

Plastiques

**Méthodes d'exposition à des sources lumineuses
de laboratoire**

Partie 1: Lignes directrices générales

Norme Marocaine homologuée

Par décision du Directeur de l'Institut Marocain de Normalisation N° B.O N° , publiée au

Cette norme annule et remplace la norme NM ISO 4892-1 homologuée en 2002.

Correspondance

La présente norme est une reprise intégrale de la norme ISO 4892-1 : 2016.

Droits d'auteur ⚠

Droit de reproduction réservés sauf prescription différente aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé électronique ou mécanique y compris la photocopie et les microfilms sans accord formel. Ce document est à usage exclusif et non collectif des clients de l'IMANOR, Toute mise en réseau, reproduction et rediffusion, sous quelque forme que ce soit, même partielle, sont strictement interdites.

Avant-Propos National

L'Institut Marocain de Normalisation (IMANOR) est l'Organisme National de Normalisation. Il a été créé par la Loi N° 12-06 relative à la normalisation, à la certification et à l'accréditation sous forme d'un Etablissement Public sous tutelle du Ministère chargé de l'Industrie et du Commerce.

Les normes marocaines sont élaborées et homologuées conformément aux dispositions de la Loi N° 12-06 susmentionnée.

La présente norme marocaine NM ISO 4892-1 a été examinée et adoptée par la Commission de Normalisation des des Matières plastiques (1).

Projet de norme marocaine

Sommaire

Page

Avant-propos	iv
Introduction	v
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes et définitions	2
4 Principe	3
4.1 Généralités.....	3
4.2 Portée des essais.....	3
4.3 Utilisation d'essais accélérés avec des sources lumineuses de laboratoire.....	4
5 Exigences relatives aux dispositifs d'exposition en laboratoire	5
5.1 Irradiance.....	5
5.2 Température.....	6
5.3 Humidité et mouillage.....	9
5.4 Autres exigences relatives aux dispositifs d'exposition.....	10
6 Éprouvettes d'essai	11
6.1 Nature, forme et préparation.....	11
6.2 Nombre d'éprouvettes.....	12
6.3 Stockage et conditionnement.....	12
7 Conditions d'essai et mode opératoire	13
7.1 Valeurs de consigne pour les conditions d'exposition.....	13
7.2 Mesurages de propriétés sur les éprouvettes.....	13
8 Périodes d'exposition et évaluation des résultats d'essai	14
8.1 Généralités.....	14
8.2 Utilisation de matériaux de contrôle.....	14
8.3 Utilisation des résultats dans les spécifications.....	14
9 Rapport d'essai	15
Annexe A (normative) Modes opératoires pour mesurer l'uniformité de l'irradiance sur la surface d'exposition de l'éprouvette	17
Annexe B (informative) Facteurs diminuant le degré de corrélation entre les essais de vieillissement accéléré artificiel ou d'irradiation artificielle et les expositions en conditions d'utilisation réelles	20
Annexe C (informative) Normes d'irradiance spectrale solaire	23
Bibliographie	25

Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (IEC) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les procédures utilisées pour élaborer le présent document et celles destinées à sa mise à jour sont décrites dans les Directives ISO/IEC, Partie 1. Il convient, en particulier de prendre note des différents critères d'approbation requis pour les différents types de documents ISO. Le présent document a été rédigé conformément aux règles de rédaction données dans les Directives ISO/IEC, Partie 2 (voir www.iso.org/directives).

L'attention est appelée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence. Les détails concernant les références aux droits de propriété intellectuelle ou autres droits analogues identifiés lors de l'élaboration du document sont indiqués dans l'Introduction et/ou dans la liste des déclarations de brevets reçues par l'ISO (voir www.iso.org/brevets).

Les appellations commerciales éventuellement mentionnées dans le présent document sont données pour information, par souci de commodité, à l'intention des utilisateurs et ne sauraient constituer un engagement.

Pour une explication de la signification des termes et expressions spécifiques de l'ISO liés à l'évaluation de la conformité, ou pour toute information au sujet de l'adhésion de l'ISO aux principes de l'OMC concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir le lien suivant: [Avant-propos — Informations supplémentaires](#).

Le comité responsable de ce document est l'ISO/TC 61, *Plastiques*, Sous-comité SC 6, *Vieillessement et résistance aux agents chimiques et environnants*.

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition (ISO 4892-1:1999) qui a fait l'objet d'une révision technique.

L'ISO 4892 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Plastiques — Méthodes d'exposition à des sources lumineuses de laboratoire*:

- *Partie 1: Lignes directrices générales*
- *Partie 2: Lampes à arc au xénon*
- *Partie 3: Lampes fluorescentes UV*
- *Partie 4: Lampes à arc au carbone*

Introduction

Les plastiques sont souvent utilisés en extérieur et en intérieur, où ils sont exposés au rayonnement solaire de manière directe ou derrière une vitre pendant de longues périodes. Il est donc très important de déterminer les effets du rayonnement solaire, de la chaleur, de l'humidité et des autres contraintes climatiques sur la couleur et les autres propriétés des plastiques. Les essais d'exposition directe au rayonnement solaire et au rayonnement solaire filtré par une vitre sont décrits dans l'ISO 877 (toutes les parties)^[1]. Cependant, il est souvent nécessaire de déterminer plus rapidement les effets du rayonnement, de la lumière, de la chaleur et de l'humidité sur les propriétés physiques, chimiques et optiques des plastiques avec des essais de vieillissement accéléré artificiel ou d'irradiation accélérée artificielle qui utilisent des sources lumineuses de laboratoire spécifiques. Les expositions dans ces appareillages de laboratoire sont effectuées dans des conditions davantage contrôlées que celles rencontrées en environnement naturel et sont destinées à accélérer éventuellement la dégradation des polymères et la défaillance du produit.

La relation entre les résultats des essais de vieillissement accéléré ou d'irradiation accélérée artificielle et ceux obtenus en conditions d'utilisation réelles s'avère difficile à établir en raison de la variabilité de ces deux types d'exposition et du fait que les essais en laboratoire ne reproduisent jamais exactement toutes les contraintes d'exposition rencontrées par les plastiques exposés aux conditions d'utilisation réelles. Aucun essai individuel d'exposition en laboratoire ne peut être spécifié comme une simulation complète des expositions en conditions d'utilisation réelles.

La durabilité relative des matériaux exposés aux conditions d'utilisation réelles peut être très différente selon l'emplacement de l'exposition en raison des différences de rayonnement UV, de période d'humidité, de température, de polluants et d'autres facteurs. Par conséquent, même si les résultats d'essais spécifiques de vieillissement accéléré ou d'irradiation accélérée artificielle sont jugés utiles pour comparer la durabilité relative des matériaux exposés dans un emplacement extérieur donné ou dans des conditions d'utilisation réelles, il ne peut être supposé qu'ils seront utiles pour déterminer la durabilité relative des matériaux exposés dans un autre emplacement extérieur ou dans d'autres conditions d'utilisation réelles.

Plastiques — Méthodes d'exposition à des sources lumineuses de laboratoire —

Partie 1: Lignes directrices générales

1 Domaine d'application

La présente partie de l'ISO 4892 fournit des informations et un guide général pour la sélection et l'application des méthodes d'exposition détaillées dans les autres parties de la norme. Elle décrit également les exigences générales de performance des dispositifs utilisés pour exposer les plastiques aux sources lumineuses de laboratoire. Les informations relatives aux exigences de performance sont destinées aux fabricants d'appareillages d'essai de vieillissement accéléré artificiel ou d'irradiation accélérée artificielle.

NOTE Dans la présente partie de l'ISO 4892, le terme «source lumineuse» désigne les sources de rayonnement qui émettent un rayonnement UV, visible ou infrarouge, ou toute combinaison de ces types de rayonnement.

La présente partie de l'ISO 4892 fournit également des informations sur l'interprétation des données issues des essais de vieillissement accéléré artificiel ou d'irradiation accélérée artificielle. Des informations plus spécifiques sur les méthodes de détermination des changements de propriétés des plastiques après exposition et de notification des résultats sont données dans l'ISO 4582.

2 Références normatives

Les documents suivants, en tout ou partie, sont référencés de manière normative dans le présent document et sont indispensables pour son application. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

ISO 291, *Plastiques — Atmosphères normales de conditionnement et d'essai*

ISO 293, *Plastiques — Moulage par compression des éprouvettes en matières thermoplastiques*

ISO 294-1, *Plastiques — Moulage par injection des éprouvettes de matériaux thermoplastiques — Partie 1: Principes généraux, et moulage des éprouvettes à usages multiples et des barreaux*

ISO 294-2, *Plastiques — Moulage par injection des éprouvettes de matériaux thermoplastiques — Partie 2: Barreaux de traction de petites dimensions*

ISO 294-3, *Plastiques — Moulage par injection des éprouvettes de matériaux thermoplastiques — Partie 3: Plaques de petites dimensions*

ISO 295, *Plastiques — Moulage par compression des éprouvettes de matériaux thermodurcissables*

ISO 2818, *Plastiques — Préparation des éprouvettes par usinage*

ISO 3167, *Plastiques — Éprouvettes à usages multiples*

ISO 4582, *Plastiques — Détermination des changements de coloration et des variations de propriétés après exposition à la lumière du jour sous verre, aux agents atmosphériques ou aux sources lumineuses de laboratoire*

ISO 4892-2, *Plastiques — Méthodes d'exposition à des sources lumineuses de laboratoire — Partie 2: Lampes à arc au xénon*

ISO 4892-3, *Plastiques — Méthodes d'exposition à des sources lumineuses de laboratoire — Partie 3: Lampes fluorescentes UV*

ISO 4892-4, *Plastiques — Méthodes d'exposition à des sources lumineuses de laboratoire — Partie 4: Lampes à arc au carbone*

ISO 9370, *Plastiques — Détermination au moyen d'instruments de l'exposition énergétique lors d'essais d'exposition aux intempéries — Lignes directrices générales et méthode d'essai fondamentale*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

NOTE Les définitions des autres termes se rapportant aux essais de vieillissement sont données dans la Référence [2].

3.1 matériau de contrôle

(essais de vieillissement) matériau de composition et de construction similaires au matériau d'essai, exposé en même temps que ce dernier, et utilisé à des fins de comparaison

Note 1 à l'article: Un exemple d'utilisation d'un matériau de contrôle consisterait à évaluer une formulation différente de celle d'un matériau effectivement utilisé. Dans ce cas, le plastique élaboré avec la formulation d'origine serait le matériau de contrôle.

3.2 éprouvette d'essai

partie du matériau soumis à essai stockée dans des conditions de stabilité et utilisée pour comparer les états exposé et non exposé

3.3 vieillissement accéléré artificiel

exposition d'un matériau dans un dispositif de vieillissement en laboratoire à des conditions qui peuvent être cycliques et intensifiées par rapport à celles rencontrées lors d'une exposition à l'extérieur ou en service

Note 1 à l'article: Cet essai implique une source de rayonnement de laboratoire, de la chaleur et de l'humidité (sous forme d'humidité relative et/ou d'une vaporisation d'eau, d'une condensation ou d'une immersion) afin de tenter de produire plus rapidement les mêmes changements que ceux rencontrés lors d'une exposition à l'extérieur.

Note 2 à l'article: Le dispositif peut comprendre des systèmes de contrôle et/ou de surveillance de la source lumineuse et d'autres paramètres de vieillissement. Il peut également permettre l'exposition à des conditions spéciales (pulvérisation d'acide, par exemple) afin de simuler l'effet des gaz industriels.

