliore les propriétés anticorrosion des couches de fond.

Lorsque cela est possible, des additifs organiques non toxiques peuvent être utilisés pour améliorer la protection contre la corrosion qu'offrent les enduits. Cela permet d'obtenir une excellente combinaison de caractéristiques de performance en matière de synergie anticorrosion (Heubach, 2021).

L'exemple 4 (voir l'annexe 3) présente la formulation d'une couche de fond à base d'ester époxydique avec un inhibiteur de corrosion.

6.4.1 Évaluation des produits de remplacement

Les peintures anticorrosives fabriquées à base de rouge de plomb ont une couleur orange. Aucun produit de remplacement ne permet de reproduire cette couleur. Il s'agit cependant d'un critère peu important, car les peintures inhibitrices de corrosion ne sont jamais appliquées sans couche de finition qui en recouvre la couleur. Nous recommandons aux entreprises de prendre contact avec leurs clients industriels afin de leur présenter les avantages offerts par l'élimination du plomb dans la formulation des peintures en matière de santé, d'environnement et éventuellement de conformité avec la loi, qui justifient largement la hausse des coûts associée à cette reformulation. De plus, la reformulation peut parfois entraîner une réduction des coûts (voir la première étude de cas de l'annexe 3).

Le tableau suivant évalue les produits de remplacement du rouge de plomb.

► Figure 10 – Ligne de conditionnement

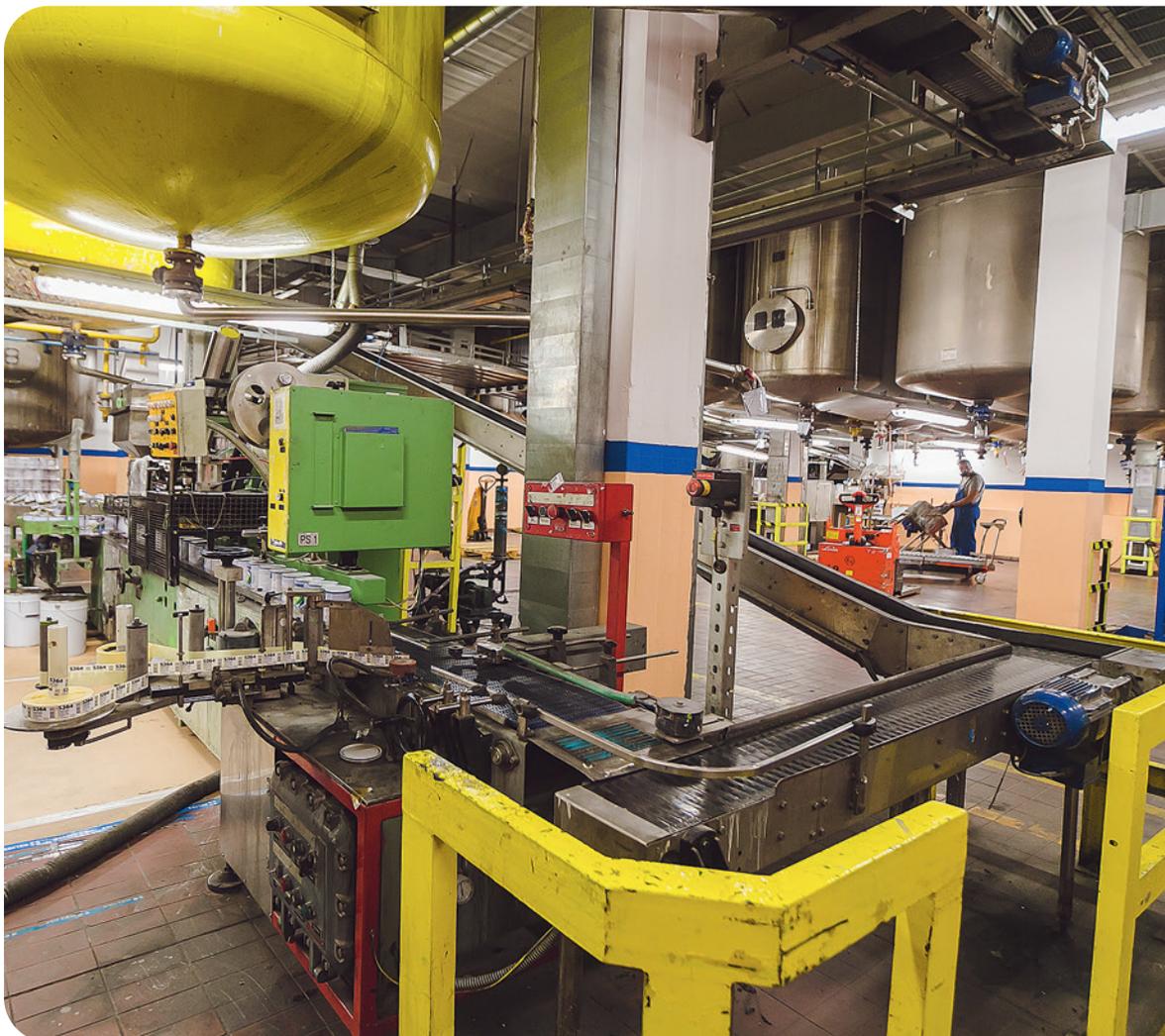


Photo : © Kansai Helios

► Tableau 8 – Évaluation des produits de remplacement du PR 105

CRITÈRE	ROUGE DE PLOMB (PR 105)	SUBSTITUT	
		ORTHOPHOSPHATE DE ZINC (PW 32)	ORTHOPHOSPHATE DE CALCIUM
Fonctions	Excellentes propriétés anticorrosives	Le phosphate de zinc et ses dérivés ont de bonnes propriétés anticorrosives. La couleur de l'apprêt ne peut être reproduite, mais il n'est pas important que cette couche soit décorative.	L'orthophosphate de calcium et ses dérivés présentent de très bonnes propriétés anticorrosives. La couleur de l'apprêt ne peut être reproduite, mais il n'est pas important que cette couche soit décorative.
Processus de fabrication		Aucune modification du processus de fabrication n'est nécessaire.	Aucune modification du processus de fabrication n'est nécessaire.
Risques pour l'environnement et la santé humaine (OCDE, 2021a ; ECHA, 2021c ; magazine <i>Paint and Coating Industry</i> , 2001)	<p>H302 : nocif en cas d'ingestion</p> <p>H332 : nocif par inhalation</p> <p>H351 : susceptible de provoquer le cancer ; indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger</p> <p>H360 : peut nuire à la fertilité ou au fœtus</p> <p>H360 Df : peut nuire au fœtus. Susceptible de nuire à la fertilité</p> <p>H362 : peut être nocif pour les bébés nourris au lait maternel</p> <p>H372 : risque avéré d'effets graves pour les organes</p> <p>H372 : risque avéré d'effets graves pour les organes (système nerveux central, système sanguin et reins) à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée par inhalation ou ingestion</p> <p>H410 : très toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme</p>	<p>H400 – très toxique pour les organismes aquatiques</p> <p>H410 – très toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme</p> <p>Ce produit n'est pas dangereux pour les êtres humains lorsqu'il est utilisé correctement (avec un équipement de protection individuelle).</p>	<p>Le phosphate tricalcique ne représente pas un danger pour la santé humaine en raison de ses propriétés peu dangereuses.</p> <p>La faible nocivité de ce produit chimique (aucune toxicité aquatique à la limite d'hydrosolubilité) indique qu'il ne dispose pas de propriétés qui présentent un danger pour l'environnement.</p>
Faisabilité économique		Rentable. Les coûts peuvent légèrement augmenter en fonction du produit.	Augmentation des coûts.
Disponibilité		De nombreux fournisseurs commercialisent du phosphate de zinc.	De l'orthophosphate de calcium peut être acheté sur le marché.

Il est nécessaire de comparer la peinture anticorrosion au plomb et sa version reformulée dans le cadre de tests parallèles afin de déterminer l'efficacité du produit de remplacement. Le temps de séchage, les propriétés mécaniques et les propriétés anticorrosives de la peinture sont alors évalués. Les tests d'exposition à l'extérieur pour l'évaluation des propriétés anticorrosion demandent beaucoup de temps, mais des méthodes d'essai accélérées telles que les essais au brouillard salin (normes ASTM B117-11 et ISO 9227:2017) et le test de résistance à l'humidité (norme ISO 6270-1:2017) peuvent être menées en coopération avec les fabricants de pigment concernés.

6.5 Substitution du blanc de plomb (PW 1)

Malgré son faible indice de réfraction (1,94), le carbonate de plomb a été utilisé en tant que pigment dans les peintures pendant de nombreuses années. Ce pigment a été remplacé avec succès par le dioxyde de titane (PW 6), dont le pouvoir masquant est près de dix fois supérieur à celui du carbonate de plomb (Müller et Poth, 2017). Il est possible que le feuil sec des peintures à base de dioxyde de titane comporte une quantité inférieure de pigments blancs. Ce manque peut être comblé au moyen de charges moins coûteuses qui permettent d'obtenir le même résultat.

L'élimination du blanc de plomb dans une peinture alkyde nécessite de doser les siccatifs avec précaution, car ce pigment permet un séchage à cœur. La peinture reformulée devra donc contenir plus d'agents de séchage à cœur. Il est recommandé d'utiliser du zirconium et du strontium en tant que siccatifs (voir le chapitre 7).

6.6 Substitution du chromate de plomb (PY 34) et du rouge de chromate, de molybdate et de sulfate de plomb (PR 104)

La formulation des peintures est complexe et dépend des exigences à satisfaire. En plus du milieu de suspension, il est important de bien choisir les pigments, car les propriétés décoratives et techniques d'une peinture en dépendent.

Afin d'aider les entreprises à éliminer le plomb de leurs peintures, la présente section fournit des informations sur les propriétés d'une sélection de pigments de remplacement.

L'accessibilité économique est subordonnée à de nombreux facteurs spécifiques aux entreprises qui ne sont pas inclus. L'évaluation des pigments de remplacement en présente uniquement les coûts relatifs.

Les pigments PY 34 et PR 104 sont utilisés afin d'obtenir des qualités décoratives incluant des couleurs vives, des teintes pures et une forte visibilité (capacité d'une peinture à servir de signal) ainsi que pour satisfaire à de strictes critères techniques tels qu'un excellent pouvoir masquant, une résistance à la lumière et aux conditions climatiques, une stabilité thermique et l'absence de saignements.

Le tableau suivant illustre les caractéristiques techniques des pigments PY 34 et PR 104.

Le remplacement ou la suppression d'une catégorie de pigments a des conséquences directes sur les

► **Tableau 9 – Propriétés du PY 34 et du PR 104**

PROPRIÉTÉ	DESCRIPTION
Gamme de teintes et saturation	PY 34 : jaune allant de teintes verdâtres à semi-rougeâtres et rougeâtres / PR 104 : orange allant de teintes jaunâtres à bleuâtres
Dispersibilité	Excellente dispersibilité. Selon les utilisations, un disperseur peut suffire à la dispersion.
Pouvoir masquant (opacité)	Excellentes propriétés d'écoulement, possibilité d'une forte charge en pigments qui offre un bon pouvoir masquant.
Stabilité thermique	Très bonne stabilité thermique. Ces pigments peuvent résister à des températures supérieures à 200 °C.
Résistance aux saignements	Ces pigments ne migrent pas ou ne se répandent pas dans la couche sous-jacente ou dans d'autres substances colorées.
Résistance à la lumière, aux intempéries et aux produits chimiques	La résistance à la lumière et aux intempéries des chromates de plomb dépend du type de chromate de plomb utilisé et de sa stabilisation en surface. La plupart des chromates de plomb vendus sur le marché sont standard et possèdent une excellente résistance à la lumière et aux conditions climatiques. Leur résistance aux produits alcalins et acides est faible.

► Figure 11 – Application de peinture dans une cabine de peinture automobile



Photo : www.pixabay.com

utilisateurs en aval. Les fabricants doivent modifier la formulation de leurs peintures de manière à répondre aux besoins techniques et de couleur. À l'heure actuelle, il n'existe aucun pigment de remplacement qui, seul, permette de remplacer le jaune de plomb (PY 34) et le rouge de molybdate de plomb (PR 104) exactement dans les mêmes proportions. Les meilleurs résultats ont été obtenus en utilisant une combinaison de pigments organiques et inorganiques qui permet d'obtenir la combinaison de propriétés souhaitée dans le feuillet final.

De nombreux pigments de remplacement sont disponibles sur le marché, mais tous présentent des avantages et des inconvénients variables selon l'usage qu'il est prévu d'en faire. C'est pour cette raison que l'évaluation des pigments de remplacement est un processus complexe fondé sur plusieurs critères relatifs aux fonctions (propriétés techniques, telles que la dispersibilité, la résistance à la chaleur et aux intempéries, etc.), aux questions de santé, de sécurité et d'environnement ainsi qu'au coût et à la disponibilité des pigments (voir le diagramme 1).

Il est nécessaire de connaître les différences entre les propriétés, les performances et le coût des pigments avec et sans plomb.

6.6.1 Évaluation des pigments inorganiques de remplacement

Les pigments inorganiques qui pourraient éventuellement remplacer les pigments PY 34 ou PR 104 sont le vanadate de bismuth (PY 184), les oxydes métalliques mixtes (PY 53 et PBr 24), l'oxyde de fer jaune (PY 42) et l'oxyde de fer rouge (PR 101). Certains pigments disponibles sur le marché peuvent être combinés à d'autres pour atteindre différents niveaux de performance. Ces pigments comprennent l'étain oxyde de zinc (PO 82), le dioxyde de titane (PW 6) et le rutile d'étain et de zinc (PY 216).

Tous les pigments inorganiques de remplacement offrent une saturation et une gamme de teintes différentes. Le meilleur substitut du PY 34 est le vanadate de bismuth, qui présente une saturation analogue et d'excellentes qualités techniques.

En tant que pigments inorganiques, les produits de remplacement du PY 34 et du PR 104 leur sont similaires en matière d'opacité, de couleur et de saignement. Ils possèdent également une bonne résistance à la lumière et à la chaleur qui permet de les utiliser dans les peintures d'extérieur. Leur stabilité thermique jusqu'à 200 °C est comparable à celle des pigments de plomb, à l'exception du PR 101 (oxyde de fer rouge), dont la résistance à la chaleur est inférieure à celle du PR 104.

► Tableau 10 – Évaluation des pigments inorganiques de remplacement

PIGMENT	COMPARAISON AVEC LES PIGMENTS DE PLOMB
Produits pouvant remplacer le PY 34	
Vanadate de bismuth PY 184	<p>Fonctions : excellentes propriétés techniques, produit des peintures durables dont le saignement est comparable à celui des peintures au PY 34, très bonne stabilité thermique.</p> <p>Faisabilité technique : aucune modification du processus de fabrication n'est nécessaire.</p> <p>Risques pour l'environnement et la santé humaine : non reconnus comme dangereux pour la santé humaine ou l'environnement.</p> <p>Faisabilité économique : ce pigment est bien plus coûteux que le PY 34, mais possède des propriétés similaires.</p> <p>Disponibilité : sources limitées d'approvisionnement en matières premières (bismuth, vanadium)*</p>
Oxydes métalliques mixtes PY 53	<p>Fonctions : les peintures sont durables, mais le brillant est moins bien conservé. La même gamme de couleurs ne peut être reproduite. La résistance aux saignements et la stabilité thermique sont comparables à celles du PY 34.</p> <p>Faisabilité technique : aucune modification du processus de fabrication n'est nécessaire.</p> <p>Risques pour l'environnement et la santé humaine : non reconnus comme dangereux pour la santé humaine ou l'environnement.</p> <p>Faisabilité économique : prix comparable à celui des pigments de plomb.</p> <p>Disponibilité : vendus sur le marché.</p>
Oxyde de fer (PY 42)	<p>Fonctions : les peintures sont durables. Ce pigment ne peut être choisi pour remplacer le plomb si la couleur est importante, car les teintes qu'il fournit sont toujours plus sombres et ternes. Sa stabilité thermique et sa résistance aux saignements sont excellentes.</p> <p>Faisabilité technique : aucune modification du processus de fabrication n'est nécessaire.</p> <p>Risques pour l'environnement et la santé humaine : non reconnus comme dangereux pour la santé humaine ou l'environnement.</p> <p>Faisabilité économique : prix comparable à celui des pigments de plomb.</p> <p>Disponibilité : vendu sur le marché.</p>
Produits pouvant remplacer le PY 104	
Oxyde de fer PY 101	<p>Fonctions : les peintures sont durables. Ce pigment ne peut être choisi pour remplacer le plomb si la couleur est importante, car les teintes qu'il fournit sont toujours plus sombres et ternes. Sa résistance aux saignements est excellente, mais il présente une stabilité thermique inférieure au PR 104.</p> <p>Faisabilité technique : aucune modification du processus de fabrication n'est nécessaire.</p> <p>Risques pour l'environnement et la santé humaine : non reconnus comme dangereux pour la santé humaine ou l'environnement.</p> <p>Faisabilité économique : prix comparable à celui des pigments de plomb.</p> <p>Disponibilité : vendu sur le marché.</p>
Produits pouvant remplacer le PY 104 et le PY 34	
Oxyde métallique mixte PBr 24	<p>Fonctions : les peintures sont durables, mais le brillant est moins bien conservé qu'avec des pigments de plomb. La même gamme de couleurs ne peut être reproduite. La stabilité thermique et la résistance aux saignements sont excellentes.</p> <p>Faisabilité technique : aucune modification du processus de fabrication n'est nécessaire.</p> <p>Risques pour l'environnement et la santé humaine : non reconnus comme dangereux pour la santé humaine ou l'environnement.</p> <p>Faisabilité économique : prix comparable à celui des pigments de plomb.</p> <p>Disponibilité : vendu sur le marché.</p>

* Les opinions sur la disponibilité des pigments divergent. Certaines entreprises estiment qu'aucun pigment de remplacement ne pose de problème d'approvisionnement.