3.4 irradiation accélérée artificielle

exposition d'un matériau à une source de rayonnement de laboratoire servant à simuler le filtrage du rayonnement solaire par les vitres ou le rayonnement à partir de sources d'éclairage intérieures, et où des éprouvettes peuvent être soumises à des changements relativement faibles de température et d'humidité relative afin de produire plus rapidement les mêmes changements que ceux qui ont lieu lorsque le matériau est utilisé dans un environnement intérieur.

Note 1 à l'article: Ces essais d'exposition sont généralement appelés «essais de décoloration» ou «essais de résistance à la lumière».

3.5 matériau de référence

matériau de performance connue

3.6

épreuve de référence

partie du matériau de référence devant être soumise à une exposition

4 Principe

4.1 Généralités

Les éprouvettes des échantillons à soumettre à l'essai sont exposées aux sources lumineuses de laboratoire dans des conditions environnementales contrôlées. Les méthodes décrites incluent les exigences à satisfaire pour le mesurage de l'irradiance et de l'exposition énergétique dans le plan de l'éprouvette, de la température des capteurs blancs et noirs spécifiés, de la température de l'air à l'intérieur de l'enceinte et de l'humidité relative.

4.2 Portée des essais

4.2.1 Lors de la réalisation d'essais d'exposition dans des dispositifs qui utilisent des sources lumineuses de laboratoire, il est important de considérer le degré de simulation des conditions d'essai accéléré, par rapport à l'utilisation dans l'environnement réel pour le plastique soumis à l'essai. De plus, lors de la mise en place d'expériences d'exposition et de l'interprétation des résultats d'essais de vieillissement accéléré artificiel ou d'irradiation accélérée artificielle, il est essentiel de tenir compte des effets de variabilité au cours de l'essai accéléré et des expositions réelles.

4.2.2 Aucun essai d'exposition en laboratoire ne peut être spécifié comme une simulation complète des conditions d'utilisation réelles. Les résultats obtenus à partir de ces essais de vieillissement accéléré artificiel ou d'irradiation accélérée artificielle peuvent être considérés comme représentatifs des expositions en conditions d'utilisation réelles uniquement lorsque le degré de corrélation a été établi pour les matériaux spécifiques soumis à l'essai et que le type et le mécanisme de dégradation sont similaires. La durabilité relative des matériaux dans des conditions d'utilisation réelles peut être très différente à des emplacements différents en raison de différences de rayonnement ultraviolet, de durée d'exposition à l'humidité, d'humidité relative, de température, de polluants et d'autres facteurs. Par conséquent, même lorsque les résultats d'un essai d'exposition spécifique réalisé conformément à l'une des parties de la présente Norme internationale sont jugés utiles pour comparer la durabilité relative des matériaux exposés à un environnement particulier, il ne peut pas être supposé qu'ils seront utiles pour déterminer la durabilité relative des mêmes matériaux dans un environnement différent.

4.2.3 Même s'il est tentant de déterminer un «facteur d'accélération général» associant les heures «x» ou les mégajoules de l'exposition énergétique dans un essai de vieillissement accéléré artificiel ou d'irradiation accélérée artificielle aux mois ou années «y» de l'exposition réelle, ce facteur ne doit pas être affecté à tous les matériaux. Ces facteurs d'accélération ne sont pas valables pour plusieurs raisons:

- a) Les facteurs d'accélération dépendent du matériau et peuvent nettement différer d'un matériau à l'autre et selon les différentes formulations du même matériau;
- b) La variabilité du rythme de dégradation au cours des essais de vieillissement accéléré artificiel ou d'irradiation accélérée artificielle et des essais en conditions réelles peut avoir un effet significatif sur le facteur d'accélération calculé;
- c) Les facteurs d'accélération calculés sur la base du rapport d'irradiance entre une source lumineuse de laboratoire et le rayonnement solaire (même si des bandes passantes identiques sont utilisées) ne tiennent pas compte des effets de la température, de l'humidité et des différences d'irradiance spectrale relative entre la source lumineuse de laboratoire et le rayonnement solaire.

NOTE Les facteurs d'accélération déterminés pour une formulation spécifique d'un matériau ne sont valables que s'ils sont fondés sur des données obtenues à partir d'un nombre suffisant d'essais environnementaux extérieurs ou intérieurs séparés et d'essais de vieillissement accéléré artificiel ou d'irradiation accélérée artificielle, de sorte que les résultats utilisés pour relier le temps à la défaillance dans chaque exposition puissent être analysés par des méthodes statistiques. Un exemple d'analyse statistique utilisant de multiples expositions en laboratoire et dans des conditions réelles pour calculer un facteur d'accélération, est décrit dans la Référence [3].

4.2.4 Un certain nombre de facteurs sont susceptibles de réduire le degré de corrélation entre les essais accélérés utilisant les sources lumineuses de laboratoire et les expositions extérieures (des informations plus spécifiques sur la capacité de chaque facteur à altérer le degré de stabilité des matériaux sont données dans l'Annexe B):

- a) les différences dans l'irradiation spectrale relative entre la source lumineuse de laboratoire et le rayonnement solaire;
- b) les niveaux d'irradiance supérieurs à ceux rencontrés dans des conditions d'utilisation réelles;
- c) les cycles d'exposition impliquant une exposition continue à un rayonnement provenant d'une source lumineuse de laboratoire sans aucune période d'obscurité;
- d) les températures d'éprouvettes supérieures à celles rencontrées en conditions réelles;
- e) les conditions d'exposition entraînant des différences de température peu réalistes entre les éprouvettes de couleurs claires et foncées;
- f) les conditions d'exposition entraînant des cyclages très fréquents entre les températures d'éprouvettes basses et élevées, ou entraînant un choc thermique peu réaliste;
- g) les niveaux d'humidité pendant l'essai accéléré peu réalistes par rapport aux conditions d'utilisation réelles;
- h) l'absence d'agents biologiques, de polluants, de précipitations acides ou de condensation.

4.3 Utilisation d'essais accélérés avec des sources lumineuses de laboratoire

4.3.1 Il est préférable d'utiliser les résultats des essais de vieillissement accéléré artificiel ou d'irradiation accélérée artificielle effectués conformément à l'une des parties de la présente Norme internationale pour comparer la performance relative des matériaux. Des comparaisons entre matériaux ne peuvent être effectuées que si ces matériaux font conjointement l'objet d'un essai dans le même dispositif d'exposition. Les résultats peuvent être exprimés en comparant le temps d'exposition ou l'exposition énergétique nécessaire pour réduire le niveau d'une propriété caractéristique à un niveau spécifié. Une application courante consiste à réaliser un essai afin d'établir que le niveau qualitatif de différents lots ne varie pas par rapport à celui d'un matériau de contrôle dont la performance est connue.

4.3.1.1 Il est fortement recommandé d'exposer au moins un matériau de contrôle à chaque essai afin de comparer la performance des matériaux d'essai avec celle du matériau de contrôle. Il convient que le matériau de contrôle soit de composition et de construction similaires et qu'il soit choisi de sorte que ses types de défaillance soient identiques à ceux du matériau soumis à l'essai. Il est préférable d'utiliser deux matériaux de contrôle, l'un d'une durabilité relativement satisfaisante et l'autre d'une durabilité relativement faible.

4.3.1.2 Il est nécessaire d'utiliser un nombre suffisant de répliques de chaque matériau de contrôle et de chaque matériau d'essai afin de permettre une évaluation statistique des résultats. Sauf spécification contraire, utiliser un minimum de trois répliques pour tous les matériaux de contrôle et d'essai. Si les propriétés des matériaux sont mesurées par des essais destructifs, un jeu séparé d'éprouvettes est nécessaire pour chaque période d'exposition.

4.3.2 Dans certains essais de spécification, les matériaux d'essai sont exposés en même temps, comme un matériau de référence vieilli (tissu témoin en laine bleue, par exemple). La (les) propriété(s) du

matériau d'essai est (sont) mesurée(s) après qu'une propriété définie du matériau de référence ait atteint un niveau spécifié. Lorsque le matériau de référence diffère du matériau d'essai de par sa composition, il peut ne pas être sensible à des contraintes d'exposition engendrant une défaillance du matériau d'essai ou être très sensible à une contrainte d'exposition ayant un effet limité sur le matériau d'essai. La variabilité des résultats obtenus pour le matériau de référence peut être très différente de celle du matériau d'essai. Toutes ces différences entre le matériau de référence et le matériau d'essai peuvent produire des résultats erronés lorsque le matériau de référence fait office de matériau de contrôle ou sert à déterminer la durée de la période d'exposition.

NOTE 1 Les définitions des matériaux de contrôle et de référence adaptées aux essais de vieillissement sont données à [l'Article 3](#).

NOTE 2 Des matériaux de référence vieillis peuvent également être utilisés pour surveiller l'homogénéité des conditions opératoires au cours d'un essai d'exposition. Des informations sur la sélection et la caractérisation des matériaux de référence utilisés à cet effet sont données dans la Référence [4]. La Référence [5] décrit un mode opératoire qui utilise la variation de l'indice carbonyle d'un matériau de référence vieilli spécifique en polyéthylène pour surveiller les conditions d'exposition au vieillissement naturel et au vieillissement accéléré artificiel.

4.3.3 Dans certains essais de spécification, les propriétés des éprouvettes sont évaluées après un temps d'exposition ou une exposition énergétique spécifique en utilisant un cycle d'essai avec un ensemble de conditions prescrit. Il convient de ne pas utiliser les résultats d'un essai d'exposition accéléré effectué conformément à l'une des parties de la présente Norme internationale pour établir un degré de «réussite/échec» des matériaux, fondé sur le niveau d'une propriété spécifique après un temps d'exposition ou une exposition énergétique spécifique, à moins que la reproductibilité combinée des effets d'un cycle d'exposition particulier et de la méthode de mesure des propriétés n'ait été établie.

5 Exigences relatives aux dispositifs d'exposition en laboratoire

5.1 Irradiance

5.1.1 Les sources lumineuses de laboratoire sont utilisées pour fournir l'irradiance aux éprouvettes. Pour produire l'irradiance des éprouvettes, une lampe à arc au xénon est utilisée dans l'ISO 4892-2, une lampe fluorescente UV dans l'ISO 4892-3 et une lampe à arc au carbone dans l'ISO 4892-4.

5.1.2 Le dispositif d'exposition doit permettre de positionner les éprouvettes et tout capteur concerné de manière à assurer une irradiance uniforme de la source de rayonnement.

NOTE L'irradiance spectrale produite dans un dispositif de vieillissement accéléré artificiel est très importante. Idéalement, il est attendu que l'irradiance spectrale relative produite par le dispositif soit très proche de celle du rayonnement solaire, notamment dans la région UV de courte longueur d'onde. [L'Annexe C](#) fournit des informations sur les principaux spectres solaires de référence qui peuvent servir à comparer l'irradiance spectrale produite pendant l'exposition accélérée artificielle à celle du rayonnement solaire. Les parties suivantes de la présente Norme internationale contiennent des exigences spécifiques à l'irradiance spectrale relative produite dans les dispositifs décrits dans ces parties.

5.1.3 Le dispositif d'exposition doit être conçu de sorte que l'irradiance en tout emplacement de la surface utilisée pour les expositions d'éprouvettes représente au moins 70 % de l'irradiance maximale mesurée sur cette surface. Les modes opératoires permettant aux fabricants de dispositifs de mesurer l'uniformité de l'irradiance sont exposés dans [l'Annexe A](#).

NOTE L'uniformité de l'irradiance dans les dispositifs d'exposition dépend de différents facteurs, tels que les dépôts susceptibles de se développer dans le système optique et sur les parois de l'enceinte. De plus, l'uniformité de l'irradiance peut être affectée par le type et le nombre d'éprouvettes exposées. L'uniformité de l'irradiance déclarée par le fabricant est valable pour un équipement neuf et des conditions de mesure bien définies.