6.6.2 Évaluation des pigments organiques de remplacement

La longue liste de pigments organiques qu'il est possible d'utiliser en remplacement du PY 34 et du PR 104 comprend les familles de pigments suivantes :

- a. les pigments azoïques diaryliques (PO 13, PO 34, PY 14, PY 83, etc.) ;
- b. Pigments azoïques dérivant de l'o-dianisidine (PO 16, etc.)
- c. les pigments azoïques de benzinidozone (PO 36, PY 151, PY 154, PY 194, etc.) ;
- d. les pigments monoazoïques (PY 65, PY 74, PY 97, etc.) ;
- e. Azoïques spéciaux (PO 67, etc.)
- f. d'autres pigments organiques (PO 73, PY 110, PY 138, PY 189, etc.) ; et
- g. le pigment rouge de dicétopyrrolopyrrole (PR 254).

Certains pigments disponibles sur le marché peuvent être combinés à d'autres pour atteindre différents niveaux de performance. Ces pigments comprennent le PO 3, le PO 5 (famille des azoïques), le PR 112 (naphtol AS-D), le PR 170 (naphtol), le PY 82 (disazoïque de condensation) et le PR 122 (quinacridone).

a. Famille des pigments azoïques diaryliques

Le tableau ci-dessous évalue certains des pigments azoïques diaryliques qu'il est possible d'utiliser en remplacement du PY 34 et du PR 104.

Les pigments de cette famille ne sont pas opaques et ne fournissent pas de gamme de teintes. Ils ne sont adaptés qu'à un usage en intérieur en raison de leur faible durabilité et de leur mauvaise rétention du brillant. Leur stabilité thermique est mauvaise ; à plus de 200 °C, ces pigments se décomposent et génèrent des substances dangereuses.

► Tableau 11 – Évaluation des pigments azoïques diaryliques de remplacement

PIGMENT	COMPARAISON AVEC LES PIGMENTS DE PLOMB
Produits pouvant remplacer le PY 34	
PY 83	Fonctions : ces pigments offrent une durabilité inférieure à celle du PY 34 et ne peuvent donc pas être utilisés pour fabriquer des peintures adaptées à un usage en extérieur. Ils n'égalent pas le pouvoir masquant et la stabilité thermique du PY 34. Leur résistance aux saignements est bonne. Le jaune qu'ils permettent d'obtenir se limite à des teintes pâles.
PY 14	Faisabilité technique : il n'est pas nécessaire de modifier le processus de fabrication, mais l'étape de broyage requiert plus de temps et d'énergie en raison de la moindre dispersibilité des pigments organiques. Risques pour l'environnement et la santé humaine : non reconnus comme dangereux pour la santé humaine ou l'environnement. Faisabilité économique : ces pigments sont plus coûteux que le PY 34. Disponibilité : vendu sur le marché.
Produits pouvant remplacer le PY 104	
PO 13	Fonctions : ces pigments offrent une durabilité inférieure et ne peuvent donc pas être utilisés pour fabriquer des peintures adaptées à un usage en extérieur. Ils n'égalent pas le pouvoir masquant et la stabilité thermique du PY 34. Leur résistance aux saignements est bonne. Faisabilité technique : il n'est pas nécessaire de modifier le processus de fabrication, mais l'étape de broyage requiert plus de temps et d'énergie en raison de la moindre dispersibilité des pigments organiques.
PO 34	Risques pour l'environnement et la santé humaine : non reconnus comme dangereux pour la santé humaine ou l'environnement. Faisabilité économique : ces pigments sont plus coûteux que le PR 104. Disponibilité : les sources d'approvisionnement en matières premières nécessaires à la production sont limitées. Il n'existe que quelques fournisseurs mondiaux.

b. Famille des pigments azoïques dérivant de l'o-dianisidine

Les propriétés de ce groupe de pigments sont comparables à celles des pigments azoïques diaryliques.

Le tableau suivant présente une évaluation du PO 16 en tant que produit de remplacement du PR 104.

Les pigments qui dérivent de l'o-dianisidine ont de nombreuses propriétés en commun avec les pigments diaryliques, mais offrent une meilleure stabilité thermique. Ils ne sont pas adaptés à un usage en extérieur en raison de leur faible durabilité et de leur mauvaise rétention du brillant.

► **Tableau 12 – Évaluation du pigment azoïque dérivant de l'o-dianisidine de remplacement**

PIGMENT	COMPARAISON AVEC LES PIGMENTS DE PLOMB
PO 16	<p>Fonctions : les peintures fabriquées à partir de ce pigment ne peuvent être utilisées qu'en intérieur, car il offre une durabilité et une conservation du brillant inférieures. Il n'égale pas le pouvoir masquant et la stabilité thermique du PR 104. Leur résistance aux saignements est bonne.</p> <p>Faisabilité technique : il n'est pas nécessaire de modifier le processus de fabrication, mais l'étape de broyage requiert plus de temps et d'énergie en raison de la moindre dispersibilité des pigments organiques.</p> <p>Risques pour l'environnement et la santé humaine : l'essai de toxicité subaiguë par ingestion de la dose limite n'a conclu à aucun danger. Le PO 16 n'est pas génotoxique.</p> <p>Faisabilité économique : ce pigment est plus coûteux que le PR 104.</p> <p>Disponibilité : les sources d'approvisionnement en matières premières nécessaires à la production sont limitées. Il n'existe que quelques fournisseurs mondiaux.</p>

c. Famille des pigments azoïques de benzindozone

Même s'ils présentent certaines limites, les pigments de ce groupe constituent l'une des meilleures solutions de remplacement du PY 34 et du PR 104.

Le tableau suivant compare les pigments PO 36, PY 151, PY 154 and PY 194 au PY 34 et au PR 104.

Ces pigments jaunes ne fournissent que des nuances verdâtres, ce qui ne permet pas d'obtenir des jaunes vifs et fortement saturés.

► **Tableau 13 – Évaluation des pigments azoïques de benzindozone de remplacement**

PIGMENT	COMPARAISON AVEC LES PIGMENTS DE PLOMB
Produits pouvant remplacer le PY 34	
PY 151	<p>Fonctions : malgré une durabilité et une capacité de conservation du brillant inférieures à celles du PY 34, ces pigments peuvent servir à fabriquer des peintures extérieures. Leur stabilité thermique est équivalente. Ils n'entraînent pas de migration des substances colorées.</p>
PY 154	<p>Le PY 194 est transparent et offre la plus mauvaise durabilité de l'ensemble de ces pigments.</p> <p>Faisabilité technique : il n'est pas nécessaire de modifier le processus de fabrication, mais l'étape de broyage requiert plus de temps et d'énergie en raison de la moindre dispersibilité des pigments organiques.</p>
PY 194	<p>Risques pour l'environnement et la santé humaine : ces pigments ne sont pas néfastes pour la santé humaine ou l'environnement.</p> <p>Faisabilité économique : les coûts directs entraînés sont plus élevés.</p> <p>Disponibilité : ces pigments sont vendus sur le marché.</p>
Produits pouvant remplacer le PY 104	
PO 36	<p>Fonctions : malgré une durabilité et une capacité de conservation du brillant légèrement inférieures à celles du PR 104, ce pigment peut servir à fabriquer des peintures extérieures. Sa stabilité thermique est comparable à celle des pigments de plomb. Leur résistance aux saignements est bonne. Sa couleur est un peu terne, mais très proche de celle du PR 104.</p> <p>Faisabilité technique : il n'est pas nécessaire de modifier le processus de fabrication, mais l'étape de broyage requiert plus de temps et d'énergie en raison de la moindre dispersibilité des pigments organiques.</p> <p>Risques pour l'environnement et la santé humaine : ce pigment n'est pas néfaste pour la santé humaine ou l'environnement.</p> <p>Faisabilité économique : les coûts directs entraînés sont plus élevés.</p> <p>Disponibilité : ce pigment est vendu sur le marché.</p>

d. Famille des pigments monoazoïques

Le tableau suivant évalue les pigments monoazoïques en comparaison avec le PY 34.

La faible résistance des pigments monoazoïques aux solvants peut entraîner un saignement de la couleur. Ces pigments peuvent, pour la plupart, être utilisés dans les peintures à base d'eau.

► **Tableau 14 – Évaluation des pigments monoazoïques en tant que substituts du PY 34**

PIGMENT	COMPARAISON AVEC LES PIGMENTS DE PLOMB
PY 65	Fonctions : en raison de leur faible durabilité, ces pigments ne sont adaptés qu'à un usage en intérieur. Leur stabilité thermique et leur capacité de conservation du brillant sont également inférieures à celles du PY 34. Ces pigments entraînent des saignements dans les peintures en phase aqueuse. Ils représentent de bons substituts au PY 34 s'agissant de la couleur, car ils permettent de produire des jaunes aux vives teintes verdâtres et rougeâtres.
PY 74	Accessibilité technique : il n'est pas nécessaire de modifier le processus de fabrication, mais l'étape de broyage requiert plus de temps et d'énergie en raison de la moindre dispersibilité des pigments organiques.
PY 97	Risques pour l'environnement et la santé humaine : ces pigments ne sont pas néfastes pour la santé humaine ou l'environnement. Faisabilité économique : les coûts directs entraînés sont plus élevés. Disponibilité : ces pigments sont vendus sur le marché.

e. Pigments azoïques spéciaux

Le tableau suivant évalue et compare le PO 67 au PY 34.

► **Tableau 15 – Évaluation du PO 67 en tant que substitut du PR 104**

PIGMENT	COMPARAISON AVEC LE PIGMENT DE PLOMB
PO 67	Fonctions : malgré une durabilité et une capacité de conservation du brillant légèrement inférieures à celles du PR 104, ce pigment peut servir à fabriquer des peintures extérieures. Faisabilité technique : il n'est pas nécessaire de modifier le processus de fabrication, mais l'étape de broyage requiert plus de temps et d'énergie en raison de la moindre dispersibilité des pigments organiques. Risques pour l'environnement et la santé humaine : ce pigment n'est pas néfaste pour la santé humaine ou l'environnement. Faisabilité économique : ce pigment est bien plus coûteux que le PR 104. Disponibilité : limitée.

f. Autres pigments organiques de remplacement

Les autres pigments qui peuvent remplacer le PY 34 et le PR 104 sont des pigments organiques tels que le PO 73, le PY 110, le PY 138 et le PY 139. Ces pigments

présentent des propriétés relativement variées, mais sont tous caractérisés par un manque d'opacité et une saturation limitée.

Le tableau présente leur évaluation.

► **Tableau 16 – Évaluation d'autres pigments organiques en tant que substituts du PY 34 et du PR 104**

PIGMENT	COMPARAISON AVEC LE PIGMENT DE PLOMB
PO 73	<p>Fonctions : malgré une durabilité et une capacité de conservation du brillant légèrement inférieures à celles du PR 104, ce pigment peut servir à fabriquer des peintures extérieures. Sa stabilité thermique et sa résistance aux saignements sont bonnes.</p> <p>Faisabilité technique : il n'est pas nécessaire de modifier le processus de fabrication, mais l'étape de broyage requiert plus de temps et d'énergie en raison de la moindre dispersibilité des pigments organiques.</p> <p>Risques pour l'environnement et la santé humaine : ce pigment n'est pas néfaste pour la santé humaine ou l'environnement.</p> <p>Faisabilité économique : ce pigment est bien plus coûteux que le PR 104.</p> <p>Disponibilité : limitée.</p>
PY 110	<p>Fonctions : ce pigment est adapté à un usage en extérieur en raison de sa bonne durabilité et de sa bonne capacité de conservation du brillant. Il offre également une bonne stabilité thermique et une bonne résistance aux saignements.</p> <p>Faisabilité technique : il n'est pas nécessaire de modifier le processus de fabrication, mais l'étape de broyage requiert plus de temps et d'énergie en raison de la moindre dispersibilité des pigments organiques.</p> <p>Risques pour l'environnement et la santé humaine : ce pigment n'est pas néfaste pour la santé humaine ou l'environnement. L'emploi de substances intermédiaires ou de solvants toxiques en rend la production extrêmement dangereuse.</p> <p>Faisabilité économique : ce pigment est bien plus coûteux que le PY 34.</p> <p>Disponibilité : limitée.</p>
PY 138	<p>Fonctions : ce pigment ne peut être utilisé qu'en intérieur en raison d'une durabilité et d'une capacité de conservation du brillant inférieures à celles du PY 34. Sa stabilité thermique et sa résistance aux saignements sont bonnes.</p> <p>Faisabilité technique : il n'est pas nécessaire de modifier le processus de fabrication, mais l'étape de broyage requiert plus de temps et d'énergie en raison de la moindre dispersibilité des pigments organiques.</p> <p>Risques pour l'environnement et la santé humaine : ce pigment n'est pas néfaste pour la santé humaine ou l'environnement. L'emploi de substances intermédiaires ou de solvants toxiques en rend la production extrêmement dangereuse.</p> <p>Faisabilité économique : ce pigment est bien plus coûteux que les pigments de plomb.</p> <p>Disponibilité : limitée.</p>
PY 139	<p>Fonctions : la durabilité et la capacité de conservation du brillant de ce pigment sont inférieures à celles du PY 34, cependant il peut tout de même être utilisé en extérieur. Sa stabilité thermique et sa résistance aux saignements sont bonnes.</p> <p>Faisabilité technique : il n'est pas nécessaire de modifier le processus de fabrication, mais l'étape de broyage requiert plus de temps et d'énergie en raison de la moindre dispersibilité des pigments organiques.</p> <p>Risques pour l'environnement et la santé humaine : ce pigment n'est pas néfaste pour la santé humaine ou l'environnement.</p> <p>Faisabilité économique : ce pigment est bien plus coûteux que les pigments de plomb.</p> <p>Disponibilité : limitée.</p>

g. Pigment rouge de dicétopyrrolopyrrole

Utilisé dans la peinture automobile, ce pigment possède d'excellentes propriétés, notamment une stabilité thermique et une très bonne rétention du brillant.

Le tableau suivant évalue le PR 254 en remplacement du PR 104.

- offrir des performances variées en intérieur et en extérieur ainsi qu'une très bonne résistance à la lumière et aux intempéries ;
- résister à des températures supérieures à 200 °C ;
- n'entraîner aucun saignement ;
- satisfaire à des exigences techniques pour le matériel de fabrication d'enduits.

► **Tableau 17 – Évaluation du PR 254 en tant que substitut du PR 104**

PIGMENT	COMPARAISON AVEC LE PIGMENT DE PLOMB
PR 254	<p>Fonctions : la stabilité thermique et la capacité de conservation du brillant de ce pigment sont excellentes. Il est adapté à la fabrication de peintures extérieures. Il offre une bonne résistance aux saignements.</p> <p>Faisabilité technique : il n'est pas nécessaire de modifier le processus de fabrication, mais l'étape de broyage requiert plus de temps et d'énergie en raison de la moindre dispersibilité des pigments organiques.</p> <p>Risques pour l'environnement et la santé humaine : ce pigment n'est pas néfaste pour la santé humaine ou l'environnement.</p> <p>Faisabilité économique : ce pigment est bien plus coûteux que le PR 104.</p> <p>Disponibilité : Il n'existe qu'un nombre limité de fournisseurs sur le marché.</p>

Les pigments PY 34 et PR 104 sont utilisés dans les peintures qui doivent répondre à des exigences de durabilité extrême, de bonne rétention du brillant et assurer une fonction de signal ou de contraste de la couleur. Les produits de remplacement ont été évalués en fonction de critères qualitatifs (fonctions, faisabilité technique, risques pour l'environnement, la santé et la sécurité) et quantitatifs (faisabilité économique, disponibilité).

Aucun des pigments de remplacement ne satisfait certains des critères techniques auxquels répondent les pigments PY 34 et PR 104.

Les pigments de chromate de plomb sont généralement utilisés à des fins pour lesquelles leurs excellentes qualités ne sont pas toutes nécessaires, tel qu'en intérieur. Il n'est donc pas indispensable de les remplacer par un seul pigment aux caractéristiques identiques. Les fabricants doivent plutôt élaborer de nouvelles compositions qui satisfont à des exigences définies.

Les pigments de remplacement disponibles et leur association peut :

- couvrir toute la gamme des couleurs (de jaune à rouge, en passant par l'orange) ;
- fournir des teintes pures ;
- répondre aux besoins en opacité élevée lorsque des pigments organiques et inorganiques sont combinés ;

6.6.3 Préparations de pigments secs, pigments hybrides et pâtes pigmentaires

L'industrie des pigments a mis au point une solution pour remplacer les PY 34 et PR 104 par des préparations de pigments secs élaborés sur mesure. Ces pigments peuvent remplacer le PY 34 et le PR 104 dans les mêmes proportions. Les pigments de la préparation sont sélectionnés pour offrir un bon équilibre entre les propriétés colorimétriques et le pouvoir masquant dans une gamme de teintes presque complète. Les préparations pigmentaires couvrent les gammes de jaune verdâtre à rougeâtre et d'orange jaunâtre à bleuâtre.

Les pigments hybrides sont la combinaison d'une particule du noyau d'un pigment minéral coloré complexe spécialement micronisée et d'un colorant organique prédispersé fixé à la surface du noyau. Les pigments hybrides constituent le meilleur moyen d'optimiser les propriétés des pigments organiques et inorganiques. Leur couleur, leur opacité et leur pouvoir colorant peuvent être ajustés pour reproduire les caractéristiques des pigments de plomb. Ils sont disponibles dans des préparations pigmentaires de teinte jaune, orange et rouge. L'amélioration de la saturation des pigments hybrides peut permettre de formuler des couleurs et des peintures à haute brillance qui présentent des performances élevées en termes de durabilité, d'opacité et de brillant.

La cinquième étude de cas de l'annexe 3 contient des modèles de composition incluant des pigments hybrides.

Les pâtes de pigments sont des concentrés monopigmentaires dont la teneur en pigment est la plus élevée possible et qui contiennent le plus faible taux de résine de broyage atteignable. Adaptées à une large variété de milieux de dispersion, elles peuvent fournir un pouvoir colorant ou être utilisées dans la fabrication de peintures.

Lorsque les pâtes pigmentaires servent à l'ajustement précis d'une couleur, de petites quantités de pâtes différentes sont ajoutées et la résine de broyage n'a aucune influence sur la peinture colorée. Les entreprises qui ne disposent pas d'équipement de broyage ont la possibilité d'utiliser les pâtes en tant qu'émail de coloration dans la reformulation des peintures au plomb.

Les peintures peuvent aussi être produites à base d'un mélange de pâtes de concentrés de pigments diluées dans un enduit transparent ou blanc. Il est alors nécessaire d'utiliser une plus grande quantité de pâtes, et elles ont donc une plus grande influence sur la performance de la peinture. Dans ce cas, les pâtes pigmentaires doivent répondre à des critères bien plus exigeants.

6.6.4 Reformulation des peintures contenant des pigments

Aucun pigment de remplacement sans plomb ne possède à lui seul toutes les propriétés techniques du PY 34 ou du PR 104. Ces derniers allient une saturation équivalente à celle des pigments organiques et les meilleures propriétés offertes par les pigments inorganiques, notamment un bon pouvoir masquant, une résistance à la lumière et aux intempéries, une stabilité thermique et une résistance aux saignements. Pour en reproduire les propriétés, il est nécessaire d'utiliser une combinaison de pigments inorganiques et organiques dans la reformulation des peintures. Les pigments inorganiques ont un pouvoir masquant, tandis que les pigments organiques sont source de couleur, de saturation et de pouvoir colorant. La résistance aux intempéries dépend des pigments organiques utilisés et peut être ajustée en fonction des exigences spécifiques (voir le tableau 18). Associer ces deux types de pigments permet de doter les peintures des propriétés voulues.

Le processus de reformulation suppose d'abord de définir avec précision les performances (ou fonctions) requises d'une peinture, en plus de sa couleur.

- La peinture sera-t-elle utilisée en intérieur ou en extérieur (solidité à la lumière et résistance aux intempéries) ?
- Quel est l'écart de teinte acceptable ?
- La résistance à la chaleur est-elle requise ?

- Le feuil possède-t-il un excellent pouvoir masquant à l'épaisseur définie ?
- Quelles doivent être la teinte et la vivacité de la couleur ?
- Les saignements sont-ils acceptables (utilisation de la peinture dans un système de superposition des couleurs différent, finalité de la peinture) ?

Les peintures exclusivement destinées à un usage en intérieur n'ont pas besoin de contenir de pigments organiques coûteux qui sont solides à la lumière et offrent d'excellentes performances. Le coût de leur reformulation peut ainsi être réduit.

► Exemple 1 – Composition avec et sans plomb d'une peinture de couleur RAL 1021

PIGMENT	VERSION AVEC PLOMB (% EN P/P)	VERSION SANS PLOMB (% EN P/P)
PY 151 (organique)		81,5
PY 34 (inorganique)	85,8	
PBr 24 (inorganique)	11,0	17,7
PY 139 (organique)	0,8	0,8

Dans l'exemple suivant, la peinture de couleur RAL 1021, aux performances moyennes à élevées, est composée de pigments au coût presque deux fois supérieur lorsqu'elle est fabriquée sans plomb (0,71 euro par m² contre 0,35 euro par m²) (ECHA, 2014).

L'exemple qui suit démontre que la peinture de couleur RAL 3000 (performances moyennes à élevées) est fabriquée à partir de pigments environ 30 % moins chers car à 70 % de nature inorganique, ce qui fixe le prix de sa version sans plomb à 0,20 euro par m², contre 0,31 euro au m² pour la version avec plomb (ECHA, 2014).

► Exemple 2 – Composition avec et sans plomb d'une peinture de couleur RAL 3000

PIGMENT	VERSION AVEC PLOMB (% EN P/P)	VERSION SANS PLOMB (% EN P/P)
PY 53 (inorganique)	21,5	61,1
PR 104 (inorganique)	63,3	
PR 254 (organique)		27,3
PR 122 (organique)	8,0	
PR 101 (inorganique)	7,2	11,6

* La couleur et le pouvoir masquant dépendent du type de peinture, car les matières colorantes réagissent différemment selon les milieux de suspension.

Le coût de fabrication d'une version sans chromate de plomb est de deux à trois fois plus élevé lorsque les peintures doivent répondre aux exigences de performance les plus strictes, semblable à celui des versions avec chromate de plomb pour ce qui est des performances moyennes, et plus abordable en cas de performances acceptables (ECHA, 2014).

influent sur les simples orientations fournies sur la manière de procéder à la reformulation.

Remplacer les pigments de plomb n'implique pas seulement de reproduire la couleur d'une peinture, car nombre des autres propriétés de celle-ci dépendent aussi des pigments.

► **Tableau 18 – Comparaison des propriétés des pigments de remplacement avec celles du PY 34 et du PR 104**

PIGMENT	USAGE EN EXTÉRIEUR	MOINS BONNE STABILITÉ THERMIQUE*	RÉSISTANCE AUX SAIGNEMENTS
PY 184, PY 42, PR 101, PY 110, PR 254, PR 122, PW 1, PY 216, PR 122, PY 53, PBr 24, PY 151, PY 154, PY 194, PO 73, PY 139	OUI	NON	NON
PO 36	OUI	OUI	NON
PO 13, PO 34, PY 14, PY 83, PO 16, PO 155	NON	OUI	NON
PY 65, PY 74, PY 97	NON	OUI	OUI
PO 67	OUI	NON	OUI
PY 138	NON	NON	NON

*Par rapport au PY 34 et au PR 104.

Le tableau suivant récapitule les propriétés des pigments de remplacement en comparaison avec celles du PY 34 et du PR 104.

Après avoir écarté les pigments qui ne peuvent satisfaire aux exigences définies, les fabricants peuvent commencer à travailler la couleur au moyen de pigments choisis, en tenant compte des propriétés des pigments organiques et inorganiques.

La méthode de base consiste à mesurer la couleur de la peinture au plomb, puis à utiliser des logiciels et du matériel d'égalisation des couleurs afin de reproduire la teinte visée. Les producteurs de pigments peuvent faciliter ce processus en élaborant des compositions de base par couleur. Les personnes expérimentées en matière de coloration peuvent définir les pigments à utiliser et décider de la composition finale au moyen de teintes répétées.

Les pigments, y compris le PY 34 et le PR 104, ne sont presque jamais utilisés seuls en application finale. Par conséquent, le choix de tel ou tel pigment pour obtenir la couleur et les qualités souhaitées sera orienté par des considérations extrêmement variables. Chaque peinture étant unique, il est impossible de fournir une solution précise. Par ailleurs, la composition de la peinture à remanier et les critères qu'elle remplit

En fonction des associations de pigments qui composent les versions avec et sans plomb, il peut être nécessaire d'envisager le remplacement de l'agent dispersant et la modification du processus de broyage (voir la section 6.3).

Dans certains cas, l'excellente dispersibilité des pigments de plomb fait qu'il suffit d'utiliser un disperser pour assurer la dispersion au cours de la production. Étant donné qu'éliminer les composés de plomb suppose d'employer un ou plusieurs pigments organiques, le processus de fabrication doit être ajusté et comprendre une étape de broyage.

Dans les cas où la version avec plomb ne contient que des pigments inorganiques alors que la version sans plomb est majoritairement composée de pigments organiques (exemples 1 et 2), il devient nécessaire d'utiliser un nouveau dispersant et d'adapter le broyage, qui doit durer plus longtemps.

La présence de pigments organiques dans la version avec plomb exige quant à elle d'envisager de modifier le type et la quantité d'agent dispersant en fonction des pigments utilisés dans la version sans plomb.

Le broyage des pigments organiques et inorganiques étant différent, associer ces deux types de pigments nécessite d'éviter de les broyer simultanément. Il est pour cela possible :

- de fabriquer des émaux colorants et de les mélanger pour obtenir la teinte voulue ;
- de broyer les pigments séparément au cours de la production, ce qui suppose de broyer le ou les pigments inorganiques, puis d'utiliser le même matériel de broyage réglé différemment pour broyer le ou les pigments organiques, ou inversement. La combinaison de pigments présentée dans l'exemple 2 est une bonne illustration de ce type de méthode. Les pigments PY 53 et PR 101 devraient être préalablement et simultanément dispersés avant le PR 254, ou l'inverse. Les paramètres de broyage devraient être ajustés en fonction de chaque phase de broyage ;
- d'utiliser des dispersions de pigments prêtes à l'emploi (c'est-à-dire universelles) adaptées à une large variété de milieux.

D'un point de vue pratique, la méthode à choisir dépend des quantités à produire et des capacités matérielles. Cependant, le coût représente également un facteur décisif.

Afin que leur application à grande échelle soit réussie, les conditions de broyage utilisées en laboratoire doivent être comparables à celles qui peuvent être mises en place dans les installations de production.

Il est absolument fondamental de vérifier la stabilité du mélange dispersé (voir la section 6.3). Un mélange non stabilisé risque de limiter les possibilités de reproduire une couleur, d'entraîner l'apparition d'un voile ou d'autres défauts dans le feuil et de réduire la résistance aux conditions climatiques.

La résistance aux conditions climatiques peut être mesurée au moyen d'une exposition à l'extérieur, mais celle-ci doit être prolongée afin de fournir des résultats concluants. C'est pour cette raison que la résistance au climat est artificiellement évaluée à l'aide de dispositifs de vieillissement accéléré. Il peut s'agir, par exemple, d'une enceinte QUV (lampe à arc au xénon ou au carbone), d'un weatheromètre ou encore d'un test d'exposition au soleil par rayons ultraviolets. Selon leur finalité, les peintures peuvent être soumises à un vieillissement accéléré pendant plusieurs milliers d'heures. La version reformulée d'une peinture doit être testée parallèlement à sa version avec plomb. Pendant et après le test de vieillissement, la conservation de la couleur et du brillant (à savoir les différences observées en la matière par rapport aux échantillons non exposés) ainsi que le farinage sont évalués.

► Encadré 3 – Cabine d'appariement des couleurs



Crédit photo : avec l'aimable autorisation de BYK-Gardner

Évaluer l'appariement des couleurs de manière appropriée nécessite :

- d'appliquer les échantillons à évaluer sur une couche de fond ;
- de laisser le temps à la couche de fond de sécher (en cas de séchage à l'air libre) ;
- d'utiliser la même technique d'application pour chaque échantillon ;
- d'appliquer environ la même épaisseur de peinture de référence et testée ;
- de comparer les couleurs dans une cabine d'appariement des couleurs ou à la lumière du jour.

La lumière du soleil inclut l'ensemble des longueurs d'ondes visibles. Les lumières incandescentes sont majoritairement composées de couleurs jaunes et orange, tandis que les lumières fluorescentes sont en grande partie de couleur violettes et rouges. Étant donné qu'il est plus probable que la peinture sera vue à la lumière du jour, celle-ci doit servir à en évaluer la couleur. Comparer les couleurs au sein d'une cabine d'appariement des couleurs permet d'employer différentes sources de lumière.

Remplacer un pigment peut entraîner un phénomène de métamérisme. Le métamérisme survient lorsque la couleur de deux objets paraît identique sous un éclairage spécifique, mais diffère sous une autre source de lumière. Le plus souvent, ce phénomène est dû au fait que l'un des objets contient un ou plusieurs pigments qui n'entrent pas dans la composition de l'autre. Par exemple, deux objets peuvent afficher une couleur identique à la lumière du jour, mais sembler de couleur différente sous une lumière incandescente.

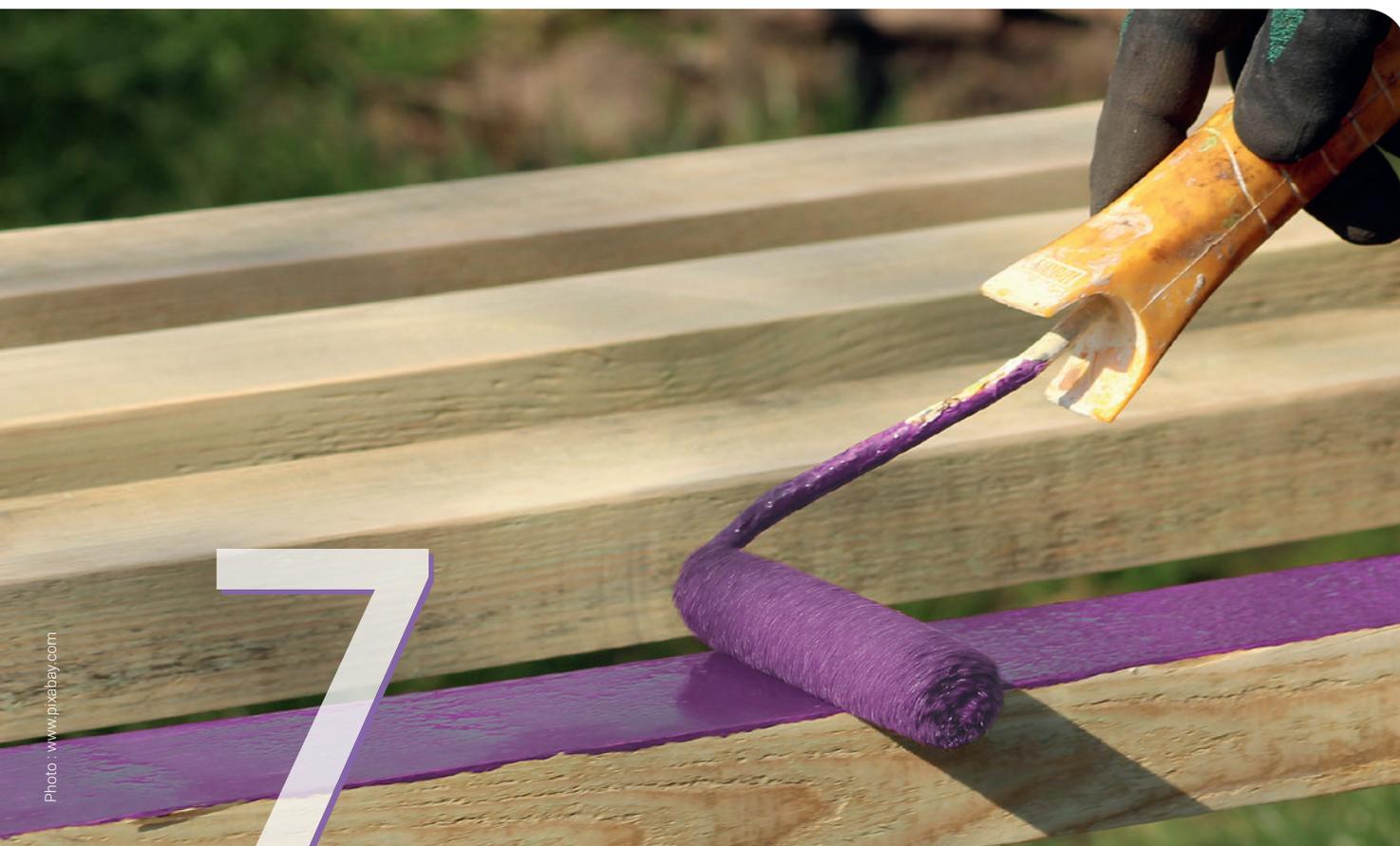


Photo : www.pixabay.com

SUBSTITUTION DES SICCATIFS AU PLOMB

Ce chapitre contient des informations sur les siccatifs les plus répandus, à savoir l'octoate de plomb et le naphténate de plomb. Des renvois bibliographiques sont fournis aux lecteurs qui souhaitent s'informer sur d'autres siccatifs ou obtenir des renseignements plus détaillés sur ceux qui sont les plus fréquemment utilisés.

Remplacer les siccatifs au plomb n'implique pas nécessairement d'élaborer des compositions complexes. Les présentes directives décrivent donc les principes généraux du rôle des siccatifs et leurs caractéristiques individuelles. Des méthodes de dosage et d'essais pour les peintures sont également fournies afin de servir d'orientations au remplacement et à la formulation de peintures séchant à l'air libre sans plomb.

7.1 Rôle et composition des siccatifs

Certains liants, tels que les résines à base d'huile siccative et les résines modifiées (alkydes, esters époxydiques, etc.), durcissent par mécanisme de

réticulation dû à l'oxygène présent dans l'air. Le processus de séchage se divise en plusieurs étapes. La première est le séchage physique de la peinture. Au cours de cette étape, un solvant s'évapore et un feuil fermé se forme par coalescence des particules du liant. Vient ensuite le séchage par oxydation (ou chimique), qui consiste en l'autoxydation de lipides et signifie que la peinture sèche par oxydation du liant en réaction avec l'oxygène moléculaire de l'air. Les siccatifs peuvent accélérer ce processus en jouant le rôle de catalyseurs.

Les siccatifs appartiennent à la classe des sels ajoutés aux revêtements qui sèchent à l'air libre afin d'accélérer ou de déclencher leur passage d'un état liquide à solide dans un délai approprié après l'application. Cette transformation s'effectue dans le cadre d'une réticulation par oxydation, laquelle est déclenchée par le cation de métal du siccatif.