5.1.4 Si l'irradiance minimale en tout point de la surface utilisée pour l'exposition des éprouvettes est comprise entre 70 % et 90 % de l'irradiance maximale, les éprouvettes doivent être périodiquement

repositionnées pour réduire la variabilité de l'exposition énergétique. Le mode opératoire et le plan de repositionnement doivent être approuvés par toutes les parties concernées.

NOTE La Référence [6] décrit plusieurs modes opératoires possibles, y compris le positionnement aléatoire des répliques, qui peuvent être utilisés pour réduire la variabilité des contraintes d'exposition rencontrées par les éprouvettes au cours de leur exposition.

5.1.5 Si l'irradiance en tout point de la surface utilisée pour l'exposition des éprouvettes est au moins égale à 90 % de l'irradiance maximale, le repositionnement régulier des éprouvettes au cours de l'exposition n'est pas nécessaire pour assurer une exposition énergétique uniforme. Bien que le repositionnement régulier des éprouvettes puisse ne pas être nécessaire, il constitue néanmoins une bonne méthode pour garantir que la variabilité des contraintes d'exposition rencontrées lors de la période d'exposition est maintenue au minimum.

NOTE 1 Selon la sensibilité spécifique du matériau, le repositionnement régulier des éprouvettes constitue une bonne méthode pour minimiser la variabilité des contraintes rencontrées au cours de l'exposition.

NOTE 2 Le placement aléatoire des répliques est également une bonne méthode pour réduire l'effet de toute variabilité des conditions dans la surface d'exposition.

5.1.6 Les instructions du fabricant du dispositif concernant le remplacement des lampes et des filtres, ainsi que le vieillissement prématuré des lampes et/ou filtres, doivent être suivies.

5.1.7 Un radiomètre conforme aux exigences exposées dans l'ISO 9370 peut être utilisé pour mesurer l'irradiance E ou l'irradiance spectrale E_λ , ainsi que l'exposition énergétique H ou l'exposition énergétique spectrale H_λ dans le plan de la surface des éprouvettes.

5.1.7.1 Lorsqu'il est utilisé, le radiomètre doit être monté de manière à recevoir le même rayonnement que la surface des éprouvettes. S'il n'est pas positionné dans le plan des éprouvettes, il doit avoir un champ de vision suffisamment large et doit être étalonné pour une irradiance par rapport à la distance des éprouvettes. Le radiomètre doit être étalonné en utilisant une combinaison de filtres de source lumineuse du même type que ceux qui seront utilisés pour les essais ou en appliquant un coefficient de perte spectrale approprié. L'étalonnage doit être vérifié conformément aux instructions du fabricant de l'instrument de mesure du rayonnement. Un étalonnage complet du radiomètre, traçable par rapport à un organisme de normalisation radiométrique reconnu, doit être effectué au moins une fois par an. Des étalonnages plus fréquents sont recommandés.

Pour les lampes fluorescentes UVB, les radiomètres de terrain doivent être étalonnés avec des lampes dont la répartition spectrale énergétique est identique à celle des lampes qui seront utilisées pour les essais.

NOTE 1 La Référence [7] fournit des lignes directrices spécifiques pour l'étalonnage des radiomètres à l'aide de spectroradiomètres. Cette méthode peut être utilisée pour étalonner le(s) radiomètre(s) des instruments.

NOTE 2 Voir l'ISO 9370 pour obtenir les définitions des radiomètres de terrain et de référence.

5.1.7.2 Lorsqu'elle est mesurée, l'irradiance dans la plage de longueurs d'ondes convenue entre toutes les parties intéressées doit être mentionnée dans le rapport d'essai. Certains dispositifs prévoient le mesurage de l'irradiance dans une plage de longueurs d'onde spécifique (par exemple, 300 nm à 400 nm ou 300 nm à 800 nm), ou dans une bande passante étroite centrée sur une longueur d'onde unique (340 nm, par exemple).

5.2 Température

5.2.1 La température superficielle des matériaux exposés dépend principalement de l'absorption du rayonnement, de l'émissivité de l'éprouvette, de la conduction thermique au sein de l'éprouvette et de la transmission de chaleur entre l'éprouvette et l'air ou le porte-éprouvettes. Étant donné qu'il n'est pas pratique de surveiller la température superficielle d'éprouvettes individuelles, un capteur à panneau noir est utilisé pour mesurer et contrôler la température dans l'enceinte d'exposition. Le panneau noir

du capteur de température à surface noire doit être monté dans la surface d'exposition de l'éprouvette de manière à être dans le même plan et avec la même orientation et à recevoir le même rayonnement et être soumis aux mêmes conditions de refroidissement que la surface plane du panneau d'essai. Pour les éprouvettes tridimensionnelles, le panneau noir doit être dans un plan et avec une orientation qui représente le mieux la majorité de la surface concernée de l'éprouvette ou dans le plan de la surface primaire concernée.

5.2.2 Deux types de capteurs thermiques à surface noire peuvent être utilisés: les thermomètres à étalon noir (BST) et les thermomètres à panneau noir (BPT).

5.2.2.1 Les thermomètres à étalon noir se composent d'une tôle plane (plate) en acier inoxydable dont l'épaisseur est comprise entre 0,5 et 1,2 mm. Les dimensions de longueur et de largeur types sont de 70 mm et 40 mm environ. La surface de cette plaque qui se trouve face à la source de rayonnement doit être revêtue d'une couche noire ayant une bonne résistance au vieillissement. La plaque noire revêtue ne doit pas refléter plus de 10 % de tout le rayonnement incident jusqu'à 2 500 nm. Un élément thermosensible (sonde à résistance en platine, par exemple) doit être fixé au centre de la plaque, du côté opposé à la source de rayonnement, de manière à assurer un bon contact thermique avec la plaque. Ce côté de la plaque métallique doit être fixé à une plaque d'appui de 5 mm d'épaisseur composée de poly(fluorure de vinylidène) (PVDF) non chargé. Un petit espace suffisant pour maintenir la sonde à résistance en platine doit être usiné sur la plaque d'appui en PVDF. La distance entre la sonde et cet évidement de la plaque en PVDF doit être d'environ 1 mm. La longueur et la largeur de la plaque en PVDF doivent être suffisantes pour éviter tout contact thermique métallique entre la plaque métallique noire recouverte et le support de montage sur lequel elle est fixée. Les montures métalliques du support du panneau noir isolé doivent se situer à au moins 4 mm des bords de la plaque métallique. Les thermomètres à étalon noir dont la construction est différente sont admis tant que la température indiquée par l'autre construction ne dépasse pas $\pm 1,0$ °C de celle de la construction spécifiée à toute température en état stable et aux réglages d'irradiance que le dispositif peut atteindre. En outre, le temps nécessaire à une autre construction de thermomètre à étalon noir pour atteindre un état stable doit se situer dans une limite de 10 % du temps nécessaire au thermomètre à étalon noir spécifié pour atteindre cet état stable.

NOTE Les thermomètres à étalon noir sont parfois appelés «thermomètres à panneau noir isolés».

5.2.2.2 Les thermomètres à panneau noir se composent d'une plaque de métal plane (plate) résistant à la corrosion. Les dimensions types sont d'environ 150 mm de longueur, 70 mm de largeur et 1 mm d'épaisseur. La surface de cette plaque qui est dirigée vers la source de rayonnement doit être revêtue d'une couche noire ayant une bonne résistance au vieillissement. La plaque noire revêtue ne doit pas refléter plus de 10 % de tout le rayonnement incident jusqu'à 2 500 nm. Un élément thermosensible doit être solidement fixé au centre de la surface exposée. Cet élément thermosensible peut être une sonde bimétallique noire à cadran, un capteur à résistance, une thermistance ou un thermocouple. Le côté arrière du panneau métallique doit être exposé à l'air libre.

NOTE 1 La géométrie de l'installation influe sur la stabilité des thermomètres à panneau noir car le refroidissement par convection agit des deux côtés du panneau.

NOTE 2 Les thermomètres à panneau noir sont parfois appelés «thermomètres à panneau noir non isolés».

5.2.2.3 Sauf spécification contraire, les températures doivent être mesurées en utilisant l'une des deux conceptions de thermomètre décrites ci-dessus. Si d'autres systèmes sont utilisés pour mesurer la température de panneaux noirs ou blancs, la construction précise du panneau noir ou blanc doit être mentionnée dans le rapport d'essai.

5.2.3 La température indiquée par le thermomètre à panneau ou étalon noir dépend de l'irradiance de la source lumineuse de laboratoire, ainsi que de la température et de la vitesse de déplacement de l'air dans l'enceinte d'exposition. Les températures du thermomètre à panneau noir correspondent généralement à celles des revêtements noirs des panneaux métalliques dont le côté arrière est dépourvu d'isolation thermique. Les températures du thermomètre à étalon noir correspondent généralement à

celles de la surface exposée des échantillons noirs à faible conductivité thermique. Dans les conditions d'exposition types, la température indiquée par un thermomètre à étalon noir est de 3 °C à 12 °C plus élevée que celle indiquée par un thermomètre à panneau noir. Cependant, il convient de déterminer, pour chaque condition d'exposition, la différence réelle entre une température indiquée par un thermomètre à panneau noir et une température mesurée avec un thermomètre à étalon noir. Dans la mesure où les thermomètres à étalon noir sont isolés, leur temps de réponse aux variations de température est légèrement supérieur à celui d'un thermomètre à panneau noir.

5.2.4 Avec une irradiance faible, la différence entre la température indiquée par un thermomètre à panneau noir ou un thermomètre à étalon noir et la température réelle de l'éprouvette peut être infime. Lorsque des sources de rayonnement qui émettent un très faible rayonnement infrarouge sont utilisées, les différences de températures indiquées par les deux types de panneau noir ou entre les éprouvettes de couleurs claire et sombre sont très faibles.

5.2.5 Afin d'évaluer la plage des températures superficielles des éprouvettes exposées et d'avoir un meilleur contrôle de l'irradiance ou des conditions dans l'enceinte d'exposition, l'utilisation d'un thermomètre à panneau ou étalon blanc est recommandée, parallèlement à celle d'un thermomètre à panneau ou étalon noir. La construction du thermomètre à panneau ou étalon blanc doit être identique à celle du thermomètre à panneau ou étalon noir correspondant, à l'exception de l'utilisation d'un revêtement blanc ayant une bonne résistance au vieillissement. La réflexion du revêtement blanc doit être d'au moins 60 % entre 450 nm et 800 nm et d'au moins 30 % entre 800 nm et 1 500 nm.

5.2.6 Les fabricants de dispositifs d'exposition doivent s'assurer que les dispositifs conçus pour satisfaire aux exigences de la présente partie de l'ISO 4892 sont en mesure de satisfaire aux exigences suivantes de contrôle de température du capteur de température noir ou blanc dans sa position de fonctionnement prévue. Ces exigences s'appliquent dans des conditions d'équilibre.

Tableau 1 — Exigences pour la température de consigne du capteur de température noir ou blanc à la position de fonctionnement prévue

Température de consigne	Écart de température admissible du capteur dans sa position de fonctionnement
≤ 70 °C	± 3 °C
> 70 °C	± 4 °C

5.2.7 Les fabricants de dispositifs d'exposition doivent s'assurer que les dispositifs conçus pour satisfaire aux exigences de la présente partie de l'ISO 4892 sont en mesure de satisfaire aux exigences suivantes de contrôle de température d'un capteur de température noir ou blanc placé dans une position quelconque dans la surface d'exposition autorisée. Ces exigences s'appliquent dans des conditions d'équilibre.