Dans une solution, les siccatifs sont des composés organométalliques solubles dans les solvants organiques et les liants. L'anion présent dans le sel métallique est la principale raison pour laquelle tel ou tel siccatif satisfait aux exigences de base et remplira les fonctions souhaitées suivantes :

- bonne solubilité et stabilité élevée dans différents types de liants ;
- bonne stabilité au stockage ;
- présence en cas de forte concentration de métal ;
- viscosité suffisamment faible pour rendre le siccatif facile à manipuler ;
- pouvoir catalytique optimal ;
- meilleur rapport coût-efficacité possible (Bieleman, 2000).

Les composés métalliques utilisés en tant que siccatifs peuvent être classés dans trois catégories : les siccatifs primaires (également appelés siccatifs actifs ou d'oxydation), secondaires (ou de séchage à cœur) et auxiliaires. Le tableau suivant fait la liste des métaux de fabrication de chaque type de siccatifs.

Les acides organiques qui servent à la composition des siccatifs sont sélectionnés en raison de la mesure optimale dans laquelle ils sont solubles et compatibles avec les liants utilisés.

Les sels métalliques peuvent être :

- neutres ;
- acides (auquel cas ils sont le plus souvent qualifiés de « neutres ») ;
- basiques ;
- surbasiques (lorsque du CO₂ sert à remplacer une partie de l'acide d'un siccatif).

7.2 Propriétés d'une sélection de siccatifs

Le plomb a couramment été utilisé pour fabriquer des siccatifs secondaires. Ces derniers participent à l'étape de réticulation et sont responsables du séchage général de l'ensemble d'un dépôt de peinture. Utilisé seuls, les siccatifs de plomb sont très peu actifs. Cependant, le plomb renforce la souplesse et la durabilité du feuil. En plus d'être toxiques, les siccatifs au plomb présentent d'autres inconvénients. Ils peuvent entraîner une précipitation susceptible de donner une opalescence laiteuse au feuil et de lui faire perdre de son brillant. Cet effet de voile peut être réduit par l'ajout d'un

► **Tableau 19 – Métaux utilisés dans la fabrication de siccatifs**

SICCATIFS PRIMAIRES	SICCATIFS SECONDAIRES	SICCATIFS AUXILIAIRES
<ul style="list-style-type: none"> • Cobalt • Manganèse • Fer • Cérium • Vanadium 	<ul style="list-style-type: none"> • Plomb • Zirconium • Bismuth • Baryum • Cérium • Strontium 	<ul style="list-style-type: none"> • Calcium • Zinc • Lithium • Potassium

Les premiers siccatifs étaient à base d'acides gras ou de colophane, puis ont été produits à partir d'acide naphténiq (matériau présent dans certains pétroles bruts). Le manque actuel d'acide naphténiq pour fabriquer des siccatifs fait que cette substance a été remplacée par des acides synthétiques à chaînes ramifiées tels que l'acide caprylique (2-éthylhexanoïque), l'acide isononanoïque (3,5,5-triméthylhexanoïque) et des acides néodécanoïques (principalement le 2,2,3,5-tétraméthylhexanoïque). Peu odorants, les acides synthétiques permettent une plus forte concentration en métaux et des performances d'une qualité constante.

siccatif au calcium, qui sert d'émulsifiant et améliore la dispersibilité et la mouillabilité du pigment. Les siccatifs au plomb peuvent également causer un ternissement au sulfure, car leur réaction avec ce composé forme du sulfure de plomb noir. Au cours du stockage des peintures, la réaction d'un siccatif au plomb avec des acides gras à chaîne longue (formés par hydrolyse de la résine alkyde) peut rendre le sel de plomb insoluble.

Les siccatifs au plomb sont utilisés avec du cobalt ou du manganèse. Ils sont aussi souvent combinés à du calcium afin d'éviter la précipitation du plomb et la formation d'un voile. En général, les siccatifs mixtes à base de plomb sont formulés avec les proportions de métaux suivantes (exprimées par rapport au volume total de particules solides de résine dans la peinture) :

- 0,05 % de cobalt ;
- 0,5 % de plomb ;
- 0,1 % de calcium.

Le cobalt est un siccatif primaire qui, de par sa nature, sert principalement d'agent de séchage en surface. En tant que simple sel métallique, le cobalt est le plus efficace à température ambiante et peut être utilisé dans la fabrication d'une vaste gamme de revêtements et de vernis. Employé seul, le cobalt peut tendre à provoquer un frisage en surface et un mauvais séchage à cœur. C'est pour cette raison qu'il est associé à d'autres métaux comprenant le manganèse, le zirconium, le strontium, le plomb et le calcium, lesquels servent de base à la production de siccatifs mixtes. Incorporer du cobalt en tant qu'agent de séchage à une résine non diluée risque d'en augmenter fortement la viscosité. Les siccatifs au cobalt peuvent être utilisés seuls dans les produits à base d'eau, mais sont souvent combinés avec un accélérateur de séchage.

Puisqu'il suffit d'en ajouter en très petites quantités, le cobalt présente un risque de décoloration moins élevé que les autres métaux servant de siccatifs. Il ne décolore pas non plus les revêtements blancs dans une aussi large mesure que les autres agents de séchage, car sa profonde couleur bleue contrebalance le jaune des huiles et des liants alkydes, ce qui rehausse la blancheur des peintures.

Le Centre international de recherche sur le cancer classe le cobalt et ses composés dans la catégorie des agents « peut-être cancérigènes pour l'homme » (groupe 2B). Ce métal peut également entraîner une forme de dermatite allergique de contact. Ces caractéristiques font que les siccatifs au cobalt doivent être remplacés, si possible.

Les siccatifs au cobalt peuvent être remplacés par des agents de séchage au vanadium, au fer et au manganèse.

Le **manganèse** est un autre siccatif actif, dont l'efficacité est cependant inférieure à celle du cobalt. En tant qu'accélérateur de polymérisation pour les séchages au four, le manganèse est normalement plus efficace que le cobalt. Dans l'absolu, ces deux métaux améliorent le séchage en surface du feuil. Toutefois, le manganèse permet un meilleur séchage à basse température que le cobalt. Les revêtements qui contiennent du manganèse ne forment pas de plis en cas d'humidité élevée, contrairement à ceux dont le feuil ne comporte que du cobalt. Il est généralement préférable que les peintures blanches soient fabriquées sans ou avec très peu de manganèse, car ajouter de grandes quantités de ce métal leur donnerait une couleur rose ou une teinte jaune rosâtre. Le manganèse a notamment pour avantage de ne pas rendre le feuil friable après un séchage au four, ce qui se produit lorsque du cobalt est utilisé seul. En outre, l'ajout de manganèse dans les produits qui tendent à former une peau en surface (tels que les peintures polyuréthanes à l'huile) peut

fournir de bons résultats. Cependant, le manganèse est rarement employé seul. Dans la plupart des cas, il sert d'agent de modification utile associé au cobalt en tant que siccatif primaire. Les siccatifs organiques auxiliaires peuvent modifier les effets produits par les agents de séchage au manganèse.

Les siccatifs au **vanadium** permettent au feuil de sécher en surface et à cœur. Ils ont pour inconvénient majeur de tendre à tâcher le feuil, ce qui limite considérablement l'emploi de vanadium dans les peintures. Il semblerait également que ce métal soit particulièrement susceptible de perdre en pouvoir siccatif. Les siccatifs au vanadium peuvent servir à fabriquer des peintures à base de solvant qui sèchent à l'air libre ainsi que des revêtements très garnissants. Sous leur forme émulsionnable, ils peuvent également être utilisés dans la production de peintures à base d'eau.

Le **calcium** est d'une efficacité limitée en tant que siccatif, mais très utile lorsqu'il est combiné à des agents de séchage actifs. Ce métal garde la matrice du feuil ouverte, ce qui permet la pénétration d'une plus grande quantité d'oxygène et une meilleure évaporation des solvants en début de séchage. Le calcium est très efficace lorsqu'il est associé à du cobalt et à du zirconium afin d'assurer le séchage dans des conditions climatiques défavorables (températures basses, humidité élevée, etc.). La diminution de pouvoir de séchage du calcium utilisé en tant que siccatif auxiliaire devient moins problématique lorsque les peintures sont stockées pendant de longues durées. Les siccatifs au calcium contribuent à améliorer la dureté et la brillance en plus de réduire la formation d'une peau et la moirure. Si la plupart des siccatifs sont ajoutés au cours de la dilution des peintures en fabrication, les siccatifs auxiliaires tels que le zinc et le calcium peuvent généralement être mélangés à la base de broyage en raison de leur efficacité en tant qu'agents mouillants et dispersants.

Les siccatifs à base de plomb peuvent être remplacés par des agents de séchage au zirconium ou au strontium.

Le **zirconium**, de même que le plomb et les métaux rares, sert d'agent de séchage à cœur. Il n'est efficace qu'une fois combiné à des siccatifs primaires. Il permet au feuil de sécher en surface et à cœur. Contrairement au plomb, le zirconium est un mauvais agent de mouillage et de dispersion des pigments. Il doit donc être utilisé avec du calcium. À température et à humidité ambiantes, l'association du cobalt, du zirconium et du calcium offre un pouvoir de séchage largement semblable à celui des siccatifs mixtes à base de plomb. Cependant, son efficacité pose problème dans les environnements extrêmes, c'est-à-dire lorsque la température est inférieure à 10 °C.

Le **strontium** possède les mêmes capacités de séchage que le zirconium, mais est également avantageux en tant que siccatif auxiliaire, auquel cas il améliore la stabilité pendant le stockage et entraîne

une moindre « perte en capacité de séchage » (ce qui est particulièrement utile pour les peintures à forte teneur en pigments ou en additifs). Il semblerait que le strontium prend le pas sur le zirconium, dont les performances sont insuffisantes, et soit en passe de devenir le produit de remplacement le plus couramment choisi. Il s'agit en outre d'un bon agent de mouillage et de dispersion des pigments qui empêche la formation d'un voile et le frisage. Cependant, l'emploi de strontium peut avoir une incidence négative sur les qualités d'une peinture en extérieur.

Les siccatis surbasiques au strontium représentent des substituts rentables aux propriétés de séchage supérieures dont le rapport coût-efficacité est meilleur que celui des siccatis neutres.

Il est devenu courant pour les industriels de la peinture d'utiliser des combinaisons de métaux, lesquelles comprennent un ou plusieurs agents de séchage actifs accompagnés d'un ou plusieurs siccatis auxiliaires. Ces composés sont vendus prêts à l'emploi ou en tant que siccatis précombinés.

Les siccatis mixtes présentent les nombreux avantages suivants par rapport aux agents de séchage traditionnels au plomb :

- meilleure efficacité ;
- réduction de la quantité de matières premières nécessaires ;
- moindre risque d'erreurs de pesage ;
- utilisation des métaux en proportions optimales ;
- processus de production simplifié ;
- qualité constante.

Les accélérateurs de séchage, aussi appelés agents complexants, sont des composés non métalliques (c'est-à-dire des ligands organiques) qui renforcent l'action des siccatis métalliques primaires et permettent au feuillet de sécher plus rapidement. Ils agissent en se combinant aux atomes métalliques par la formation de chélates. Deux accélérateurs de séchage sont largement répandus sur le marché. Il s'agit du 2,2'-dipyridyl et de la 1,10-phénanthroline, qui servent à la fabrication de peintures à base de solvant comme de peintures à base d'eau séchant à l'air libre. L'hydrolyse du siccatif primaire peut faire perdre les peintures en phase aqueuse en rapidité de séchage au cours de leur stockage. Combiner ce siccatif à des accélérateurs de séchage permet d'assurer une certaine protection contre l'hydrolyse. L'adsorption du siccatif métallique sur la surface de pigments provoque également une perte en pouvoir de séchage que l'utilisation d'accélérateurs peut, dans une certaine mesure, réduire.

Pendant le stockage, l'oxygène risque d'induire une réticulation prématurée et indésirable du liant à l'interface avec l'atmosphère, c'est-à-dire à la surface de la peinture. Les agents anti-peaux peuvent prévenir ou retarder ce processus d'oxydation involontaire.

7.3 Perte du pouvoir siccatif

Les peintures qui sèchent par oxydation mettent généralement plus longtemps à sécher après un stockage de longue durée. La perte d'effet siccatif est principalement due aux facteurs suivants :

- **Adsorption chimique du siccatif sur la surface de pigments** : contrairement à l'adsorption physique, qui est un processus réversible, l'adsorption chimique immobilise définitivement le siccatif. Les pigments qui présentent des groupes acides en surface entraînent une adsorption chimique, principalement lorsque leur aire de surface est étendue (tel que dans le cas des noirs de carbone et de différents pigments organiques). La composition des solvants joue également un rôle dans l'adsorption chimique, qui est la plus importante en présence de solvants peu siccatifs, par exemple très polaires ou apolaires. L'utilisation de solvants minéraux désaromatisés est plus susceptible de provoquer une adsorption chimique que la dilution par white-spirit.
- **Formation de sels** : l'interaction de l'ion de séchage et des acides aliphatiques à chaîne longue produit des sels dont la formation est due à l'hydrolyse du liant ou d'un autre ingrédient. Les sels ne sont généralement pas solubles dans le produit de peinture et forment un dépôt après cristallisation qui entraîne la perte du siccatif.
- **Formation de composés insolubles** : ce phénomène touche généralement les peintures peu odorantes qui sont diluées avec des solvants aliphatiques purs. Les composés de différents types de siccatis, constitués d'acides aliphatiques à chaîne relativement courte (comme des octanoates), sont peu solubles dans les solvants de ces peintures et tendent à cristalliser. La formation de composés insolubles est plus courante en cas de siccatis surbasiques que neutres. Utilisés dans la fabrication de peintures peu odorantes, les siccatis constitués d'acides à chaîne plus longue, tels qu'en C9-C11, présentent une solubilité plus élevée et un risque de cristallisation moindre.
- **Hydrolyse du siccatif** : ce processus est la principale raison pour laquelle les peintures aqueuses perdent en capacité de séchage. En présence d'eau, le siccatif est rapidement hydraté. De plus, l'eau se lie rapidement au cobalt et le décompose donc facilement en composés. Les hydrates ainsi formés sont instables et provoquent une hydrolyse du sel métallique, ce qui rend les métaux basiques insolubles.

Les procédés suivants peuvent empêcher la perte d'effet siccatif :

► Figure 12 – Matériel de production de résines



Photo : © Kansai Helios

- **Sélection d'une formule de séchage** entièrement compatible avec le revêtement : le siccatif doit être soluble dans le liant et ne pas conduire à la formation d'un voile au cours du stockage ou du séchage. S'agissant des produits pigmentés, il est recommandé d'évaluer la compatibilité avec le milieu de suspension sans ajouter de pigments ou de charges.
 - produisent des molécules de métal supplémentaires de manière contrôlée ;
 - entrent en réaction lente avec les acides restants des résines.
- **Ajout d'un siccatif protecteur au cours de la phase de broyage** : il est possible d'employer un siccatif auxiliaire, tel que du calcium, en particulier lorsque la perte en capacité de séchage est due à l'adsorption chimique du siccatif primaire sur le pigment. Cette méthode a ses limites et n'est pas systématiquement utilisable, car incorporer une trop grande quantité de siccatif auxiliaire risque de nuire à la viscosité et à la dureté du produit de peinture par ramollissement, en plus d'avoir une incidence négative sur sa durabilité et la conservation de la couleur.
- **Utilisation d'un siccatif « nourrissant »**, tel que du naphthénate d'hydroxyde de cobalt : ce type de siccatif est vendu sous la forme de pâte et présente une insolubilité dans les solvants d'origine minérale. Les siccatifs nourrissants :
 - revitalisent les métaux actifs qui ont été adsorbés sur des pigments (couleurs sombres) ;

7.4 Évaluation des produits de remplacement des siccatifs au plomb

Certains siccatifs contiennent des éléments néfastes pour la santé ou l'environnement, tels que des solvants organiques ou des accélérateurs de séchage. Procéder à un remplacement nécessite donc d'étudier la composition d'un produit dans son ensemble, et non seulement le composé métallique actif. Cette section est axée sur les substituts de l'octoate de plomb, qui fait partie des siccatifs courants. L'acide synthétique utilisé dans l'octoate de plomb et son produit de remplacement sans plomb, l'acide caprylique (2-éthylhexanoïque), est désormais considéré comme dangereux et susceptible de nuire aux fœtus (ECHA, 2021d). Il est recommandé d'employer des substituts non nocifs, tels qu'à base d'acide isononanoïque (3,5,5-triméthylhexanoïque) ou d'acides néodécanoïques (principalement le 2,2,3,5-tétraméthylhexanoïque).

Le tableau suivant présente une évaluation des produits de remplacement de l'octoate de plomb.