Tableau 2 — Exigences pour la température de consigne du capteur de température noir ou blanc en une position quelconque dans la surface d'exposition autorisée

Température de consigne	Écart de température admissible du capteur lorsqu'il est placé à un endroit quelconque de la surface d'exposition
≤ 70 °C	± 5 °C
> 70 °C	± 7 °C

NOTE Pour certains matériaux, des différences de vitesse de dégradation peuvent apparaître entre des dispositifs fonctionnant dans les plages de températures admissibles. Un repositionnement régulier des éprouvettes ou un positionnement aléatoire des répliques pendant l'exposition réduira la variabilité due aux différences de température dans la surface d'exposition.

5.2.8 Le rapport d'essai doit indiquer si un thermomètre à étalon ou panneau noir et si un thermomètre à étalon ou panneau blanc a été utilisé.

NOTE Selon la conception spécifique du dispositif fourni par différents fabricants, des températures différentes peuvent être indiquées par un seul type de thermomètre à étalon ou panneau noir.

5.2.9 Si la température de l'air à l'intérieur de l'enceinte d'exposition est mesurée, l'élément de détection thermique doit être protégé de la source de rayonnement et de la vaporisation d'eau. La température de l'air dans l'enceinte mesurée dans cette position peut être différente de celle relevée près de la surface des éprouvettes exposées. Les fabricants des dispositifs qui contrôlent la température de l'air dans l'enceinte doivent s'assurer que leur équipement est capable de maintenir cette température mesurée dans les limites de ± 3 °C de la température de consigne dans les conditions d'équilibre pour les valeurs de consigne allant jusqu'à 70 °C, et dans les limites de ± 4 °C de la température de consigne pour les valeurs de consigne supérieures à 70 °C.

5.2.10 Le capteur de température utilisé pour mesurer la température de l'air dans l'enceinte doit être étalonné au moins une fois par an, conformément aux instructions fournies par le fabricant de ce capteur.

5.3 Humidité et mouillage

5.3.1 La présence d'humidité sur la face exposée de l'éprouvette, notamment pendant de longues périodes humides et en cas d'alternance cyclique entre des périodes sèches et humides, peut avoir une incidence considérable sur les essais accélérés d'exposition en laboratoire. Tout dispositif, fonctionnant conformément à l'une des parties de la présente Norme internationale, qui tente de simuler les effets de l'humidité doit pouvoir garantir une humidité aux éprouvettes en utilisant une ou plusieurs des méthodes suivantes:

- a) humidification de l'air dans l'enceinte;
- b) formation d'une condensation;
- c) vaporisation d'eau;
- d) immersion.

5.3.2 Pureté de l'eau

5.3.2.1 Pour les instruments à arc au xénon et à arc au carbone, la pureté de l'eau utilisée pour la vaporisation des éprouvettes est très importante. Sans un traitement approprié pour éliminer les cations, les anions, les matières organiques et en particulier la silice, des traces ou autres taches, inexistantes avec des expositions extérieures, se développent sur les éprouvettes exposées. Sauf spécification contraire, l'eau utilisée pour la vaporisation des éprouvettes doit contenir au maximum 1 µg/g de matières solides et 0,2 µg/g de silice. La distillation ou une combinaison de déionisation et d'osmose inverse peut effectivement produire de l'eau de la pureté désirée. Si l'eau utilisée pour la vaporisation des éprouvettes contient plus de 1 µg/g de matières solides, les niveaux de solides et de silice doivent être consignés dans le rapport d'essai. Le recyclage de l'eau utilisée pour la vaporisation des éprouvettes n'est pas recommandé et ne doit pas être entrepris, à moins que l'eau recyclée ne satisfasse aux exigences de pureté mentionnées ci-dessus.

5.3.2.2 La pureté de l'eau utilisée pour la vaporisation dans les instruments utilisant des lampes fluorescentes UV n'est pas aussi critique que pour les instruments à arc au xénon et à arc au carbone. Par conséquent, l'eau de vaporisation des panneaux d'essai doit être purifiée de manière à présenter une teneur en matières solides dissoutes inférieure à 2,0 µg/g et une teneur en silice en suspension < 0,5 µg/g.

5.3.3 S'il s'avère que les éprouvettes présentent des dépôts ou des taches après l'exposition, la pureté de l'eau doit être contrôlée afin de déterminer si elle satisfait aux exigences de pureté spécifiées

en 5.3.2. Dans certains cas, les éprouvettes exposées peuvent être contaminées par des dépôts de bactéries qui peuvent se développer dans l'eau purifiée utilisée pour la vaporisation des éprouvettes. Lorsqu'une contamination bactérienne est détectée, l'ensemble du système utilisé pour la vaporisation des éprouvettes doit être nettoyé avec une solution chlorée telle que l'hypochlorite de sodium et correctement rincé avant de nouvelles expositions.

5.3.4 Bien qu'elle ne soit pas toujours en corrélation avec la teneur en silice, il est recommandé de contrôler en continu la conductivité de l'eau utilisée pour la vaporisation des éprouvettes et d'interrompre les expositions dès que la conductivité dépasse 5 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

5.3.5 Tous les composants de la vaporisation des éprouvettes doivent être fabriqués en acier inoxydable ou en tout autre matériau ne contaminant pas l'eau et avec des matériaux pouvant absorber les rayonnements UV ou former des dépôts peu réalistes sur les éprouvettes.

5.3.6 Si un contrôle d'humidité est requis, les capteurs utilisés pour mesurer l'humidité doivent être placés dans le flux d'air de l'enceinte et protégés du rayonnement direct et de la vaporisation d'eau. Une fois l'humidité contrôlée, l'humidité relative mesurée doit être maintenue à $\pm 10\%$ de sa valeur de consigne.

Si un contrôle d'humidité est requis, les capteurs d'humidité doivent être étalonnés au moins annuellement, conformément aux instructions fournies par le fabricant du dispositif.

5.3.7 Tout dispositif qui introduit des périodes de mouillage des éprouvettes exposées par une méthode quelconque doit disposer d'un système pour programmer les périodes avec ou sans mouillage.

5.4 Autres exigences relatives aux dispositifs d'exposition

5.4.1 Bien que différentes conceptions de dispositif d'exposition soient utilisées dans la pratique, chaque dispositif doit satisfaire aux exigences suivantes:

5.4.1.1 Tout dispositif destiné à simuler les effets des cycles de clarté et d'obscurité doit disposer d'un contrôleur électronique ou d'un dispositif mécanique afin de programmer les périodes avec ou sans rayonnement.

5.4.1.2 Les fabricants doivent s'assurer que les dispositifs qui génèrent des périodes au cours desquelles les conditions d'exposition sont différentes, disposent d'un système de chronométrage de chaque période. La durée de chaque période d'exposition doit être contrôlée à $\pm 10\%$ de la plus courte période utilisée. Il est souhaitable d'utiliser des chronomètres aussi précis et offrant une répétabilité aussi élevée que possible. Un système peut facultativement être également prévu pour enregistrer la durée de chaque période d'essai.

5.4.2 Pour satisfaire aux exigences des modes opératoires particuliers, le dispositif peut offrir un moyen d'enregistrer les paramètres opérationnels suivants:

- a) tension de la ligne;
- b) puissance de la lampe;
- c) intensité du courant de la lampe;
- d) irradiance spectrale (ou irradiance spectrale intégrée) avec bande passante utilisée et exposition énergétique.

6 Éprouvettes d'essai

6.1 Nature, forme et préparation

6.1.1 Les méthodes utilisées pour la préparation des éprouvettes peuvent avoir un impact significatif sur leur durabilité apparente. Par conséquent, la méthode utilisée pour la préparation des éprouvettes doit être convenue entre les parties intéressées. Il convient qu'elle soit, de préférence, en étroite liaison avec la méthode normalement utilisée pour le traitement des matériaux dans les applications typiques. Une description complète de la méthode utilisée pour la préparation des éprouvettes doit être incluse dans le rapport d'essai.

6.1.2 Les dimensions des éprouvettes sont normalement celles spécifiées dans la méthode d'essai appropriée à la propriété ou aux propriétés à mesurer après exposition. Lorsque le comportement d'un type spécifique de produit doit être déterminé, il convient que le produit lui-même soit exposé chaque fois que possible.

6.1.3 Lorsque le matériau soumis à l'essai est un polymère extrudé ou moulé sous forme de granules, particules, pastilles ou autre forme brute, les éprouvettes à exposer doivent être prélevées sur une feuille produite selon la méthode appropriée. Les formes et dimensions exactes des éprouvettes seront déterminées par le mode opératoire spécifique utilisé pour le mesurage de la propriété concernée. Les modes utilisés pour l'usinage ou le prélèvement d'éprouvettes individuelles sur une feuille ou tout autre élément plus grand peuvent affecter les résultats du mesurage des propriétés et, par conséquent, la durabilité apparente des éprouvettes. Les modes opératoires décrits dans l'ISO 293, l'ISO 294-1, l'ISO 294-2, l'ISO 294-3, l'ISO 295 et l'ISO 3167 ont été jugés satisfaisants pour la préparation des éprouvettes.

6.1.4 Dans certains cas, il peut être nécessaire de prélever les éprouvettes individuelles utilisées pour le mesurage des propriétés sur une éprouvette plus grande qui a été exposée. Par exemple, les matériaux qui se délaminent au niveau des bords peuvent être exposés sous forme de feuilles plus grandes desquelles les éprouvettes individuelles ont été prélevées après exposition. Les effets de tout prélèvement ou usinage sur les propriétés des éprouvettes individuelles sont habituellement bien plus importants lorsque les éprouvettes sont prélevées sur une grande éprouvette après exposition. Cette remarque est particulièrement vraie pour les matériaux qui se fragilisent lorsqu'ils sont exposés. Les modes opératoires décrits dans l'ISO 2818 doivent être suivis pour la préparation des éprouvettes par usinage. Les éprouvettes individuelles utilisées pour le mesurage des propriétés doivent être prélevées sur des éprouvettes plus grandes qui ont été exposées uniquement si ce mode de préparation est spécifiquement requis.

Lorsque les éprouvettes sont prélevées sur une feuille ou tout autre élément plus grand ayant été exposé, il convient de les prélever de préférence dans une zone située à au moins 20 mm du support maintenant le matériau ou des bords des éprouvettes ayant été exposées. Dans tous les cas, la face exposée doit rester intacte au cours de la préparation des éprouvettes.

6.1.5 Pour comparer les matériaux lors d'un essai d'exposition, des éprouvettes de mêmes dimensions et présentant une même surface exposée doivent être utilisées.

6.1.6 Les éprouvettes d'essai et de contrôle doivent être étiquetées en utilisant des marquages qui resteront lisibles au cours de l'exposition et qui n'affecteront pas le mesurage des propriétés désirées.

NOTE Des lignes directrices sur ce sujet sont données dans la Référence [11].

Tout contact direct avec les surfaces exposées des éprouvettes ou des composants optiques du dispositif doit être évité car ce contact est susceptible de transférer des huiles qui pourraient agir comme des absorbeurs d'UV ou contenir des contaminants affectant la dégradation.

6.2 Nombre d'éprouvettes

6.2.1 Le nombre d'éprouvettes pour chaque ensemble de conditions d'essai ou chaque période d'exposition doit être celui spécifié dans la méthode d'essai appropriée à la (ou aux) propriété(s) à mesurer après l'exposition.

Pour la détermination des propriétés mécaniques, il est recommandé que le nombre d'éprouvettes exposées soit le double de celui qui est exigé par la Norme internationale appropriée (étant donné l'important écart-type constaté lors de la mesure des propriétés mécaniques des plastiques «vieillis»).

6.2.2 Lorsque la méthode d'essai utilisée pour le mesurage des propriétés ne spécifie pas le nombre d'éprouvettes à exposer, il est recommandé de préparer un minimum de trois répliques de chaque matériau pour chaque phase d'exposition.