► Tableau 20 – Évaluation des produits de remplacement de l'octoate de plomb

CRITÈRE	OCTOATE DE PLOMB*	PRODUITS DE REMPLACEMENT			
		OCTOATE DE ZIRCONIUM*	OCTOATE DE STRONTIUM**	NÉODÉCANOATE DE ZIRCONIUM	NÉODÉCANOATE DE STRONTIUM
Fonctions	Agent de séchage à cœur (ECHA, 2021)	Agent de séchage à cœur	Agent de séchage à cœur	Agent de séchage à cœur	Agent de séchage à cœur
Faisabilité technique	Siccatif ajouté à la dilution.	Aucune modification du processus de fabrication n'est nécessaire.	Aucune modification du processus de fabrication n'est nécessaire.	Aucune modification du processus de fabrication n'est nécessaire.	Aucune modification du processus de fabrication n'est nécessaire.
Risques pour l'environnement et la santé humaine	<p>H226 : liquide et vapeur inflammables</p> <p>H302 : nocif en cas d'ingestion</p> <p>H332 : nocif par inhalation</p> <p>H410 : très toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme</p> <p>H360 (f,d) - peut nuire à la fertilité peut nuire au fœtus.</p> <p>H372 : risque avéré d'effets graves pour les organes à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée</p> <p>H336 : peut provoquer somnolence ou des vertiges</p>	<p>H302 : nocif en cas d'ingestion</p> <p>H304 : peut être mortel en cas d'ingestion et de pénétration dans les voies respiratoires</p> <p>H318 : provoque de graves lésions des yeux</p> <p>H361 D : susceptible de nuire au fœtus</p> <p>H315 : provoque une irritation cutanée</p>	<p>H302 : nocif en cas d'ingestion</p> <p>H304 : peut être mortel en cas d'ingestion et de pénétration dans les voies respiratoires</p> <p>H318 : provoque de graves lésions des yeux</p> <p>H361 D : susceptible de nuire au fœtus</p> <p>H315 : provoque une irritation cutanée</p>	H304 : peut être mortel en cas d'ingestion et de pénétration dans les voies respiratoires	H304 : peut être mortel en cas d'ingestion et de pénétration dans les voies respiratoires
Faisabilité économique		Les prix sont instables.	Les matières premières du strontium sont généralement moins chères et affichent un cours plus stable que le zirconium.	Ces siccatifs sont plus coûteux que les agents de séchage fabriqués à base d'autres acides.	
Disponibilité	Les siccatifs au plomb sont vendus sur le marché, mais interdits dans de nombreux pays.	Principalement produit en Australie, en Afrique de l'Ouest et en Chine, le sable de zircon (qui constitue la matière première de tous les composés chimiques du zirconium) est disponible en quantité limitée en raison des restrictions d'exploitation minière, qui ont également entraîné une hausse des prix.	Le strontium ne pose aucun problème d'approvisionnement et affiche actuellement un prix stable.	Ces siccatifs sont encore fabriqués par plusieurs entreprises, mais ne sont pas largement disponibles.	

* Risques pour l'environnement et la santé humaine tirés de la fiche de données de sécurité de l'entreprise DURA.

** Ibid.

7.5 Reformulation de peintures contenant des siccatifs

Le durcissement par oxydation étant une réaction complexe qui conjugue une réticulation et une rupture de liaisons simultanées, le dosage des siccatifs joue un rôle fondamental. Obtenir un séchage efficace requiert une quantité minimale de siccatifs. En ajouter trop nuit à la formation du feuillet et à ses propriétés, car les métaux entraînent une oxydation prolongée et continue qui rend le liant, et donc la peinture, friables.

La teneur en certains agents de séchage (tels que les sels organiques de cobalt, de manganèse, de vanadium et de fer) doit être limitée pour éviter la coloration du feuillet.

Certains pigments peuvent également accélérer le séchage par oxydation, notamment les oxydes de fer (principalement transparents, ces derniers ayant une grande aire de surface), les pigments métalliques à base de zinc, les oxydes de zinc, les carbonates de calcium et les pigments de plomb. D'autres, comme les noirs de

carbone, les pigments d'outremer et certains pigments phtalocyanine, peuvent inhiber le durcissement par oxydation. Les siccatifs sont adsorbés sur leur surface. Ils doivent donc être ajoutés en quantités légèrement plus importantes (Bieleman, 2000).

Les siccatifs vendus sur le marché sont caractérisés par leur teneur en métal. Les fiches de données techniques donnent des indications sur le dosage des siccatifs, y compris mixtes. Les recommandations applicables aux peintures fabriquées à base de résines alkydes longues en huile ne seront pas valables pour les revêtements très garnissants ou produits à base de résines alkydes courtes en huile. Afin que les peintures offrent les meilleures performances possibles, les responsables de leur composition doivent trouver le bon équilibre entre les quantités d'agents de séchage primaires, à cœur et auxiliaires. Des métaux spécifiques améliorent des qualités données ; par exemple, ils peuvent accroître la dureté, rehausser le brillant ou améliorer le séchage à cœur.

Le tableau suivant contient les fourchettes de départ recommandées par un fabricant.

► **Tableau 21 – Fourchettes de départ recommandées pour l'ajout d'une sélection de siccatifs (Durachem, s.d.)**

MÉTAL	FOURCHETTE EXPRIMÉE EN POURCENTAGE DU VOLUME DE PARTICULES SOLIDES DE RÉSINE				
	ALKYDE LONGUE EN HUILE	ALKYDE COURTE EN HUILE	SÉCHAGE AU FOUR/CUISSON	BASE D'EAU	TRÈS FAIBLE TENEUR EN COMPOSÉS ORGANIQUES VOLATILS
Plomb	0,50 à 0,80	0,35 à 0,70			
Zirconium	0,20 à 0,40	0,15 à 0,30		0,10 à 0,30	0,08 à 0,15
Strontium	0,20 à 0,40	0,15 à 0,30			
Cobalt	0,04 à 0,07	0,03 à 0,06	0,02 à 0,05	0,04 à 0,12	0,08 à 0,15
Calcium	0,15 à 0,30	0,10 à 0,20		0,05 à 0,10	0,15 à 0,45
Manganèse	0,06 à 0,09	0,04 à 0,09	0,02 à 0,05	0,06 à 0,14	0,08 à 0,15
Vanadium	0,08 à 0,12	0,06 à 0,09			

► Encadré 4 – Calculer la quantité de siccatif nécessaire

La quantité de siccatif nécessaire est calculée au moyen de l'équation suivante :

$$\text{kg de siccatif} = (\text{kg de résine}) \times (\% \text{ de particules solides de résine}) \times (\% \text{ du dosage}) / 100 \times (\% \text{ du métal dans le siccatif})$$

Exemple : Une peinture est composée de 500 kg de résine alkyde (à 50 % de particules solides) pour 1 000 kg de peinture, or il convient d'atteindre une dose de 0,3 % de siccatif à 18 % de zirconium.

$$500 \times 50 \times 0,3 / 100 \times 18 = 4,2 \rightarrow 4,2 \text{ kg de siccatif à 18 \% de zirconium doivent être ajoutés par 1 000 kg de peinture.}$$

Le plomb ne pouvant être remplacé que par du zirconium, les proportions de cobalt et de calcium doivent également être ajustées. D'après différents travaux, les siccatifs au plomb sont remplacés par des formules de séchage dont le zirconium représente de 60 % à 75 % de la teneur en métal. La meilleure manière de faire consiste à commencer par ajouter les quantités recommandées par le fabricant.

Les siccatifs au zirconium peuvent être remplacés sans modifications par des siccatifs au strontium (dont le dosage est calculé d'après la teneur en métaux lorsqu'il s'agit d'éliminer le plomb d'un siccatif), qui ne requièrent pas d'adapter les quantités d'agents de séchage au cobalt et au calcium.

Il est nécessaire de tester les peintures et d'ajuster le dosage des siccatifs afin de parvenir aux meilleurs résultats possibles. En règle générale, cependant, la quantité de siccatifs doit être maintenue au minimum afin d'éviter la survenue d'effets négatifs.

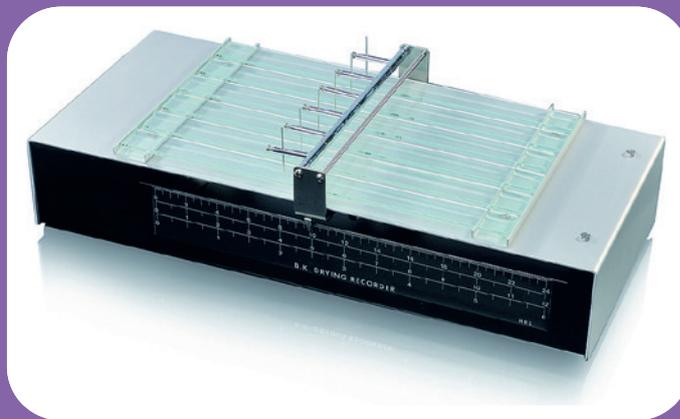
Une fois que le temps de séchage et le feuillet de la formulation sans siccatif au plomb sont rendus comparables à ceux du produit initial, l'influence du stockage sur les qualités de la nouvelle peinture doit être évaluée. Stocker une peinture à des températures élevées (40 °C pendant deux semaines) permet, dans une certaine mesure, de simuler un stockage prolongé. L'allongement du temps de séchage après stockage indique une perte d'effet siccatif de la formule de séchage. Lorsqu'elle présente une séparation distincte des couches ou une sédimentation absentes du produit initial, la peinture de remplacement ne peut être utilisée, en particulier si la brasser ne la rend pas à nouveau facilement mélangeable. La viscosité, la brillance et la dureté du feuillet sec doivent être évaluées avant et après le stockage.

Le tableau 22 fournit des mesures de résolution des problèmes liés aux siccatifs.

► Encadré 5 – Tests de séchage

Une fois la première évaluation du temps de séchage terminée, les formules de séchage qui semblent les plus adaptées au remplacement doivent être testées en fonction de leur influence sur la stabilité, la viscosité, la dureté du feuillet, le brillant et le jaunissement (conservation dans un placard sombre pendant un mois). Tous les essais d'évaluation technique des substituts doivent être comparatifs et, par conséquent, utiliser le produit dont la formule de séchage contient du plomb comme référence.

► Figure 13 – Enregistreur de temps de séchage



Crédit photo : avec l'aimable autorisation de BYK-Gardner

► Tableau 22 – Résolution des problèmes liés aux siccatifs

PROBLÈME RENCONTRÉ	AUGMENTER	OU RÉDUIRE	OU AJOUTER	OU REMPLACER
Feuil trop collant	Cobalt ou manganèse		Cobalt ou potassium	
Ressuage	Calcium			
Poisieux résiduel	Zirconium		Fer	
Mauvaise conservation de la couleur			Zinc	
Faible brillance			Zinc	
Séchage difficile en cas d'humidité élevée			Cérium ou lanthane	
Revêtement trop mou			Zinc, cérium ou bismuth	
Perte d'effet siccatif par absorption des pigments	Calcium neutre		Zinc, fer ou accélérateur de séchage	
Perte d'effet siccatif par précipitation de l'agent de séchage	Calcium surbasique		Accélérateur de séchage	
Séchage trop lent	Ensemble des siccatifs			
Peinture peu résistante à l'eau				Calcium, par du baryum ou du strontium
Frisage	Calcium	Cobalt	Zinc	Cobalt, par du manganèse
Formation de peau au cours du stockage	Agent anti-peaux	Cobalt		
Mauvais séchage à cœur	Zirconium ou calcium	Cobalt		
Jaunissement	Calcium ou lanthane	Cérium ou manganèse		
Séchage lent en surface	Cobalt			Calcium ou potassium
Fixation de poussières	Cobalt			
Séchage lent à basse température				Calcium, par du baryum, du strontium ou du lithium / Cobalt, par du manganèse
Feuil trop friable	Zirconium	Cobalt		
Ternissement au sulfure				Plomb, par du zirconium ou du strontium
Mauvaise dispersion des pigments	Incorporer du zinc ou de l'octoate de calcium à la base de broyage			

* Source : Troy Corporation.



Photos : www.pixabay.com

CONCLUSION

Les siccatifs au strontium sont désormais considérés comme offrant un meilleur niveau de performance global que les agents de séchage au zirconium. Ils en représentent un substitut rentable dont la performance à basse température et à un taux d'humidité élevée est supérieure.

Dans la plupart des cas, le plomb est un agent d'une toxicité chronique qui s'accumule au fil du temps. L'exposition au plomb pose un problème majeur de santé publique et de dégradation de l'environnement. Les nourrissons, les jeunes enfants (en particulier âgés de 5 ans) et les femmes enceintes sont les plus vulnérables face aux effets néfastes du plomb, lequel peut gravement nuire à la santé humaine même en cas d'exposition relativement limitée.

La formulation de peintures sans ajout intentionnel de composés de plomb est un défi industriel que les fournisseurs de matières premières s'efforcent d'aider les fabricants de peintures à relever. Depuis le lancement de la transition vers des peintures sans plomb il y a presque dix ans, il est possible de se procurer de nombreuses matières premières pouvant remplacer le plomb dans les peintures.

Le rouge de plomb anticorrosion (PR 105) a d'excellentes propriétés anticorrosives, mais peut être remplacé par des phosphates de zinc ou des orthophosphates modifiés qui, combinés à des pigments de polyphosphate de zinc, offrent un meilleur pouvoir inhibiteur de corrosion. Le phosphate de calcium et de ses dérivés permettent une amélioration plus poussée des propriétés anticorrosives et de la protection de l'environnement.

Les pigments PY 34 et PR 104 satisfont à des exigences techniques strictes et produisent des teintes claires et fortes. Cependant, ils sont aussi extrêmement dangereux. S'il est impossible de substituer à seul pigment au PY 34 et au PR 104, définir les fonctions qu'une peinture doit remplir permet de les remplacer par une combinaison de pigments.

Les siccatifs au plomb peuvent être remplacés par des agents de séchage au zirconium ou au strontium.

Les conclusions suivantes ont été tirées de l'essai pilote de reformulation de peinture mené avec les PME dans le cadre du projet du FEM et de la SAICM.

► Encadré 6 – Principales conclusions de l'essai pilote de reformulation

La plupart des PME qui participent au projet n'utilisent pas de siccatifs au plomb et toutes les études de cas concernent le remplacement des pigments de plomb.

Le projet nous a appris que les pigments de plomb sont utilisés dans les peintures à base de solvant et à base d'eau.

- Certaines petites entreprises ne disposent pas de tous les équipements nécessaires pour effectuer les tests de performance des peintures et leur extrapolation à l'échelle industrielle. Utiliser des pâtes pigmentaires peut pallier le manque de matériel de broyage.
- Les marchés de taille réduite (marchés des consommateurs) présentent un moindre intérêt commercial pour les fournisseurs et la disponibilité de pigments sans plomb y est limitée (Jordanie, Équateur). Associés à la pandémie de COVID-19, ces éléments ont ralenti la mise en œuvre du projet dans les pays cités.
- Tous les participants conviennent qu'il est important de recevoir un soutien technique de la part des fournisseurs. Certains partenaires ont organisé des réunions avec les équipes techniques du projet, ce

qui leur a permis de mieux comprendre le processus de reformulation et de choisir les bons pigments plus rapidement.

- Les PME ont réussi à réduire de manière significative la concentration de plomb dans les peintures après reformulation. La troisième étude de cas (annexe 3), par exemple, indique une réduction de la teneur en plomb de 34 689 ppm à moins de 56 ppm à l'issue du remaniement d'une peinture alkyde.
- Les coûts économiques de la reformulation varient. Comme le montre la première étude de cas (annexe 3), le prix de la matière première de remplacement est parfois moins élevé que celui du plomb, ce qui entraîne une baisse des coûts. Dans d'autres cas, le prix de la peinture augmente de manière significative.
- Les entreprises ont reformulé leurs peintures au plomb avec succès, mais le perfectionnement des teintes et l'optimisation des coûts requièrent des efforts supplémentaires.

Veillez vous reporter à l'annexe 3 pour obtenir des informations supplémentaires sur les études de cas portant sur les PME.

Les présentes directives définissent les principes généraux de la reformulation des peintures. Étant donné que de nombreuses formulations initiales contiennent du plomb visant à conférer une couleur ou des propriétés spécifiques à une peinture, il est nécessaire d'adopter une approche particulière dans chaque cas. Les entreprises participantes ont reçu des analyses plus détaillées et des données plus précises en fonction de leurs besoins.

Selon les industriels du secteur, la reformulation des peintures pour en éliminer les composés de plomb est réalisable, et les effets techniques et financiers sont maîtrisables.

L'élimination des composés de plomb peut également présenter des avantages économiques. En produisant ou en utilisant des peintures sans composés de plomb, les fabricants de peinture et les utilisateurs (tels que les fabricants de jouets) pourront accéder à des marchés où la teneur en plomb dans la peinture a déjà été limitée.

► Figure 14 – Usine de fabrication de peintures en Colombie



Crédit photo : CNPP de la Colombie

Bibliographie

Agence danoise pour la protection de l'environnement, *Substitution of Cobalt Driers and Methyl Ethyl Ketoxime*. 2003. Disponible à l'adresse suivante : <https://www2.mst.dk/udgiv/publications/2004/87-7614-097-0/pdf/87-7614-098-9.pdf>.

Agence européenne des produits chimiques, *Guidance on the preparation of an application for authorisation*. (Version 1). 2011a. Consulté en janvier 2021. Disponible à l'adresse suivante : https://echa.europa.eu/documents/10162/13643/authorisation_application_en.pdf/8f8fdb30-707b-4b2f-946f-f4405c64cdc7.

Agence européenne des produits chimiques, *Guide des exigences d'information et évaluation de la sécurité chimique*. 2011b. Consulté en mars 2020. Disponible à l'adresse suivante : <https://echa.europa.eu/fr/guidance-documents/guidance-on-information-requirements-and-chemical-safety-assessment>.

Agence européenne des produits chimiques, *Third Party Submission of Information on Alternatives for Applications for Authorisation (Non-Confidential)*. 2014. Consulté en mai 2019. Disponible à l'adresse suivante : https://echa.europa.eu/documents/10162/17086/instructions_third_parties_afa_en.pdf/7bcfcfc7-e189-4e65-8e95-3c93520344c3?t=1447069994330.

Agence européenne des produits chimiques, « Substance Infocard – 2-ethylhexanoic acid ». 2021d. Consulté en janvier 2021. Disponible à l'adresse suivante : <https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.005.222>.

Agence européenne des produits chimiques, « Substance Infocard – Lead bis (2-ethylhexanoate) ». 2021b. Consulté en janvier 2021. Disponible à l'adresse suivante : <https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.005.553>.

Agence européenne des produits chimiques, « Substance Infocard – Lead naphthenate ». 2021a. Consulté en mars 2020. Disponible à l'adresse suivante : <https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.051.610>.

Agence européenne des produits chimiques, « Substance Infocard – Thallium trifluoride ». 2021c. Consulté en janvier 2021. Disponible à l'adresse suivante : <https://echa.europa.eu/fr/substance-information/-/substanceinfo/100.029.100>.

Bieleman, J. (éd.), *Additives for Coatings*. Verlag GmbH, Weinheim. Disponible à l'adresse suivante : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9783527613304>.

BYK, *Wetting and Dispersing Additives*. s.d. Consulté en avril 2020. Disponible à l'adresse suivante : <https://ebooks.byk.com/en/wetting-and-dispersing/why-do-we-use-wetting-and-dispersing-additives/>.

Demayo, A., Taylor, M.C., Taylor, K.M. et Hodson, P.V., « Toxic effects of lead and lead compounds on human health, aquatic life, wildlife plants, and livestock ». *Critical Reviews in Environmental Control*, vol. 12, no 4, 1982, p. 257-305. Disponible à l'adresse suivante : <https://doi.org/10.1080/10643388209381698>.

Durachem, *Technical Brief: Typical drier dosage and addition calculation*. s.d. Consulté en janvier 2021. Disponible à l'adresse suivante : http://www.durachem.com/docs/Tech_Brief-Drier_Dosage_and_Addition_Calculation.pdf.

Edwards, S., Rossi, M., & Civil, P., *Alternatives Assessment for Toxic Use Reduction: A Survey of Methods and Tools*. The Massachusetts Toxic Use Reduction Institute, Université du Massachusetts à Lowell. Disponible à l'adresse suivante : <https://www.turi.org/content/download/3369/30384/file/2005+M%26P+Report+23+Edwards+Rossi+Civie++Alternatives+Assessment+Survey+of+Methods+and+Tools.pdf>.

Goldschmidt, A. et Streitberger, H.-J., *BASF Handbook – Basics of Coating Technology* (2^e édition révisée). Hanovre : Vincentz Network, 2007.

Haig, S.M., D'Elia, J., Eagles-Smith, C., Fair, J.M., Gervais, J. et al., « The persistent problem of lead poisoning in birds from ammunition and fishing tackle ». *Condor*, vol. 116, n° 3, août 2014, p. 408-428. Disponible à l'adresse suivante : <https://academic.oup.com/condor/article/116/3/408/5153126>.

Heubach, *Anticorrosives from the experts*. 2021. Consulté en avril 2021. Disponible à l'adresse suivante : https://www.heubachcolor.com/fileadmin/downloads/brochures/ACO_Broschuere_web.pdf.

- Heubach, *Lead free for our Environment*. 2019. Consulté en mars 2020. Disponible à l'adresse suivante : https://www.heubachcolor.com/fileadmin/downloads/brochures/Bleifrei_web_1.pdf.
- ICL, « HALOX® Z-PLEX 111 ». 2021. Consulté en mars 2021. Disponible à l'adresse suivante : <https://www.halox.com/halox-z-plex-111/>.
- Magazine *Paint and Coatings Industry*, « Extenders ». 26 février 2001. Consulté en mars 2020. Disponible à l'adresse suivante : <https://www.pcimag.com/articles/84133-extenders>.
- Mannari, V. et Patel, C.J., *Understanding Raw Materials*. Hanovre : Vincentz Network, 2015.
- Müller, B. et Poth, U., *Coatings Formulation – An International Textbook* (3^e édition entièrement révisée) Hanovre : Vincentz Network, 2017.
- Olofsson, A., « The Substitution Principle in Chemical Regulation: a Constructive Critique ». *Journal of Risk Research*, Volume 17, n° 5, 2011, p. 573-575. DOI : [10.1080/13669877.2013.841739](https://doi.org/10.1080/13669877.2013.841739).
- Organisation de coopération et de développement économiques, *Existing Chemicals Database*. 2021b. Consulté en janvier 2021. Disponible à l'adresse suivante : <https://hpvchemicals.oecd.org/ui/search.aspx>.
- Organisation de coopération et de développement économiques, *The Global Portal to Information on Chemical Substance*. 2021a. Consulté en janvier 2021. Disponible à l'adresse suivante : <https://www.chemportal.org/chemportal/substance-search>.
- Organisation mondiale de la Santé, *Guide succinct des méthodes de dosage du plomb dans la peinture* (2^e édition). 2020b. Disponible à l'adresse suivante : <https://apps.who.int/iris/handle/10665/332932>.
- Organisation mondiale de la Santé, *Élimination des peintures au plomb à l'échelle mondiale : pourquoi et comment les pays devraient agir*. Note technique. 2020a. Disponible à l'adresse suivante : <https://www.who.int/fr/publications/i/item/9789240005143>.
- Programme des Nations Unies pour l'environnement, Additif de juin 2021 au plan d'action de l'Alliance mondiale pour l'élimination des peintures au plomb.
- Programme des Nations Unies pour l'environnement, *Final Review of Scientific Information on Lead*. Version publiée en décembre 2010. Disponible à l'adresse suivante : <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/27635>.
- Prospector, « Coating and Formulation Search ». 2021. Consulté en janvier 2021. Disponible à l'adresse suivante : <https://www.ulprospector.com/fr/la/Coatings/Formulation/search?start=123859653>.
- Rodrigues, E.G., Virji, M.A., McClean, M.D.M., Weinberg, J., et al., « Personal exposure, behavior, and work site conditions as determinants of blood lead among bridge painters ». *Journal of Occupational Environmental Hygiene*, vol. 7, n° 2, février 2010, p. 80-87. Disponible à l'adresse suivante : <https://dx.doi.org/10.1080%2F15459620903418316>.
- Réseau international pour l'élimination des polluants organiques persistants, *Lead drier replacement in solvent-based alkyd decorative paints*. Angleterre : Safinah, 2015b. Disponible à l'adresse suivante : <https://ipen.org/sites/default/files/documents/Lead%20drier%20replacement%20in%20solvent%20based%20alkyd%20decorative%20paints.pdf>.
- Réseau international pour l'élimination des polluants organiques persistants, *Replacement of lead pigments in solvent based decorative paints*. Angleterre : Safinah, 2015a. Disponible à l'adresse suivante : <https://ipen.org/sites/default/files/documents/Replacement%20of%20lead%20pigments%20in%20solvent%20based%20decorative%20paints.pdf>.
- Were, F.H., Moturi, M.C., Gottesfeld, P., Wafula, G., et al., « Lead exposure and blood pressure among workers in diverse industrial plants in Kenya ». *Journal of Occupational Environmental Hygiene*, vol. 11, n° 11, 2014, p. 706-715. Disponible à l'adresse suivante : <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15459624.2014.908258>.
- Zhou, S., Williams, A.P., Berg, A.M., Cook, B.I., Zhang, Y., Hagemann, S. et al., « Land-Atmosphere Feedbacks Exacerbate Concurrent Soil Drought and Atmospheric Aridity ». *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 116, n° 38, 2019; p. 18848-18853. Disponible à l'adresse suivante : <https://doi.org/10.1073/pnas.1904955116>.

Annexes

▶ ANNEXE 1 – CONSEILS POUR LA RECHERCHE D'INFORMATIONS SUR LES PRODUITS DE REMPLACEMENT MOINS DANGEREUX

Pour les recherches sur Internet :

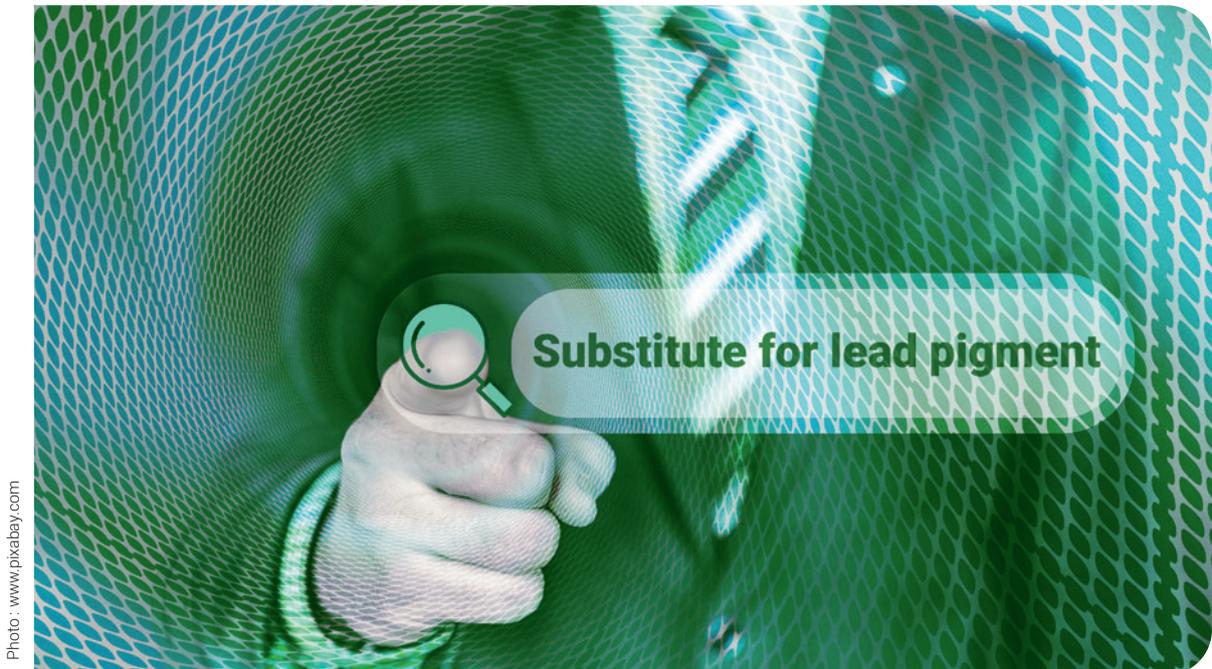
Commencez par les termes suivants :

- Remplacer... (nom du produit chimique à remplacer)
- Produit de remplacement du/de... (nom du produit chimique à remplacer)
- Nom du produit chimique à remplacer... (nom du produit, par exemple de la peinture)
- (Nom du produit) sûr/plus sûr, vert, plus sain, écologique...

Incluez dans votre recherche :

- le nom du produit chimique et son utilisation (par exemple « pigment dans les peintures ») ;
- autant de détails que possible (secteur, processus, produit, fonction) ;
- des synonymes et des numéros d'identification (CAS, EC, etc.).

▶ Figure 15 – Commencer par une recherche



ANNEXE 2 – EXEMPLES DE COMPOSITION

Note 1 : voir la section 6.6.4 « Reformulation des peintures avec des pigments » pour les exemples 1 et 2.

Note 2 : la couleur et le pouvoir masquant dépendent du type de peinture, car les matières colorantes réagissent différemment selon les milieux de suspension.

Exemple 3 – Composition d'un apprêt sans plomb et peu coûteux à base de résine alkyde longue en huile (ICL, 2021)

BROYAGE		
MATIÈRE PREMIÈRE / FOURNISSEUR	% m/m	TYPE
Résine alkyde longue en huile (70%)	21,05	Milieu de suspension
Solvants minéraux (inodores) / LANXESS	18,71	Solvant
Bentone 34 / Omya	0,94	Épaississant
Méthanol / LANXESS	0,23	Solvant
Bayferrox® 180 M / LANXESS	4,68	Pigment d'oxyde de fer rouge synthétique
HALOX® Z-PLEX 111 / ICL Specialty Products	9,35	Composé de phosphate de zinc (précipitation et passivation anodique)
Mica Talc AT.1.	32,74	Enduit
DILUTION		
Résine alkyde longue en huile (70%)	2,34	Milieu de suspension
Solvants minéraux / LANXESS	8,84	Solvant
Zirconium (12 %) / OMG Europe	0,28	Siccatif
Cobalt (12 %) / OMG Europe	0,09	Siccatif
Zinc (8 %) / OMG Europe	0,37	Siccatif
Calcium (4 %) / OMG Europe	0,19	Siccatif
Skino #1 / OMG Europe	0,19	Agent anti-peaux
TOTAL	100	

Exemple 4 – Composition d'un apprêt industriel sans plomb à base d'ester époxydique

BROYAGE		
MATIÈRE PREMIÈRE / FOURNISSEUR	% m/m	TYPE
Uranox™ EE4 X-50 / DSM Special Resins	20,00	Milieu de suspension
Bentone 34 (10 % dans du white-spirit ou de l'éthanol, 85/5) / Omya	4,7	Épaississant
Special Black 100 / Orion	0,30	Pigment
Oxyde de zinc	4,4	Pigment
Phosphate de zinc ZP 10 / Heubach	11,20	Pigment
Finntalc M15 / Elementis	9,00	Enduit
Barytine EWO / Sachtleben Minerals	4,40	Enduit (sulfate de baryum)
Bayferrox® 222 FM / LANXESS	1,70	Pigment
Heucorin® RZ / Heubach	1,20	Inhibiteur de corrosion organique
DILUTION		
Uranox™ EE4 X-50 / DSM Special Resins	14,70	Milieu de suspension
Octa-Soligen® Cobalt 6 / Borchers	0,10	Siccatif
Exkin® 2 / Venator	0,20	Agent anti-peaux
Shellsol A / Shell	12,10	Solvant
TOTAL	100	

Cette peinture sèche rapidement. Elle est hors poussière en 45 minutes, manipulable en 2 heures et durcit entièrement en un jour.

► Exemple 5 – Modèle de formulation sans plomb
(Propsector, 2021)

COULEUR			
RAL 1018	% m/m	RAL 1021	% m/m
Jaune Brufasol® AL 10	59,708	Jaune Brufasol® AL 10	63,290
Dioxyde de titane	38,800	PY 4	18,987
PY 83	1,194	PY 83	2,532
PY 101	0,298	PY 101	10,126
		PB 15:3	3,165
		PG 7	1,909
RAL 1023	% m/m	RAL 2000	% m/m
Jaune Brufasol® AL 30	95,487	Jaune Brufasol® AL 30	62,651
PY 83	1,909	PR 177	12,048
PY 101	2,604	PY 83	12,048
		PY 101	13,253
RAL 2004	% m/m	RAL 3000	% m/m
Jaune Brufasol® AL 30	52,175	Jaune Brufasol® AL 30	24,795
PO 34	27,536	PR 254	24,793
PY 101	5,797	PY 101	25,619
Dioxyde de titane	14,492	Dioxyde de titane	14,049
		Rouge oxyde	10,744

► Exemple 6 – Modèles de formulations sans plomb avec pigments hybrides*

PIGMENT	SUBSTITUT A	SUBSTITUT B
Taux de pigments calculé par rapport aux particules solides de liant (23,7 %)		
RAL 1003 Jaune de sécurité	% m/m	% m/m
Jaune TICO® 594	39,80	52,82
Jaune TICO® 622 N	24,90	25,35
Jaune HEUCODUR® 152	13,00	
Jaune HEUCODUR® 151	20,12	19,49
Oxyde de fer jaune	2,8	2,34
RAL 1004 Jaune or	% m/m	% m/m
Jaune TICO® 594	65,15	
Jaune HEUCODUR® 152	19,60	
Oxyde de fer jaune	15,25	
RAL 1007 Jaune narcisse	% m/m	% m/m
Jaune TICO® 594	13,50	
Jaune TICO® 622 N	46,79	
Jaune HEUCODUR® 251	39,70	
Noir de carbone	0,01	
RAL 1023 Jaune signalisation	% m/m	% m/m
Jaune TICO® 594	68,40	96,70
Jaune TICO® 622 N	3,10	3,30
Jaune HEUCODUR® 251	28,50	

* D'autres exemples sont disponibles à l'adresse suivante : https://www.heubachcolor.com/fileadmin/downloads/guide_formulations/Richtformulierungen_Tico.pdf.

ANNEXE 3 – ÉTUDES DE CAS DE REFORMULATION DE PEINTURES

Cette annexe contient des exemples de reformulation réussie de peintures au plomb. Des projets pilotes de démonstration ont été menés avec une sélection de PME de sept pays entre 2019 et 2021.

ÉTUDE DE CAS 1 – REFORMULATION D'UNE PEINTURE ALKYDE ANTICORROSION AU PLOMB



Entreprise et adresse : Zhejiang Yutong New Material Co., Ltd., 11 Shengyang Road, parc industriel Shangma, zone de développement économique Wenling, Zhejiang, Chine.

Personne à contacter : Wu Xiaojun, responsable de la recherche et du développement

Nombre d'employés : 110

L'entreprise a décidé de participer au projet pour des raisons de compétitivité, de sensibilisation à l'environnement et de responsabilité sociale.

DONNÉES SUR LA PRODUCTION

Capacité installée	25 000 tonnes/an
Volume produit en 2019	11 000 tonnes
Types de peintures actuellement fabriquées	revêtements à base de solvant, revêtements industriels aqueux
Types de peintures au plomb	peinture alkyde antirouille, couche de finition alkyde
Volume de peintures au plomb produit en 2019	900 tonnes
Volume de matières premières contenant du plomb consommé en 2018	73 tonnes

SÉLECTION DU PRODUIT À REFORMULER

Nom commercial du produit	Peinture antirouille
Type de produit (base, utilisation)	À base de résine alkyde, utilisé en tant qu'apprêt et revêtement anticorrosion sur des structures en acier au-dessus de la ligne d'eau et sur terre
Volume produit en 2018	2012 tonnes
Part en poids dans la production relative aux peintures au plomb de 2018	44,7 %
Motifs de la sélection	Dans cette entreprise, seuls les produits de peinture alkyde contiennent des pigments de plomb. Leur reformulation permettrait donc d'éliminer les peintures au plomb du processus de production.