6.2.3 Lorsque des essais destructifs sont réalisés pour déterminer les propriétés mesurées, le nombre total d'éprouvettes requis est déterminé par le nombre de périodes d'exposition utilisées et par le fait que les éprouvettes non exposées sont soumises à l'essai simultanément, comme des éprouvettes exposées.

6.2.4 Il convient de préférence d'inclure des matériaux de contrôle de durabilité connue dans chaque essai d'exposition. Il est recommandé d'utiliser des matériaux de contrôle connus pour avoir une durabilité relativement faible et correcte. Avant de procéder aux comparaisons entre laboratoires, il est nécessaire que toutes les parties intéressées conviennent des matériaux de contrôle à utiliser. Il convient que le nombre d'éprouvettes du matériau de contrôle soit, de préférence, identique à celui utilisé pour les matériaux d'essai.

6.3 Stockage et conditionnement

6.3.1 Sauf spécification contraire du contrat ou de la norme pertinente sur les matériaux, les éprouvettes d'essai prélevées ou usinées à partir d'éprouvettes plus grandes doivent être conditionnées conformément à l'ISO 291. Dans certains cas, il peut s'avérer nécessaire de préconditionner les feuilles avant le prélèvement ou l'usinage afin de faciliter la préparation des éprouvettes.

6.3.2 Lors de la réalisation d'essais pour caractériser les propriétés mécaniques des matériaux exposés, les éprouvettes doivent être correctement conditionnées avant d'effectuer tous les mesurages de propriétés. Si elles conviennent, les conditions décrites dans l'ISO 291 doivent être utilisées. Les propriétés de certains plastiques sont très sensibles au taux d'humidité et la durée de conditionnement peut être plus longue que celle spécifiée dans l'ISO 291, notamment lorsque les éprouvettes ont été exposées dans des conditions climatiques extrêmes.

6.3.3 Les éprouvettes doivent être stockées à l'abri de la lumière dans des conditions normales de laboratoire, de préférence dans l'une des atmosphères normalisées spécifiées dans l'ISO 291.

6.3.4 Certains matériaux changent de couleur lors du stockage à l'abri de la lumière, notamment après l'exposition. Il est essentiel que le mesurage des couleurs ou la comparaison visuelle soit effectué dès que possible après exposition, une fois que la surface exposée est sèche.

NOTE Dans certains cas, une évaluation supplémentaire du changement de couleur après une période de conditionnement (24 h, par exemple) s'avèrera très utile pour déterminer si la couleur est stable après retrait des éprouvettes de l'enceinte d'exposition.

7 Conditions d'essai et mode opératoire

7.1 Valeurs de consigne pour les conditions d'exposition

Les conditions et modes opératoires de l'essai de vieillissement accéléré artificiel ou d'irradiation accélérée artificielle dépendent de la méthode particulière choisie. Se reporter directement à la partie appropriée de l'ISO 4892 (ISO 4892-2, ISO 4892-3 ou ISO 4892-4) ou à toute autre norme pertinente. Pour chaque essai d'exposition, des valeurs de consigne spécifiques sont utilisées pour les paramètres importants tels que l'irradiance, la température et l'humidité. En général, ces paramètres sont mesurés et contrôlés à un seul emplacement à l'intérieur de l'enceinte d'essai qui est connu en tant que point de contrôle. Le [Tableau 3](#) dresse la liste des écarts maximaux admissibles par rapport à la valeur de consigne lorsque le dispositif d'exposition fonctionne dans les conditions d'équilibre.

Tableau 3 — Écart maximal admissible par rapport aux valeurs de consigne des conditions d'exposition

Paramètre de consigne	Écart maximal admissible du mesurage par rapport à la valeur de consigne à l'équilibre
Irradiance mesurée à une seule longueur d'onde	$\pm 0,02 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{nm})$
Irradiance mesurée sur une bande passante large (300 à 400 nm, par exemple)	$\pm 5 \text{ W}/\text{m}^2$
Irradiance mesurée sur une bande passante étendue (300 à 800 nm, par exemple)	$\pm 75 \text{ W}/\text{m}^2$
Température du thermomètre à étalon noir	$\pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ pour les valeurs de consigne jusqu'à $70 \text{ }^\circ\text{C}$ $\pm 4 \text{ }^\circ\text{C}$ pour les valeurs de consigne supérieures à $70 \text{ }^\circ\text{C}$
Température du thermomètre à panneau noir	$\pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ pour les valeurs de consigne jusqu'à $70 \text{ }^\circ\text{C}$ $\pm 4 \text{ }^\circ\text{C}$ pour les valeurs de consigne supérieures à $70 \text{ }^\circ\text{C}$
Température de l'air de l'enceinte (si contrôlée)	$\pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ pour les valeurs de consigne jusqu'à $70 \text{ }^\circ\text{C}$ $\pm 4 \text{ }^\circ\text{C}$ pour les valeurs de consigne supérieures à $70 \text{ }^\circ\text{C}$
Humidité relative (si contrôlée)	$\pm 10 \%$
NOTE La définition des bandes passantes est donnée dans l'ISO 9370.	

NOTE Un mesurage en un seul point n'implique pas que les conditions restent identiques dans toute l'enceinte d'exposition. Il n'implique pas non plus que deux essais réalisés dans des dispositifs d'exposition similaires produiront les mêmes résultats. Les dispositifs d'exposition qui contrôlent la température au moyen d'un thermomètre à étalon noir ou à panneau noir ne donneront pas les mêmes résultats que ceux qui contrôlent la température de l'air.

7.2 Mesurages de propriétés sur les éprouvettes

7.2.1 Les modes opératoires décrits dans l'ISO 4582 doivent être suivis afin de mesurer les propriétés des éprouvettes avant et après leur exposition, et d'exprimer le changement des propriétés après l'exposition. Se référer à la Norme internationale appropriée aux modes opératoires spécifiques à suivre pour le mesurage des propriétés des éprouvettes.

7.2.2 Lorsque des essais non destructifs sont réalisés pour mesurer les propriétés des matériaux soumis à l'essai, les propriétés des éprouvettes doivent être mesurées avant le début de l'exposition. La même propriété est alors mesurée après chaque période d'exposition. Le mesurage des propriétés doit être effectué avec le plus grand soin après chaque période d'exposition dans la même position sur l'éprouvette.

NOTE Pour surveiller la réponse de l'instrument utilisé pour mesurer la propriété désirée, il est possible de mesurer une éprouvette de référence ou d'étalonnage à chaque utilisation de l'instrument d'essai.

7.2.3 Lorsque des essais destructifs sont réalisés pour mesurer les propriétés des matériaux soumis à l'essai, des jeux séparés d'éprouvettes seront nécessaires pour chaque période d'exposition. La propriété est mesurée pour chaque jeu d'éprouvettes exposées. Il est recommandé de comparer la valeur de la propriété après l'exposition, à la propriété mesurée sur un jeu d'éprouvettes constituées du même matériau qui est mesuré en même temps que les éprouvettes exposées. La valeur de la propriété après l'exposition peut également être comparée à la propriété mesurée avant le début de l'exposition.

8 Périodes d'exposition et évaluation des résultats d'essai

8.1 Généralités

La répétabilité et la reproductibilité des résultats obtenus avec des expositions réalisées selon l'une des parties de la présente Norme internationale varieront en fonction des matériaux soumis à l'essai, de la propriété mesurée des matériaux, ainsi que des conditions d'essai et des cycles spécifiques utilisés.

NOTE Dans les études interlaboratoires^[12] menées par le sous-comité ASTM G3.03, les valeurs de brillance à 60° de répliques en ruban de PVC exposées dans différents laboratoires utilisant des dispositifs d'essai et des cycles d'exposition identiques ont révélé une variabilité significative. La variabilité indiquée dans ces études interlaboratoires réduit l'utilisation de «spécifications absolues» telles que la nécessité d'un niveau de propriété spécifique après une période d'exposition spécifique.

8.2 Utilisation de matériaux de contrôle

8.2.1 Dans la majorité des cas, une évaluation périodique des éprouvettes d'essai et de contrôle est nécessaire pour évaluer la direction du changement de propriété en fonction de l'exposition. Le temps ou l'exposition énergétique nécessaire pour produire un changement défini dans une propriété de matériau peut être utilisé pour évaluer ou classer la durabilité des matériaux. Cette méthode est préférée à l'évaluation des matériaux après un temps ou une exposition énergétique arbitraire.

8.2.2 L'exposition pendant une durée arbitraire ou l'exposition énergétique peut être utilisée pour les besoins d'un essai spécifique sous réserve d'accord de toutes les parties concernées ou si la conformité à une spécification l'impose. Deux critères sont critiques lors de la sélection du temps ou de l'exposition énergétique utilisée:

- a) lorsque des matériaux de contrôle de performance minimale acceptable sont utilisés, l'analyse statistique des résultats après l'exposition doit montrer que le matériau d'essai offre une performance égale ou supérieure au matériau de contrôle;
- b) un changement substantiel dans la propriété concernée doit être produit dans le matériau évalué le moins stable.

NOTE Un temps d'exposition qui produit un changement significatif dans un type de matériau ne peut pas être supposé applicable à d'autres matériaux.

8.2.3 Utiliser une analyse statistique appropriée pour comparer les résultats obtenus avec les matériaux d'essai et de contrôle. Les matériaux d'essai et de contrôle peuvent être considérés comme différents lorsque les résultats de l'analyse statistique sont significatifs avec un niveau de confiance d'au moins 90 %.

NOTE La Référence [13] fournit des informations sur l'utilisation de méthodes statistiques pour analyser les résultats d'essais de vieillissement accéléré artificiel ou d'irradiation accélérée artificielle.

8.3 Utilisation des résultats dans les spécifications

8.3.1 Lorsqu'une Norme internationale ou une spécification d'utilisation générale nécessite un niveau de propriété défini après une période ou une exposition énergétique spécifique avec un essai d'exposition effectué conformément à l'une des parties de la présente Norme internationale, le niveau de propriété

spécifié doit être fondé sur les résultats obtenus dans un essai interlaboratoires tenant compte de la variabilité due à l'exposition, ainsi que de la méthode d'essai utilisée pour mesurer la propriété concernée. L'essai interlaboratoires doit être conduit conformément à la Norme internationale appropriée à la réalisation d'essai interlaboratoires et doit comporter un échantillon statistique représentatif de tous les laboratoires ou organismes qui effectuent normalement le mesurage de l'exposition et de la propriété.

8.3.2 Lorsqu'une norme ou une spécification destinée à être utilisée par deux ou trois parties nécessite un niveau de propriété défini après une période ou une exposition énergétique spécifique dans un essai d'exposition effectué selon l'une des parties de la présente Norme internationale, le niveau de propriété spécifié doit être fondé sur l'analyse statistique des résultats d'au moins deux expositions indépendantes, séparées, réalisées dans chaque laboratoire. La conception de l'expérience utilisée pour déterminer la spécification doit prendre en considération la variabilité due à l'exposition et la méthode d'essai utilisée pour mesurer la propriété concernée.

8.3.3 Les essais interlaboratoires mentionnés en 8.1.1 ont démontré que les valeurs de brillance d'une série de matériaux peuvent être classées avec un niveau élevé de reproductibilité entre les laboratoires. Lorsque la reproductibilité des résultats d'un essai d'exposition effectué conformément à l'une des parties de la présente Norme internationale n'a pas été établie par un essai interlaboratoires, les exigences de performance des matériaux doivent être spécifiées en termes de comparaison (classement) avec un matériau de contrôle. Les éprouvettes du matériau de contrôle doivent être exposées parallèlement à (aux) l'éprouvette(s) d'essai avec le même dispositif. Le matériau de contrôle spécifique utilisé doit être convenu entre les parties concernées.