REFORMULATION DU PRODUIT

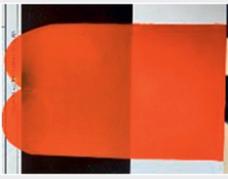
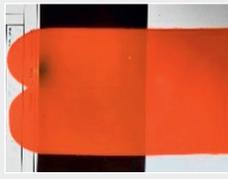
MATIÈRE PREMIÈRE

Composé de plomb à remplacer	Pigment rouge de plomb (PR 105)
Teneur en composés de plomb du produit choisi (% du total des ingrédients)	Primaire : 15 % ; Couches de finition (en fonction de la teinte) : de 0 % à 20 %
Volume total de ce composé de plomb consommé en 2019	73 tonnes

ÉVALUATION DES PRODUITS DE REMPLACEMENT

Substituts envisageables ayant été évalués	Oxyde de fer rouge, poudre de fer-titane
Substituts choisis	Les deux substituts ont été mis à l'essai.
Principaux motifs de sélection des substituts	Le processus de production est identique à celui du plomb. Les substituts ne contiennent pas de métaux lourds et coûtent moins cher.
Possibilité d'utiliser ces substituts dans d'autres produits (préciser le nombre et/ou la tonne de produits, si possible)	Les substituts n'ont servi qu'à fabriquer le produit sélectionné.

RÉSULTATS DES ESSAIS COMPARATIFS EN LABORATOIRE

Critère (d'après les spécifications techniques)	Peinture au plomb (rouge de plomb)	Peinture sans plomb (oxyde de fer rouge)	Peinture sans plomb (poudre de fer-titane)
Couleur			
Taille des particules	≤ 60 µm	≤ 60 µm	≤ 60 µm
Temps de séchage	Surface : 10 minutes Durcissement : 6 heures	Surface : 10 minutes Durcissement : 6 heures	Surface : 10 minutes Durcissement : 6 heures
Brouillard salin	300 heures	300 heures	300 heures
Adhérence	2	2	2
Dureté	HB	HB	HB

► Encadré 7 – Conclusion et prochaines étapes

- Les propriétés mécaniques, anticorrosives et relatives au séchage des reformulations sans plomb sont comparables à celles de la peinture au plomb. Utiliser de l'oxyde de fer rouge donne une couleur assez différente au produit, qui est cependant d'une couleur similaire lorsqu'il est fabriqué avec de la poudre de fer-titane.
- Les reformulations coûtent environ 10 % moins cher que le produit initial.
- Cependant, la préférence des clients pour les peintures au rouge de plomb pose encore problème. Il sera donc nécessaire de sensibiliser la clientèle régulière locale et la population à l'élimination du plomb.

► Figure 16 – Usine de fabrication de peintures de l'entreprise Zhejiang Yutong New Material Co., Ltd. en Chine

Crédit photo : CNPP de la Chine

ÉTUDE DE CAS 2 – REFORMULATION D'UN REVÊTEMENT DE SOL À BASE DE RÉSINE ÉPOXYDIQUE



Entreprise, adresse et site Web : Zhejiang Tiannv Group Paint Co., Ltd., 150 Gaoxin West Second Road, zone de développement économique Tongxiang, ville de Jiaxing, province du Zhejiang, Chine ;
www.tiannucoating.com.

Personne à contacter : Zhang Yarong, responsable technique

Nombre d'employés : 298

L'entreprise a décidé de participer au projet pour des raisons de compétitivité, de sensibilisation à l'environnement, de conformité aux normes et de responsabilité sociale.

DONNÉES SUR LA PRODUCTION

Capacité installée	120 000 tonnes/an
Volume produit en 2019	52 211 tonnes
Types de peintures actuellement fabriquées	1) Revêtements à base de solvant : revêtements industriels anticorrosion, produits d'enduction de bandes en continu à prérevêtement 2) Revêtements industriels à base d'eau 3) Revêtements architecturaux à base d'eau
Types de peintures au plomb	Peintures colorantes, telles que du jaune ou de l'orange
Volume de peintures au plomb produit en 2019	15 000 tonnes
Volume de matières premières contenant du plomb consommé en 2018	696,5 tonnes

SÉLECTION DU PRODUIT À REFORMULER

Nom commercial du produit	Revêtement de sol à base de résine époxydique
Type de produit (base, utilisation)	La résine époxydique et l'agent de réticulation amine sont les principaux composants de base de la formation du feuillet. Ils sont majoritairement appliqués sur des subjectiles en ciment, en béton, en pierre ou en acier à des fins décoratives et de protection du sol.
Volume produit en 2019	860 tonnes
Part en poids dans la production relative aux peintures au plomb de 2018	25 %
Motifs de la sélection	La norme contraignante régissant les substances dangereuses, dont le plomb, a été publiée.

REFORMULATION DU PRODUIT

MATIÈRE PREMIÈRE

Composé de plomb à remplacer	Chromate de plomb (PY 34)
Teneur en composés de plomb du produit choisi (% du total des ingrédients)	0 % à 25 % selon les teintes
Volume total de ce composé de plomb consommé en 2019	517 tonnes
Part en poids dans la production relative aux peintures au plomb	11,2 %

ÉVALUATION DES PRODUITS DE REMPLACEMENT

Substituts envisageables ayant été évalués	Pigment organique jaune, oxyde de fer jaune
Substituts choisis	Pigments organiques jaunes (PY 83, PY 74) / oxyde de fer jaune (PY 42)
Principal motif de sélection des substituts	Les pigments de remplacement ne contiennent pas de métaux lourds tels que du plomb et du chrome.
Possibilité d'utiliser ces substituts dans d'autres produits (préciser le nombre et/ou la tonne de produits, si possible)	D'autres essais en laboratoire devront être menés.

RÉSULTATS DES ESSAIS COMPARATIFS EN LABORATOIRE

Critère (d'après les spécifications techniques)	Matière première à remplacer (PY 34)	Substituts (oxyde de fer jaune et pigments organiques jaunes)
Temps de séchage	Surface : 2 heures ; Couches internes : 10 heures	Surface : 2 heures ; Couches internes : 10 heures
Dureté crayon (rayures)	2H	2H
Résistance aux chocs/cm	50	50
Souplesse/mm	2	2
Essai de quadrillage et classe	1	1
Résistance à l'abrasion (750g/500 r)/g	0,042	0,050
Résistance à l'eau (168 heures)	Pas de cloquage ni de décollement, décoloration de premier degré	Pas de cloquage ni de décollement, décoloration de premier degré
Résistance à l'huile (essence #120, 168 heures)	Pas de cloquage ni de décollement, décoloration de premier degré	Pas de cloquage ni de décollement, décoloration de premier degré
Résistance à l'acide (10 % de H ₂ SO ₄ , 168 heures)	Pas de cloquage ni de décollement, décoloration de premier degré	Pas de cloquage ni de décollement, décoloration de premier degré
Résistance aux alcalis (10 % de NaOH, 168 heures)	Pas de cloquage ni de décollement, décoloration de premier degré	Pas de cloquage ni de décollement, décoloration de premier degré

REFORMULATION DU PRODUIT

RÉSULTATS DE LA MISE EN PRATIQUE

Critère	Peinture au plomb	Peinture sans plomb
Couleur		
Temps de séchage	Surface : 2 heures ; Couches internes : 10 heures	Surface : 2 heures ; Couches internes : 10 heures
Dureté crayon (rayures)	2H	2H
Résistance aux chocs/cm	50	50
Souplesse/mm	2	2
Essai de quadrillage et classe	1	1
Résistance à l'abrasion (750g/500 r)/g	0,045	0,048
Résistance à l'eau (168 heures)	Pas de cloquage ni de décollement, décoloration de premier degré	Pas de cloquage ni de décollement, décoloration de premier degré
Résistance à l'huile (essence #120, 168 heures)	Pas de cloquage ni de décollement, décoloration de premier degré	Pas de cloquage ni de décollement, décoloration de premier degré
Résistance à l'acide (10 % de H ₂ SO ₄ , 168 heures)	Pas de cloquage ni de décollement, décoloration de premier degré	Pas de cloquage ni de décollement, décoloration de premier degré
Résistance aux alcalis (10 % de NaOH, 168 heures)	Pas de cloquage ni de décollement, décoloration de premier degré	Pas de cloquage ni de décollement, décoloration de premier degré

► Encadré 8 – Conclusion et prochaines étapes

- Les résultats en laboratoire sont essentiellement les mêmes que ceux de la mise en pratique. Les pigments organiques jaunes, combinés à de l'oxyde de fer jaune et du dioxyde de titane, pourraient servir à remplacer les pigments de plomb dans les revêtements de sol à base de résine époxydique.
- Le remplacement est fondamentalement réalisable, mais pose quelques problèmes : 1) il existe des différences de saturation qui ne peuvent être corrigées pour reproduire la couleur initiale ; 2) la gamme de teintes possibles est réduite.
- La prochaine étape consiste à améliorer la gamme de teintes des produits jaunes et de réduire les coûts tout en veillant à la qualité des revêtements.

► Figure 17 – Usine de fabrication de peintures de l'entreprise Zhejiang Tiannv Group Paint Co., Ltd. en Chine



Crédit photo : CNPP de la Chine

ÉTUDE DE CAS 3 – REFORMULATION D'UNE PEINTURE ALKYDE JAUNE



Entreprise : LIP-04* (Équateur)

Personne à contacter :
Gustavo Argoti, Directeur général

Nombre d'employés : 14

L'entreprise a décidé de participer au projet pour des raisons de sensibilisation à l'environnement et de responsabilité sociale.

DONNÉES SUR LA PRODUCTION

Capacité installée	75 tonnes/an (1 200 gallons/mois)
Volume produit en 2018	38 tonnes (à la demande)
Types de peintures actuellement fabriquées	Émaux alkydes et peintures architecturales
Types de peintures au plomb	Émaux alkydes jaunes et rouges Peintures latex architecturales jaunes
Volume de peintures au plomb produit en 2018	1,4 tonne (250 gallons/mois)
Volume de matières premières contenant du plomb consommé en 2018	0,7 tonne

SÉLECTION DU PRODUIT À REFORMULER

Nom commercial du produit	Émail jaune vif
Type de produit (base, utilisation)	Émail alkyde utilisé en couche de finition sur des subjectiles en métal ou en bois.
Volume produit en 2018	0,55 tonne
Part en poids dans la production relative aux peintures au plomb de 2018	8,0 %
Motifs de la sélection	L'entreprise fait preuve d'un grand intérêt pour l'élimination du plomb de ses processus et de ses matières premières.

* Les entreprises équatoriennes n'ont pas souhaité être nommées.

REFORMULATION DU PRODUIT

MATIÈRE PREMIÈRE

Composé de plomb à remplacer	Jaune de chrome moyen (PY 34)
Teneur en composés de plomb du produit choisi (poids en % du total des ingrédients)	5,73 %
Volume total de ce composé de plomb consommé en 2018	0,29 tonne

ÉVALUATION DU PRODUIT DE REMPLACEMENT

Substituts envisageables ayant été évalués	Des échantillons de couleur ont été envoyés à l'entreprise Mathiesen afin qu'elle les analyse et fasse part de ses recommandations. Il a été proposé de remplacer le PY 34 par un pigment hybride de la ligne LF.
Substitut choisi	Jaune canari LF-761
Principal motif de sélection du substitut	Propriétés similaires à celui du produit initial.
Possibilité d'utiliser ce substitut dans d'autres produits (préciser le nombre et/ou la tonne de produits, si possible)	Produit à usage domestique.

REFORMULATION DU PRODUIT

RÉSULTATS DES ESSAIS COMPARATIFS EN LABORATOIRE

Critère (d'après les spécifications techniques)	Peinture au plomb	Peinture sans plomb	NTE INEN 2094*
Méthode d'évaluation et luminosité			
Teneur en plomb sur base sèche (NTE INEN 2093)	34,689 ppm	< 56 ppm	< 600 ppm Teneur en plomb recommandée par l'Alliance mondiale : < 90 ppm
Brillant spéculaire à 60° (NTE INEN 1003)	5,4 UB	43,8 UB	Brillant de type 1 et 2 : minimum 70 Émaux mats : maximum 15
	Les résultats obtenus ne sont pas conformes aux critères fixés par la norme INEN 2094 pour les émaux brillants, mais satisfont aux critères établis pour les émaux mats ou semi-mats. La norme INEN 2094 est appliquée à titre volontaire et sert de référence.		

* Norme technique équatorienne INEN 2094 – Peintures : émaux alkydes synthétiques séchant à l'air libre. Critères actuels non contraignants et servant de référence.

REFORMULATION DU PRODUIT

RÉSULTATS DES ESSAIS COMPARATIFS EN LABORATOIRE

Critère (d'après les spécifications techniques)	Peinture au plomb	Peinture sans plomb	NTE INEN 2094
Taux de particules solides par masse (NTE INEN 1024)	40,21 %	37,68 %	35 % minimum
Finesse de dispersion (NTE INEN 1007)	50 µm	10 µm	20 µm maximum
Imperméabilité (NTE INEN 1539)	Pas de cloquage, de ramollissement, de perte d'adhérence ou de modification de la couleur	Pas de cloquage, de ramollissement, de perte d'adhérence ou de modification de la couleur	Les émaux ne doivent pas faire de plis, de cloques, changer de couleur ou présenter tout autre défaut visible à l'œil nu
Adhérence (NTE INEN 1006)	< 35 %	65 % à 85 %	Émaux brillants : 90 % minimum Émaux mats : 90 % minimum
	Les résultats obtenus ne satisfont pas aux critères définis dans la norme INEN 2094 pour les émaux brillants et mats. La norme INEN 2094 est appliquée à titre volontaire et sert de référence.		
Temps de séchage : sec au toucher (NTE INEN 1011)	1,75 heure	1,9 heure	2 heures maximum
Temps de séchage avant manipulation (NTE INEN 1011)	10 heures	11 heures	8 heures maximum
Flottation (NTE INEN 2088)	Pas de différence de couleur	Pas de différence de couleur	Les émaux ne doivent pas être de couleurs visiblement différentes.
Résistance au vieillissement accéléré (NTE-INEN-ISO 16474-3) Durée d'exposition : 100 heures.	<ul style="list-style-type: none"> Conservation du brillant 56 % Changements notables de couleur Pas de craquelage, de cloquage ou de perte d'adhérence 	<ul style="list-style-type: none"> Conservation du brillant 36 % Changements notables de couleur Pas de craquelage, de cloquage ou de perte d'adhérence 	<ul style="list-style-type: none"> Peintures de type 1 : conservation de 80 % minimum de la valeur initiale du brillant. Peintures semi-finales et de type 2 : conservation de 70 % minimum de la valeur initiale du brillant. L'émail ne devrait pas se craqueler, faire des cloques, perdre en adhérence ou changer notablement de couleur.
	Les résultats obtenus ne satisfont que partiellement aux critères de la norme, la conservation du brillant étant inférieure au seuil fixé et des changements de couleur marqués étant survenus.		

RÉSULTATS DE LA MISE EN PRATIQUE

Critère	Peinture au plomb	Peinture sans plomb
REMARQUE : à l'heure actuelle, le projet n'inclut pas d'essais de mise en pratique des nouvelles formulations. Cependant, l'entreprise reste intéressée par la réalisation de nouveaux tests de formulation avec des pigments d'autres fournisseurs (Clariant, BASF, etc.), plus accessibles.		

► Encadré 9 – Conclusion et prochaines étapes

- La reformulation avec le pigment jaune canari LF-761 satisfait aux exigences de l'entreprise en matière de teinte et de pouvoir masquant.
- Le pigment jaune canari LF-761 (fourni par l'entreprise Mathiesen), qui a été mis à l'essai pour la fabrication d'un émail alkyde, nécessite la mise en œuvre d'un processus de broyage afin que la reformulation soit conforme aux spécifications techniques établies.
- Le pigment jaune canari LF-761 remplit les critères du projet s'agissant de la teneur en plomb, la reformulation contenant moins de 0,0056 % de plomb sur base sèche (soit moins de 56 ppm).
- La reformulation est conforme à la plupart des paramètres définis dans la norme NTE INEN 2094 relative aux peintures. émaux alkydes synthétiques séchant à l'air libre. Exigences.
- La reformulation a un coût qui représente une augmentation de 42,20 % par rapport au produit de peinture actuellement fabriqué par l'entreprise.

► Figure 18 – Production de peinture alkyde jaune en Équateur

Crédit photo : CNPP de l'Équateur

ANNEXE 4 – SÉLECTION DE NORMES ISO RELATIVES AUX MÉTHODES GÉNÉRALES D'ESSAI POUR LES PEINTURES ET VERNIS

Les normes suivantes décrivent des méthodes d'évaluation des propriétés des peintures et n'incluent pas de procédés de dosage du plomb dans les peintures. Le prélèvement d'échantillons et le dosage du plomb sont expliqués dans le *Guide succinct des méthodes de dosage du plomb dans la peinture* de l'Organisation mondiale de la Santé⁹.

ISO 1513:2010 – Examen et préparation des échantillons pour essai

L'ISO 1513:2010 spécifie le mode opératoire d'examen préliminaire d'un échantillon unique tel qu'il a été reçu pour essai ainsi que le mode opératoire de préparation d'un échantillon pour essai par mélange et réduction d'une série d'échantillons représentatifs d'une expédition ou d'une livraison en vrac de peinture, de vernis ou produit assimilé.