9 Rapport d'essai

Le rapport d'essai doit contenir les informations suivantes:

9.1 Description des éprouvettes.

- a) Description complète des éprouvettes et de leur origine.
- b) Détails relatifs à la composition, au temps et à la température de cuisson, le cas échéant.
- c) Description complète de la méthode utilisée pour la préparation des éprouvettes.

NOTE Si les essais d'exposition sont effectués par un organisme contractant, les éprouvettes sont habituellement identifiées par un numéro de code. Dans ce cas, le laboratoire d'origine est tenu de décrire entièrement les éprouvettes lors de l'enregistrement des résultats de l'essai d'exposition dans le rapport.

9.2 Description de l'essai d'exposition effectué conformément à l'ISO 4892-2, l'ISO 4892-3 ou l'ISO 4892-4 comprenant:

- a) Description du dispositif d'exposition et de la source de rayonnement (lumineux), comprenant:
 - 1) le type de dispositif et de source de rayonnement (lumineux);
 - 2) une description des filtres utilisés;
 - 3) le cas échéant, l'irradiance à la surface des éprouvettes (y compris la bande passante dans laquelle le rayonnement a été mesuré);
 - 4) le nombre d'heures pendant lequel les filtres et la source de rayonnement (lumineux) ont été utilisés avant le début de l'exposition.
- b) Type de capteur thermique noir et/ou blanc utilisé et position exacte du capteur s'il n'a pas été placé dans la surface d'exposition de l'éprouvette.
- c) Le cas échéant, type d'instrument utilisé pour mesurer l'humidité.

- d) Description complète du cycle d'exposition utilisé, y compris les informations suivantes pour chaque période de clarté et d'obscurité:
- 1) la valeur de consigne pour le capteur thermique à panneau noir et/ou blanc utilisé et l'écart maximal admissible par rapport à cette valeur de consigne si elle diffère de celle du [Tableau 1](#);
 - 2) la valeur de consigne pour l'humidité relative et l'écart maximal admissible par rapport à cette valeur de consigne si elle diffère de celle du [Tableau 1](#);
 - 3) pour les essais qui comprennent une période de vaporisation d'eau, noter la durée de la vaporisation et si l'eau a été vaporisée sur la face exposée, la face arrière ou les deux faces de l'éprouvette (si la teneur en matières solides totales de l'eau utilisée pour la vaporisation dépasse 1 µg/g, cette teneur ainsi que la teneur en silice);
 - 4) pour les essais où l'eau est condensée sur les éprouvettes, indiquer la valeur de consigne pour la durée de la période de condensation;
 - 5) durée de chaque période de clarté et d'obscurité.
- e) Description de la méthode utilisée pour monter les éprouvettes sur le cadre d'exposition, y compris une description de tout matériau utilisé comme support des éprouvettes.
- f) Mode opératoire de repositionnement des éprouvettes, le cas échéant.
- g) Description du radiomètre utilisé pour le mesurage de l'exposition énergétique, le cas échéant.

9.3 Résultats d'essai.

- a) Description complète du mode opératoire utilisé pour le mesurage des propriétés indiquées dans le rapport.
- b) Présentation des résultats conformément à l'ISO 4582, y compris:
- 1) résultats du mesurage des propriétés des éprouvettes;
 - 2) résultats du mesurage des propriétés des éprouvettes de contrôle;
 - 3) résultats du mesurage des propriétés des éprouvettes non exposées, si elles ont été déterminées;
 - 4) période d'exposition (temps en heures ou exposition énergétique en J·m⁻², ainsi que la bande passante dans laquelle elle a été mesurée).

9.4 Date(s) de l'essai d'exposition.

Annexe A (normative)

Modes opératoires pour mesurer l'uniformité de l'irradiance sur la surface d'exposition de l'éprouvette

A.1 La présente annexe normative est destinée aux fabricants de dispositifs qui exposent des matériaux à des sources lumineuses de laboratoire.

A.2 Pour les dispositifs qui utilisent un porte-échantillon pour maintenir les échantillons et les faire tourner autour d'une source de rayonnement [représentée au centre des [Figures A.1 a\)](#) et [b\)](#)], mesurer l'irradiance à l'emplacement du porte-échantillon le plus proche de la source de rayonnement (position A de la [Figure A.1](#)) et à deux emplacements dans le porte-échantillon les plus éloignés de la source de rayonnement (position B de la [Figure A.1](#)). Les mesurages effectués avec un radiomètre placé sur le porte-échantillon lors de sa rotation autour de la source de rayonnement donneront l'indication d'irradiance la plus réaliste. La relation entre l'irradiance en position B et l'irradiance en position A doit être:

$$E_B \geq 0,7E_A \quad (\text{A.1})$$

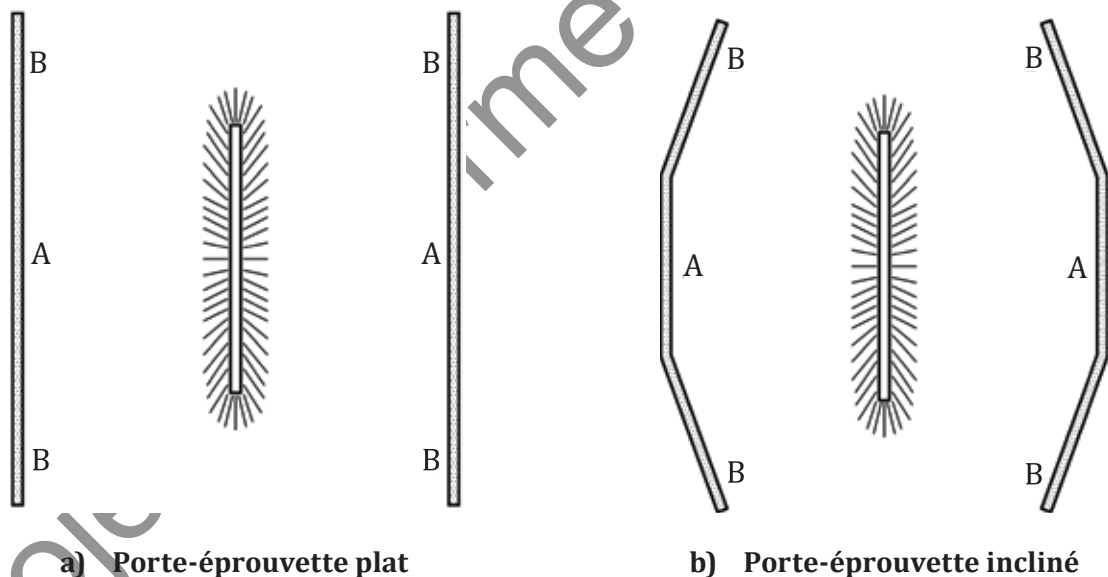
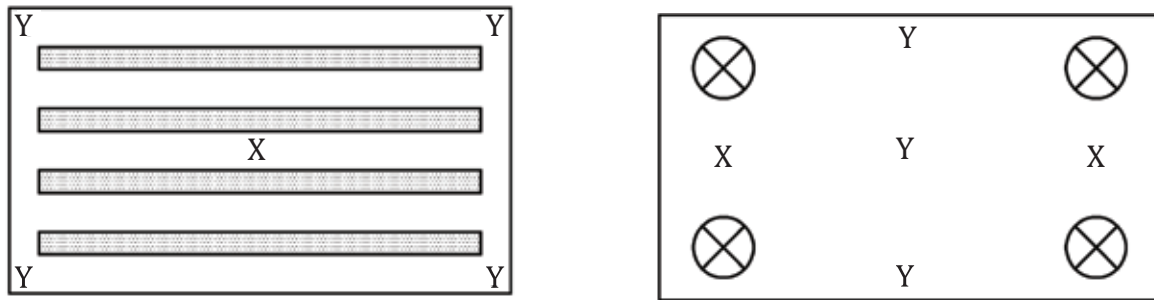


Figure A.1 — Détermination de l'uniformité de l'irradiance dans les dispositifs utilisant un porte-échantillon rotatif

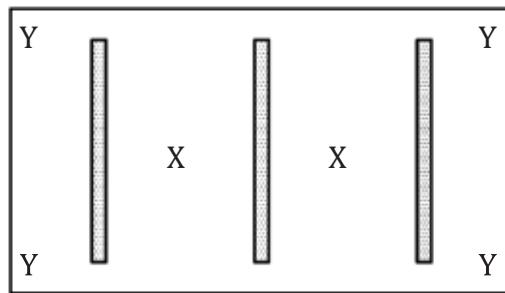
A.3 Pour les dispositifs où les échantillons sont positionnés dans un plan plat devant une source de rayonnement, mesurer l'irradiance à l'emplacement du plan de l'échantillon le plus proche de la source de rayonnement (position X de la [Figure A.2](#)) et à deux angles opposés au plan où se trouvent les échantillons (position Y de la [Figure A.2](#)). La relation entre l'irradiance à la position Y et l'irradiance à la position X doit être:

$$E_Y \geq 0,7E_X \quad (\text{A.2})$$



a) Plan d'éprouvette plat avec des lampes fluorescentes

b) Plan d'éprouvette plat avec plusieurs sources ponctuelles



c) Plan d'éprouvette plat avec plusieurs sources linéaires

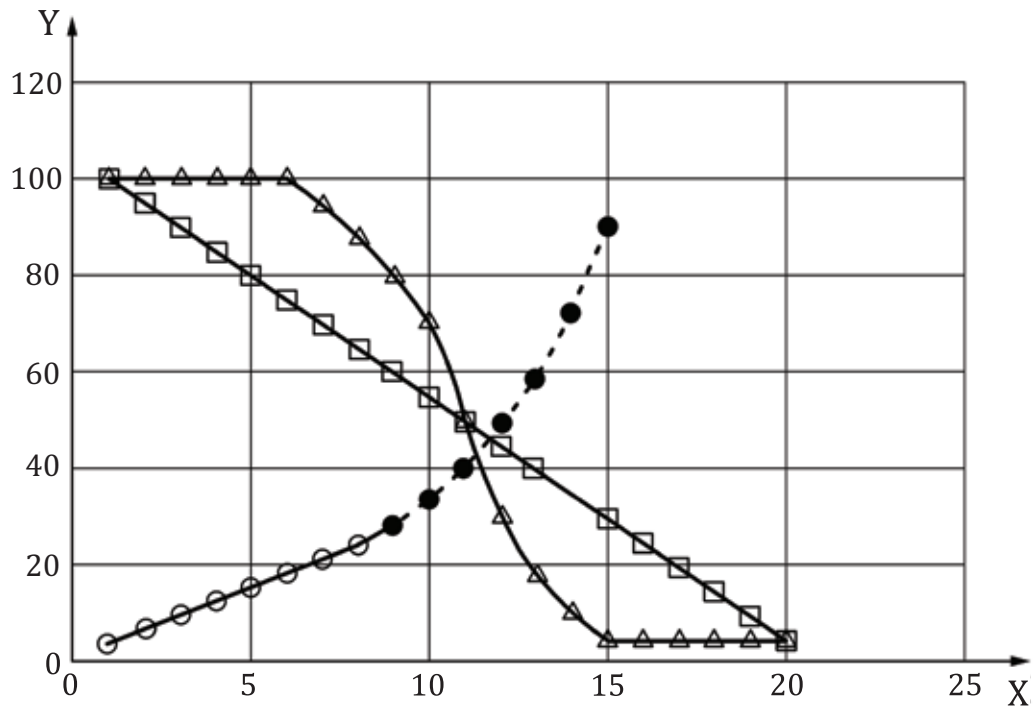
Figure A.2 — Détermination de l'uniformité de l'irradiance dans les dispositifs utilisant un plan d'éprouvette plat

A.4 Si la conception du dispositif est telle que l'irradiance maximale peut ne pas être au centre de la surface d'exposition ou que l'irradiance minimale peut ne pas être à l'emplacement le plus éloigné du centre, l'irradiance maximale réelle doit être utilisée pour E_A ou E_X et l'irradiance minimale réelle doit être utilisée pour E_B ou E_Y dans les [Formules \(A.1\)](#) et [\(A.2\)](#). D'autres mesurages de l'irradiance à d'autres emplacements situés dans la zone d'exposition peuvent également être effectués. Dans tous les cas, l'irradiance mesurée à ces emplacements doit toutefois être au moins égale à 70 % de l'irradiance maximale. Sauf spécification contraire, au moins quatre mesurages doivent être effectués à la périphérie de la surface d'exposition proposée (par exemple près des coins des plans d'éprouvette plats lorsque des lampes fluorescentes ou des sources linéaires font office de sources de rayonnement). Pour une définition plus précise de la surface d'exposition admise où $E_X \geq E_Y$ ou $E_B \geq E_A$, bien plus que quatre mesurages effectués près de la périphérie de la surface d'exposition seront nécessaires.