ISO 1514:2016 – Panneaux normalisés pour essai

L'ISO 1514 :2016 spécifie divers types de panneaux normalisés et décrit les méthodes de préparation avant mise en peinture. Ces panneaux normalisés sont à utiliser dans les méthodes générales d'essai des peintures, des vernis et des produits assimilés.

ISO 1519:2011 – Essai de pliage sur mandrin cylindrique

L'ISO 1519:2011 spécifie une méthode d'essai empirique permettant d'évaluer la résistance d'une couche de peinture, de vernis ou de produit assimilé au craquelage et/ou au décollement d'un subjectile métallique ou en matière plastique lorsqu'il est plié sur un mandrin cylindrique dans des conditions normalisées.

Pour un système multicouche, l'essai peut porter sur chaque couche séparément ou sur le système complet.

La méthode spécifiée peut être mise en œuvre soit comme un essai « conforme/non conforme », l'essai étant effectué avec une dimension spécifiée unique du mandrin pour évaluer la conformité à une exigence particulière ; soit en répétant le mode opératoire en utilisant des mandrins de plus en plus petits pour déterminer le diamètre du premier mandrin sur lequel la couche se craquelle et/ou se décolle du subjectile.

Deux types d'appareils sont spécifiés, le type 1 convenant pour des panneaux d'essai dont l'épaisseur est inférieure ou égale à 0,3 mm et le type 2 pour des panneaux d'essai dont l'épaisseur est inférieure ou égale à 1,0 mm. Il a été démontré que les deux types d'appareils donnent des résultats semblables pour le même revêtement, mais normalement un seul sera utilisé pour soumettre un produit donné à essai.

ISO 1520:2006 – Essai d'emboutissage

L'ISO 1520:2006 spécifie une méthode d'essai empirique d'évaluation de la résistance d'un revêtement de peinture, de vernis ou d'un produit assimilé, aux craquelures et/ou au décollement d'un subjectile métallique lorsque celui-ci est soumis à une déformation progressive par emboutissage dans des conditions normalisées.

En cas d'utilisation d'un système multicouche, l'essai peut être fait sur chaque couche séparément ou sur l'ensemble du système. La méthode peut être exécutée de la façon suivante : soit comme un essai « tout ou rien », l'essai étant effectué à une profondeur d'emboutissage spécifiée, pour évaluer la conformité à une exigence particulière ; soit en augmentant graduellement la profondeur d'emboutissage pour déterminer la profondeur minimale à laquelle la couche se craquelle et/ou se décolle du subjectile.

ISO 1522:2006 – Essai d'amortissement du pendule

L'ISO 1522:2006 spécifie deux méthodes pour effectuer l'essai d'amortissement du pendule sur un revêtement de peinture, de vernis ou d'un produit assimilé. Elle s'applique aux revêtements monocouche et aux revêtements multicouche.

ISO 1524:2020 – Détermination de la finesse de broyage

L'ISO 1524:2020 spécifie une méthode pour déterminer la finesse de broyage des peintures, des encres et des produits assimilés, au moyen d'une jauge appropriée graduée en micromètres.

Elle s'applique à tous les types de peintures liquides et de produits assimilés, excepté les produits contenant des pigments en forme de lamelles (par exemple des copeaux, de l'oxyde de fer micacé, des particules de zinc).

ISO 2409:2013 – Essai de quadrillage

L'ISO 2409:2013 spécifie une méthode d'essai pour l'évaluation de la résistance des revêtements de peinture à être séparés de leurs subjectiles lorsqu'on pratique dans le revêtement un quadrillage par incisions jusqu'au subjectile. La propriété déterminée par cette méthode empirique dépend, entre autres, de l'adhérence de la couche soit à la couche précédente, soit au subjectile. Cette méthode ne peut, cependant, être considérée comme un moyen de mesurer l'adhérence.

Lorsqu'une mesure de l'adhérence est nécessaire, voir la méthode décrite dans l'ISO 4624. La méthode ne convient ni aux revêtements dont l'épaisseur totale est supérieure à 250 µm, ni aux revêtements texturés.

ISO 2431:2019 – Détermination du temps d'écoulement au moyen de coupes d'écoulement

L'ISO 2431:2019 spécifie une méthode de détermination du temps d'écoulement des peintures, vernis et produits assimilés, utilisable pour contrôler leur consistance.

Quatre coupes d'écoulement de dimensions semblables mais ayant des orifices de 3 mm, 4 mm, 5 mm et 6 mm de diamètres sont spécifiées. Deux méthodes permettant de vérifier l'usure et la détérioration des coupes d'écoulement sont données.

Les coupes d'écoulement à ajustage ajustable ne sont pas couvertes par le présent document en raison du fait que les tolérances étroites relatives à l'alimentation en matériau soumis à l'essai de l'ajutage ne sont pas respectées.

ISO 2808:2019 – Détermination de l'épaisseur du feuil

L'ISO 2808:2019 décrit des méthodes pour mesurer l'épaisseur des revêtements appliqués sur un subjectile. Les méthodes de détermination de l'épaisseur de feuil humide, de feuil sec et de l'épaisseur des couches de poudre non réticulées y sont décrites.

ISO 2810:2004 – Vieillessement naturel des revêtements – Exposition et évaluation

L'ISO 2810:2004 spécifie les conditions qu'il est nécessaire de prendre en considération pour le choix du type et de la méthode d'exposition au vieillissement naturel afin de déterminer la résistance des revêtements et des systèmes de peinture (vieillessement direct ou derrière une vitre).

Le vieillissement naturel est utilisé pour déterminer la résistance des revêtements ou systèmes de peinture (désignés ci-après simplement « revêtements ») au rayonnement solaire et à l'atmosphère. Les influences atmosphériques particulières, comme par exemple la pollution industrielle, ne sont pas prises en compte.

ISO 2813:2014 – Détermination de l'indice de brillance à 20°, 60° et 85°

L'ISO 2813:2014 spécifie une méthode pour la détermination de l'indice de brillance des revêtements selon trois géométries : 20°, 60° ou 85°. La méthode convient pour le mesurage du brillant de revêtements non texturés sur des subjectiles plans et opaques.

ISO 2815:2003 – Essais d'indentation Buchholz

L'ISO 2815:2003 décrit une méthode d'essai d'indentation sur un système de peinture, vernis ou produit assimilé monocouche ou multicouches, à l'aide d'un appareil d'indentation Buchholz. La longueur de l'indentation obtenue donne une indication de la déformation résiduelle du revêtement.

Cet essai d'indentation ne convient pas pour les produits qui contiennent un fort plastifiant.

ISO 3248:2016 – Détermination des effets de la chaleur

L'ISO 3248:2016 prescrit une méthode pour déterminer la résistance des couches uniques ou des systèmes multicouches de peintures, de vernis ou de produits assimilés au changement de brillant et/ou de couleur, au cloquage, au craquelage et/ou au décollement de leur subjectile dans des conditions d'exposition à une température spécifiée.

La méthode est applicable aux produits destinés à être utilisés sur des radiateurs à usage domestique ou sur d'autres articles susceptibles d'être exposés à des températures similaires.

ISO 3668:2017 – Comparaison visuelle de la couleur des peintures

L'ISO 3668:2017 spécifie une méthode de comparaison visuelle de la couleur de feuil de peinture ou de produits assimilés par rapport à un étalon (soit un étalon de référence, soit un étalon fraîchement préparé) utilisant des sources de lumière artificielle dans une cabine normalisée.

Il ne s'applique pas aux revêtements contenant des pigments à effets spéciaux, par exemple métalliques, sans accord préalable sur tous les détails concernant les conditions d'éclairage et d'observation.

ISO 3856-1:1984 – Détermination de la teneur en métaux « solubles » – Partie 1 : Détermination de la teneur en plomb – Méthode par spectrométrie d'absorption atomique dans la flamme et méthode spectrophotométrique à la dithizone**ISO 4628-1:2016 – Évaluation de la dégradation des revêtements – Désignation de la quantité et de la dimension des défauts, et de l'intensité des changements uniformes d'aspect**

- **Partie 1 : Introduction générale et système de désignation**
- **Partie 2 : Évaluation de la dégradation des revêtements – Désignation de la quantité et de la dimension des défauts, et de l'intensité des changements uniformes d'aspect – Partie 2 : Évaluation du degré de cloquage**
- **Partie 3 : Évaluation de la dégradation des revêtements – Désignation de la quantité et de la dimension des défauts, et de l'intensité des changements uniformes d'aspect – Partie 3 : Évaluation du degré d'enrouillement**
- **Partie 4 : Évaluation de la dégradation des revêtements – Désignation de la quantité et de la dimension des défauts, et de l'intensité des changements uniformes d'aspect – Partie 4 : Évaluation du degré de craquelage**

- **Partie 5 : Évaluation de la dégradation des revêtements – Désignation de la quantité et de la dimension des défauts, et de l'intensité des changements uniformes d'aspect – Partie 5 : Évaluation du degré d'écaillage**
- **Partie 6 : Évaluation de la dégradation des revêtements – Désignation de la quantité et de la dimension des défauts, et de l'intensité des changements uniformes d'aspect – Partie 6 : Évaluation du degré de farinage par la méthode du ruban adhésif**
- **Partie 7 : Évaluation de la dégradation des revêtements – Désignation de la quantité et de la dimension des défauts, et de l'intensité des changements uniformes d'aspect – Partie 7 : Évaluation du degré de farinage selon la méthode du morceau de velours**
- **Partie 8 : Évaluation de la dégradation des revêtements – Désignation de la quantité et de la dimension des défauts, et de l'intensité des changements uniformes d'aspect – Partie 8 : Évaluation du degré de décollement et de corrosion autour d'une rayure ou d'un autre défaut artificiel**
- **Partie 10 : Évaluation de la dégradation des revêtements – Désignation de la quantité et de la dimension des défauts, et de l'intensité des changements uniformes d'aspect – Partie 10 : Évaluation du degré de corrosion filiforme**

ISO 6270-1:2017 – Détermination de la résistance à l'humidité – Partie 1 : Condensation (exposition sur une seule face)

L'ISO 6270-1:2017 spécifie une méthode pour la détermination de la résistance d'un feuillet de peinture, de systèmes de peinture et de produits assimilés à des conditions de condensation selon les exigences du revêtement ou les spécifications du produit.

ISO 6270-2:2017 – Détermination de la résistance à l'humidité – Partie 2 : Condensation (exposition en enceinte avec réservoir à eau chauffée)

ISO 6270-3:2018 – Détermination de la résistance à l'humidité – Partie 3 : Condensation (exposition dans une étuve avec barboteur chauffé)

ISO 6504-1:2019 – Détermination du pouvoir masquant – Partie 1 : Méthode de Kubelka-Munk pour les peintures blanches et les peintures claires

L'ISO 6504-1:2019 spécifie une méthode pour déterminer le pouvoir masquant (rendement surfacique nécessaire pour obtenir un pouvoir masquant de 98 %) des peintures blanches ou claires. Elle est applicable aux feuillets de peinture ayant une composante trichromatique $Y \geq 70$ et un pouvoir masquant > 80 %. Elle n'est pas applicable aux peintures métalliques ou fluorescentes.

ISO 6504-3:2019 – Détermination du pouvoir masquant – Partie 3 : Détermination du pouvoir masquant pour des peintures bâtiments, béton et utilisation en intérieur

Le présent document spécifie des méthodes de détermination du pouvoir masquant de couches de peinture blanche ou de peinture claire dont les valeurs du tristimulus Y et Y_{10} sont supérieures à 25, appliquées sur une carte à contraste de noir et de blanc, ou sur une feuille transparente et incolore. Dans ce dernier cas, les valeurs du tristimulus Y et Y_{10} sont mesurées sur des plaques noires et blanches. Ensuite, le pouvoir masquant est calculé à partir de ces valeurs du tristimulus.

ISO 6860:2006 – Essai de pliage (mandrin conique)

L'ISO 6860:2006 décrit une méthode d'essai empirique permettant d'évaluer la résistance d'un revêtement de peinture, de vernis ou d'un produit assimilé au craquelage et/ou au décollement d'un substrat métallique lorsqu'il est soumis au pliage autour d'un mandrin conique dans des conditions normalisées.

Pour un système multicouche, l'essai peut être fait sur chaque couche séparément ou sur le système complet.

ISO 9117-1:2009 – Essais de séchage – Partie 1 : Détermination du séchage à cœur et du temps de séchage à cœur

ISO 9117-2:2010 – Essais de séchage – Partie 2 : Essai de pression pour aptitude à l'empilement

ISO 9117-3:2010 – Essais de séchage – Partie 3 : Essai de séchage en surface à l'aide de billes de verre

ISO 9117-4:2012 – Essais de séchage – Partie 4 : Essai à l'aide d'un enregistreur mécanique

ISO 9514:2019 – Détermination du délai maximal d'utilisation après mélange des systèmes de revêtement multicomposants – Préparation et conditionnement des échantillons et lignes directrices pour les essais

ISO 15528:2020 – Peintures, vernis et matières premières pour peintures et vernis – Échantillonnage

ANNEXE 5 – LISTE NON EXHAUSTIVE DE FOURNISSEURS

► Tableau 23 – Liste non exhaustive de fournisseurs datant de mai 2021

ENTREPRISE	SITE WEB
PIGMENTS	
BASF Colors & Effects	www.colors-effects.com
Mathiesen	https://www.grupomathiesen.com/en/
Ferro	https://www.ferro.com
Pyosa Industrias	https://www.pyosa.com
Clariant	https://www.clariant.com/en/Business-Units/Pigments
Jiangsu Shuangle Pigment	http://www.jsshuangle.com/en/
Yingze New Material	
Heubach	https://heubachcolor.com/
Sun Chemical	https://www.sunchemical.com/pigment-products/
Ferro	https://www.ferro.com/Contact
	https://www.clariant.com/en/Business-Units/Pigments
The Shepherd Color Company	https://www.shepherdcolor.com/
Nubiola	https://www.ferro.com/nubiola
Venator	https://www.venatorcorp.com/
Dominion Colour Corporation	https://www.dominioncolour.com/
Bruchsaler Farben	https://www.bruchsaler-farben.de/en/home.html
Vijay Chemical Industries	http://vijaychemical.com/
Vibfast Pigments PVT.LTD.	http://www.vibfast.com/
Trust Chem	https://www.trustchem.eu/organic-pigments/
Resins and Chemicals PVT.LTD.	http://www.asrresin.com/pro_org_yellow.php
Special-Chem	https://coatings.specialchem.com/product/p-aarbor-colorants-corporation-naphthol-red-pigment-pr-112
Sudarshan	http://www.sudarshan.com/perch/resources/decorative-brochure-feb-2018.pdf
Milano Colori	http://www.milano-colori.com/en/plastics-rubber/pigments/organic-pigments/
Hangzhou Boray Pigments Co., Ltd.	http://bofinepigment.com/
Hangzhou Multicolor Chemical Co., Ltd.	http://www.multicolor-pigment.com/pid10206407/Pigment+Yellow+183.htm

* La mention de toute société commerciale ou de tout produit dans les présentes directives ne signifie nullement que le Programme des Nations Unies pour l'environnement ou les auteurs de ce document approuvent les sociétés ou produits cités.

ENTREPRISE	SITE WEB
SICCATIFS	
Venator	https://www.venatorcorp.com/products-and-applications/products/driers
DURA	http://www.durachem.com/home.html
American Elements	https://www.americanelements.com/
DOW	https://www.dow.com/en-us/search.html?
Comar Chemicals PVT.LTD	https://www.comarchemicals.com/index.php/en/products/other-organometallics/paint-driers
Blackfriar	http://www.blackfriar.co.uk/product/liquid-driers/
Matrix Universal	http://www.matrixuniversal.com/paint_driers.html
Silver Fern Chemical Inc.	https://www.silverfernchemical.com/
PHOSPHATE DE ZINC / PHOSPHATE DE ZINC MODIFIÉ	
Shijiazhuang Xinsheng Chemical Co., Ltd.	http://zincphosphatepigment.sell.everychina.com/p-108713315-anti-corrosion-zinc-phosphate-pigment-325-mesh-cas-7779-90-0-white-powder.html
BassTech International	http://basstechintl.com/
Numinor Chemical Industries Ltd.	https://www.knowde.com/stores/numinor-chemical-industries-ltd/
Pigment Sanayi A.S	http://www.pigment.com.tr/
Société Nouvelle des Couleurs Zinciques (SNCZ)	https://www.societe.com/societe/societe-nouvelle-des-couleurs-zinciques-330575887.html
Dimacolor Industry Group Co., Ltd.	http://www.dimacolorgroup.com/about_fy/id/1.html
Heubach	https://heubachcolor.com/
Noelson Chem	https://www.noelsonchem.com/
Shanghai Ocen Zinc Industry Co., Ltd	https://guide31651.guidechem.com/productlist-c72-p1.html
AGENTS DISPERSANTS	
Byk Additives & Instruments	https://www.byk.com/en
Evonik Industries AG	https://corporate.evonik.com/en
Clariant	https://www.clariant.com/en/Business-Units/Industrial-and-Consumer-Specialties/Paints-and-Coatings
Borchers	http://www.borchers.com/index.php?id=2
Ester	https://www.esterchem.co.in/paints-inks.html
BASF	https://www.basf.com/za/en/who-we-are/sites-and-companies.html
Shah Patil & Company	http://www.shahpatilexports.in/paint_&_ink_additives.htm
Harmony Additive PVT. LTD	https://www.harmonyadditive.com/paint-dispersing-agent.html

Il est recommandé de consulter le site Web d'UL Prospector pour rechercher et contacter des fournisseurs de pigments et de siccatifs. Le site est disponible à l'adresse suivante : <https://www.ulprospector.com/fr/eu/Coatings>.