A.5 En tant qu'alternative aux mesurages d'irradiance, l'uniformité de l'irradiance peut être déterminée en utilisant des matériaux de référence, à condition que le vieillissement de ces matériaux soit indépendant des effets de la chaleur ou de l'humidité, ou que les effets de la chaleur et de l'humidité soient connus. Le changement de la propriété caractéristique du matériau de référence doit être une fonction connue de l'exposition énergétique (de préférence linéaire) et il convient qu'il ne présente pas, de préférence, une période d'induction caractérisée par un changement mineur de la propriété en fonction de l'exposition énergétique. La [Figure A.3](#) est un tracé type de la propriété caractéristique des matériaux de référence en fonction de l'exposition énergétique ou du temps d'exposition. Le matériau de référence préféré est celui qui présente une réponse entièrement linéaire sur toute la période d'exposition. Il n'est pas recommandé d'utiliser comme matériaux de référence, les matériaux qui présentent une période d'induction suivie d'une période de changement rapide. Les matériaux qui présentent une réponse linéaire suivie d'une période où la réponse n'est pas linéaire ne doivent être utilisés que pour les périodes d'exposition pendant lesquelles ils présentent une réponse linéaire. Les éprouvettes de matériau de référence doivent être exposées au centre de la surface d'exposition et aux emplacements les plus éloignés du centre. Toutes les éprouvettes doivent être exposées en même temps.

Les éprouvettes de référence doivent être exposées jusqu'à ce qu'un changement significatif se produise dans la propriété de la caractéristique surveillée. Le changement de la propriété mesurée du matériau de référence aux emplacements les plus éloignés du centre doit être au moins égal à 70 % du changement mesuré sur l'éprouvette exposée au centre.

NOTE Les mesurages réels de l'irradiance ont la priorité sur l'utilisation des matériaux de référence car des différences dans le changement de propriété entre les éprouvettes de matériau de référence exposées aux extrêmes de la surface d'exposition et celles au centre peuvent être affectées de façon significative par les différences de température et/ou les conditions d'humidité ainsi que par les différences d'irradiance.



Légende

X exposition énergétique ou temps d'exposition (unités arbitraires)

Y propriété caractéristique (unités arbitraires)

Figure A.3 — Comportement type de la propriété caractéristique en fonction de l'exposition pour un matériau de référence présentant un changement linéaire (symboles carrés), pour un matériau de référence présentant un temps d'induction avant le début du changement de propriété (symboles triangulaires) et pour un matériau de référence présentant une période de changement linéaire (cercles vides) suivie d'une région de changement non linéaire (cercles remplis en noir)

Annexe B (informative)

Facteurs diminuant le degré de corrélation entre les essais de vieillissement accéléré artificiel ou d'irradiation artificielle et les expositions en conditions d'utilisation réelles

B.1 Différences de répartition spectrale entre la source lumineuse de laboratoire et le rayonnement solaire

Des longueurs d'onde plus courtes que la normale sont parfois utilisées pour obtenir des taux de défaillance plus rapides lors d'essais de vieillissement accéléré artificiel ou d'irradiation accélérée artificielle. Pour les expositions en extérieur, on considère généralement que la limite basse pour le rayonnement UV de courte longueur d'onde est d'environ 300 nm. Les expositions au rayonnement UV de longueur d'onde inférieure à 300 nm peuvent entraîner une dégradation qui ne se produit pas si le matériau est utilisé à l'extérieur. Si une source lumineuse de laboratoire utilisée dans un essai de vieillissement accéléré artificiel ou d'irradiation produit un rayonnement UV de longueur d'onde plus courte que celui constaté dans les conditions d'utilisation réelles, le mécanisme de dégradation et le degré de stabilité des matériaux soumis à essai peuvent être très différents lors de l'essai accéléré.

Si l'on sait que le rayonnement dans une région spécifique du spectre produit le type de dégradation voulu dans les matériaux soumis à essai, il peut ne pas s'avérer nécessaire de simuler le rayonnement solaire sur l'ensemble du spectre. Cependant, les sources lumineuses de laboratoire ayant une très forte émission dans une bande étroite par rapport au reste du spectre UV ou visible peuvent causer une réaction particulièrement forte par rapport à d'autres sources. Ce type de source de rayonnement peut également ne produire aucun changement d'exposition au rayonnement solaire. Les expositions aux sources de rayonnement ne produisant qu'un rayonnement UV peuvent n'entraîner aucune décoloration due au rayonnement visible. Ces expositions peuvent provoquer un jaunissement du polymère plus prononcé que celui produit par les expositions au rayonnement solaire.

B.2 Niveaux d'irradiance supérieurs à ceux constatés en conditions d'utilisation réelles

Les niveaux d'irradiance supérieurs à ceux constatés dans les conditions d'utilisation réelles sont généralement utilisés pour les expositions aux sources lumineuses de laboratoire afin d'accélérer la dégradation. Deux raisons majeures de l'utilisation d'une irradiance anormalement élevée peuvent changer le mécanisme de dégradation des matériaux par rapport aux conditions trouvées dans un environnement d'utilisation réel (les polymères présentent un large éventail de réponses à l'irradiance^[14] et ces différences peuvent altérer le degré de stabilité des matériaux lorsque les résultats d'essais accélérés artificiellement sont comparés à ceux d'expositions en service):

- a) Pour les expositions en extérieur, les polymères à l'état excité après absorption d'un photon à haute énergie se désactiveront à l'état fondamental avant d'absorber un autre photon à haute énergie. Cependant, pour les expositions aux sources lumineuses de laboratoire ayant un flux de rayonnement anormalement élevé, le niveau d'absorption de photon est si élevé que le matériau absorbera souvent un photon à haute énergie tout en étant toujours à l'état excité.^[15]
- b) Les radicaux libres sont souvent formés dans des matériaux exposés à un rayonnement UV. Les réactions conduisant à la dégradation se produisent si les radicaux libres interagissent avec le matériau. Les radicaux libres peuvent aussi être recombinaisonnés avec d'autres radicaux libres lors de réactions ne conduisant à aucune dégradation. La forte concentration de radicaux libres formés dans des conditions d'irradiance élevée entraîne un pourcentage élevé de recombinaison en raison

de l'étroite proximité des radicaux libres. Dans ce cas, la dégradation n'est pas une fonction linéaire de l'irradiance.^[16]

De plus, la diffusion de l'oxygène peut parfois limiter les processus d'oxydation des polymères où l'irradiance anormalement élevée (ou des températures d'éprouvettes anormalement élevées) est utilisée pour l'accélération des essais.^[17] Cette situation peut créer des différences dans le mécanisme des réactions de dégradation et oxyder l'ensemble à un niveau anormal, ce qui pourrait entraîner des variations de couleur non naturelle ou une modification des propriétés physiques.

B.3 Exposition continue à la lumière sans périodes d'obscurité

L'exposition continue au rayonnement de sources lumineuses de laboratoire est souvent utilisée afin d'obtenir une dégradation accélérée par rapport aux conditions d'utilisation réelles. Cependant, une exposition continue au rayonnement peut éliminer des réactions critiques à l'obscurité pouvant se produire lors d'expositions en extérieur ou en intérieur où les périodes sans rayonnement sont fréquentes.

B.4 Températures d'éprouvettes anormalement élevées par rapport aux conditions d'utilisation réelles

Des températures plus élevées que celles constatées dans les conditions d'utilisation réelles sont souvent utilisées pour obtenir une dégradation plus rapide lors des essais de vieillissement accéléré artificiel ou d'irradiation accélérée artificielle. Certains plastiques sont plus sensibles que d'autres à la dégradation due aux effets thermiques. Pour les matériaux soumis au même degré et au même type de photodégradation, des expositions à des températures anormalement élevées peuvent rendre un matériau thermosensible moins résistant. De plus, l'exposition des polymères à des températures supérieures à leur température de transition vitreuse peut considérablement altérer le mécanisme de dégradation et le degré de stabilité par rapport aux expositions effectuées à une température inférieure à la température de transition vitreuse. Il convient que la température du panneau noir lors d'un essai de vieillissement accéléré artificiel ou d'irradiation accélérée artificielle soit maintenue dans une plage raisonnable, qui ne dépasse généralement pas la température maximale observée pour la température superficielle des éprouvettes noires dans les conditions réelles d'utilisation.

B.5 Conditions d'exposition produisant des écarts de température peu réalistes entre les éprouvettes de couleurs claires et foncées

Certaines sources lumineuses de laboratoire produisent de grandes quantités de rayonnement infrarouge. Pour éviter la surchauffe des éprouvettes, le rayonnement infrarouge peut être réduit en utilisant des filtres absorbants ou réfléchissants, ou en faisant circuler d'importantes quantités d'air dans l'enceinte d'exposition afin de refroidir les éprouvettes. Si les mesures destinées à vérifier que la quantité de rayonnement infrarouge reçue par les éprouvettes exposées ne sont pas suffisantes, les différences de température entre les éprouvettes de couleurs claires et foncées constituées du même matériau peuvent être nettement plus marquées que celle constatées lors d'expositions naturelles.

Certaines sources lumineuses de laboratoire produisent un rayonnement infrarouge et très faiblement visible. Si ces types de sources lumineuses de laboratoire sont utilisés, la différence de température entre les éprouvettes claires et foncées peut être nettement moins importante que celle constatée lors d'exposition en extérieur.

B.6 Conditions de cyclage de température différentes de celles constatées en conditions d'utilisation réelles

Des fréquences de cyclage de températures anormalement élevées peuvent provoquer des fissures mécaniques ou d'autres dégradations non constatées lors d'expositions dans les conditions d'utilisation réelles. Les dispositifs d'exposition vaporisant de l'eau sur les éprouvettes lorsque la source de

rayonnement est active peuvent provoquer des changements anormalement rapides de température qui peuvent aussi entraîner des fissures non constatées dans l'environnement d'utilisation réel.

B.7 Niveaux d'humidité peu réalistes pendant l'essai accéléré par rapport aux conditions d'utilisation réelles

L'humidité est en grande partie responsable de la dégradation de nombreux polymères. Si la quantité d'humidité ou si la façon dont les éprouvettes sont exposées aux effets de l'humidité dans un essai de vieillissement accéléré artificiel ou d'irradiation accélérée artificielle diffèrent de l'environnement d'utilisation réel, le mécanisme et le rythme de la dégradation peuvent être très différents. Ce comportement peut avoir un effet significatif sur le degré de stabilité des matériaux.

B.8 Absence d'agents biologiques ou de polluants

Les matières plastiques exposées dans des emplacements chauds et humides sont souvent sujettes à une augmentation significative du nombre d'agents polluants tels que les champignons, les bactéries et les algues. Les polluants et les précipitations acides présents dans certains environnements extérieurs peuvent avoir une influence significative sur le mécanisme et le rythme de dégradation de certains plastiques. Si ces effets ne sont pas compris dans l'essai de vieillissement artificiel accéléré ou d'irradiation accélérée artificielle, le mécanisme et le degré de stabilité des matériaux peuvent différer de façon significative de ceux constatés lors d'expositions en extérieur.

projet de norme métraine

Annexe C (informative)

Normes d'irradiance spectrale solaire

C.1 Le spectre solaire défini dans le Tableau 4 de la Publication CIE n° 85:1989 [18] sert souvent de référence pour comparer le rayonnement solaire au rayonnement produit lors d'essais de vieillissement accéléré artificiel ou d'irradiation accélérée artificielle, et les normes ISO 4892 l'utilisent comme spectre de référence. Dans le Tableau 4 de la Publication CIE 85:1989, l'irradiance solaire globale dans la bande de 300 nm à 2 450 nm est donnée à 1 090 W/m² pour une masse d'air relative de 1, avec 1,42 cm d'eau précipitable et 0,34 cm d'ozone (mesurée à une pression de 1 atmosphère et à une température de 0 °C). Le [Tableau C.1](#) définit l'irradiance spectrale regroupée en bandes larges pour le rayonnement solaire global dans ces conditions atmosphériques, pour les régions UV, visible et infrarouge du spectre. Cette valeur représente l'irradiance solaire globale rencontrée par les matériaux exposés sur une surface horizontale au niveau de l'équateur, à midi, par beau temps lors de l'équinoxe de printemps ou d'automne.

Tableau C.1 — Irradiance spectrale globale
(résumé tiré du Tableau 4 de la Publication CIE n° 85:1989)

Longueur d'onde nm	Irradiance W·m ⁻²	Pourcentage du total 300 nm à 2 450 nm	Pourcentage du rayonne- ment UV et visible 300 nm à 800 nm
300 à 320	4,1	0,4	0,6
320 à 360	28,5	2,6	4,2
360 à 400	42,0	3,9	6,2
300 à 400	74,6	6,8	11,0
400 à 800	604,2	55,4	89,0
300 à 800	678,8	62,2	100,0
800 à 2 450	411,6	37,8	
300 à 2 450	1 090,4	100,0	

C.2 Le rayonnement direct produit par les brûleurs au xénon, les arcs au carbone à flamme nue, certaines lampes fluorescentes et d'autres sources de rayonnement utilisées pour les essais de vieillissement accéléré artificiel ou d'irradiation accélérée superficielle, telles que les lampes au mercure ou aux halogénures, contient une quantité considérable de rayonnement UV de courte longueur d'onde non présent dans le rayonnement solaire. Par une sélection appropriée des filtres pour ces sources de rayonnement, la majeure partie du rayonnement de courte longueur d'onde peut être éliminée. Cependant, certains filtres laissent passer une quantité faible, mais significative, de ce rayonnement de longueur d'onde courte (inférieure à 300 nm). Les lampes fluorescentes peuvent être choisies de manière à obtenir une sortie spectrale correspondant à une région UV donnée du rayonnement solaire. L'arc au xénon, lorsqu'il est filtré de manière appropriée, produit un rayonnement dont la répartition spectrale énergétique est une bonne simulation du rayonnement solaire moyen dans la région UV et visible.

C.3 La Publication CIE n° 85:1989 fournit des données sur l'irradiance solaire spectrale dans des conditions atmosphériques types, lesquelles données peuvent servir de base pour comparer les sources lumineuses de laboratoire avec la lumière du jour. Les données utilisées pour le rayonnement à arc au xénon filtré sont indiquées dans le Tableau 4 de la Publication CIE n° 85:1989. Toutefois, la publication CIE 85 publiée en 1989 présente plusieurs inconvénients: la distribution d'énergie spectrale solaire globale débute à 305 nm, les incréments sont plutôt approximatifs et le code de calcul n'est plus disponible. Des travaux de révision de la publication CIE 85 ont donc été entrepris depuis plusieurs années. Les spectres de référence définis dans la Publication CIE 85 (Tableau 4) peuvent également

être recalculés en utilisant le modèle SMARTS2.^[19] Ils se fondent sur des mesures plus récentes et des modèles de calcul plus performants (modèle SMARTS2^[20]).

Récemment, un autre spectre solaire normalisé basé sur les conditions atmosphériques à 2 000 m d'altitude a été développé. Ce spectre solaire est défini dans la Référence [21]. Le spectre solaire défini dans la Référence [21] est calculé en utilisant le modèle de rayonnement solaire de SMARTS2^[22]^[23] ^[24]. La Référence [25] fournit le programme et la documentation permettant de calculer l'irradiance spectrale solaire.

Le modèle spectral SMARTS peut être utilisé pour reproduire de manière fiable les tableaux de la Publication CIE 85 avec une correspondance étroite. Le [Tableau C.2](#) compare les conditions atmosphériques de base utilisées pour le spectre solaire normalisé défini dans l'ASTM G 177 et la Publication CIE 85, Tableau 4, spectre solaire.

Tableau C.2 — Comparaison des conditions atmosphériques de base utilisées pour le spectre solaire défini dans l'ASTM G 177 et la Publication CIE 85:1989, Tableau 4

Conditions atmosphériques et autres	Spectre solaire selon l'ASTM G 177	Spectre solaire de la Publication CIE 85, Tableau 4
Ozone (atm-cm)	0,30	0,34
Vapeur d'eau précipitable (cm)	0,57	1,42
Altitude (m)	2 000	0
Angle d'inclinaison	37° vers l'équateur	0° (horizontal)
Masse d'air relative	1,05	1,00
Albédo (réflexion du sol)	Dépendant de la lumière, du sol et de la longueur d'onde	Constant à 0,2
Extinction par les aérosols	Rurale selon Shettle et Fenn (dépendante de l'humidité)	Équivalente à un facteur de turbidité de Linke de 2,8 environ
Épaisseur optique des aérosols à 500 nm	0,05	0,10

C.4 Le [Tableau C.3](#) compare l'irradiance (calculée par intégration rectangulaire) pour le spectre solaire de l'ASTM G 177 et le spectre solaire du Tableau 4 de la Publication CIE 85:1989.

NOTE L'ASTM G 177 tabule le rayonnement solaire jusqu'à 400 nm. Cependant, les conditions atmosphériques, la latitude du site et d'autres conditions utilisées pour développer le spectre UV de l'ASTM G 177 ont été appliquées au modèle de rayonnement solaire de SMARTS2 afin de générer un spectre solaire complet. Ces données sur le spectre complet ont été utilisées pour établir la comparaison au-delà de 400 nm indiquée dans le [Tableau C.3](#).

Tableau C.3 — Comparaison d'irradiance pour le spectre solaire de l'ASTM G 177 et le spectre solaire du Tableau 4 de la Publication CIE 85:1989

Bande passante	Spectre solaire selon l'ASTM G 177	Spectre solaire de la Publication CIE 85, Tableau 4
Irradiance (W/m ²) dans la bande passante indiquée		
300 ≤ λ ≤ 320	3,9	4,1
320 < λ ≤ 360	26,1	28,5
360 < λ ≤ 400	35,6	42,0
300 ≤ λ ≤ 400	65,6	74,6
400 < λ ≤ 800	588,7	604,2
300 ≤ λ ≤ 800	654,3	678,8
800 < λ ≤ 2 450	446,2	411,6
300 ≤ λ ≤ 2 450	1 100,5	1 090,4

Bibliographie

- [1] ISO 877 (toutes les parties), *Plastiques — Méthodes d'exposition au rayonnement solaire*
- [2] ASTM G113, *Standard terminology relating to natural and artificial weathering tests of nonmetallic materials*
- [3] SIMMS J.A. Acceleration shift factor and its use in evaluating weathering data. *J. Coatings Technology*. 1987, **59** (748) pp. 45–53
- [4] ASTM G156, *Standard practice for selecting and characterizing weathering reference materials*
- [5] ISO/TR 19032, *Plastiques — Utilisation d'éprouvettes de référence en polyéthylène pour l'évaluation des conditions de vieillissement climatique*
- [6] ASTM G151, *Standard practice for exposing nonmetallic materials in accelerated test devices that use laboratory light sources*
- [7] ASTM G130, *Standard test method for calibration of narrow- and broad-band ultraviolet radiometers using a spectroradiometer*
- [8] CEI 60751, *Thermomètres à résistance de platine industriels et capteurs thermométriques en platine*
- [9] CEI 60584-1:1995¹⁾, *Couples thermoélectriques — Partie 1: Tables de référence*
- [10] ASTM E839, *Standard test methods for sheathed thermocouples and sheathed thermocouple cable*
- [11] ASTM G147, *Standard practice for conditioning and handling of nonmetallic materials for natural and artificial weathering tests*
- [12] FISCHER R.M. Results of round-robin studies of light- and water-exposure standard practices. In: *ASTM STP 1202, Accelerated and Outdoor Durability Testing of Organic Materials*, (KETOLA W.D., & GROSSMAN D. eds.). ASTM International, West Conshohocken, 1993
- [13] ASTM G169, *Standard guide for application of basic statistical methods to weathering tests*
- [14] FISCHER R., & KETOLA W. Error analyses and associated risk for accelerated weathering results. In: *Service Life Prediction: Challenging the Status Quo*, (MARTIN J.W., RYNTZ R.A., DICKIE R.A. eds.). Federation of Societies for Coatings Technology, 2005
- [15] SCHNABEL W. *Polymer Degradation: Principles and Practical Applications*. Macmillan Publishing Co., Inc, New York, 1981, pp. 95–100
- [16] GRASSIE N., & SCOTT G. *Polymer Degradation and Stabilization*. Cambridge University Press, New York, 1985, pp. 75–76
- [17] CLOUGH R.I., & GILLEN K.T. Physical techniques for profiling heterogeneous polymer degradation. In: *ACS Symposium Series 280, Polymer Stabilization and Degradation*, (KLEMCHUK P., ed.), American Chemical Society, Washington, D.C., 1985
- [18] CIE Publication No. 85:1989, *Éclairage énergétique spectral solaire*
- [19] GUEYMARD C. SMARTS2. *A simple Model of the Atmospheric Radiation Transfer of Sunshine: Algorithms and Performance Assessment, Professional Paper FSEC-PF-270-95, Florida Solar Energy Center, 1679 Clearlake Road. Cocoa, FL, 1995, pp. 32922.*
- [20] SCHÖNLEIN A. Accelerated Weathering Test of Plastics and Coatings – New Technologies and Standardization, European Coatings Congress, Nuremberg, Germany, 2009

1) Annulée et remplacée par l'IEC 60584-1:2013.

- [21] ASTM G177, *Standard tables for reference solar ultraviolet spectral distributions: Hemispherical on 37° tilted surface*
- [21] ASTM G177, *Standard tables for reference solar ultraviolet spectral distributions: Hemispherical on 37° tilted surface*
- [22] GUEYMARD C. Parameterized transmittance model for direct beam and circumsolar spectral irradiance. *Sol. Energy*. 2001, **71** (5) pp. 325–346
- [23] GUEYMARD C.A., MYERS D., EMERY K. Proposed reference irradiance spectra for solar energy systems testing. *Sol. Energy*. 2002, **73** (6) pp. 443–467
- [24] MYERS D.R., EMERY K., GUEYMARD C. Revising and validating spectral irradiance reference standards for photovoltaic performance evaluation. *Transactions of the American Society of Mechanical Engineers*. *Sol. Energy Eng.* 2004 Feb., **126** pp. 567–574
- [25] ASTM Adjunct ADJG0173, SMARTS2 Solar Radiation Model for Spectral Radiation

Projet de norme marocaine