



Norme  
internationale

**ISO 16784-2**

**Corrosion des métaux et alliages —  
Corrosion et encrassement des  
circuits de refroidissement à eau  
industriels —**

Partie 2:  
**Évaluation des performances des  
programmes de traitement de  
l'eau de refroidissement sur banc  
d'essai pilote**

*Corrosion of metals and alloys — Corrosion and fouling in  
industrial cooling water systems —*

*Part 2: Evaluation of the performance of cooling water treatment  
programmes using a pilot-scale test rig*

**Deuxième édition  
2024-12**

iTeh Standards  
(<https://standards.iteh.ai>)  
Document Preview

[ISO 16784-2:2024](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/dbb724ba-6330-41ad-9297-4bba89df52de/iso-16784-2-2024)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/dbb724ba-6330-41ad-9297-4bba89df52de/iso-16784-2-2024>



**DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT**

© ISO 2024

Tous droits réservés. Sauf prescription différente ou nécessité dans le contexte de sa mise en œuvre, 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, ou la diffusion sur l'internet ou sur un intranet, sans autorisation écrite préalable. Une autorisation peut être demandée à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office  
Case postale 401 • Ch. de Blandonnet 8  
CH-1214 Vernier, Genève  
Tél.: +41 22 749 01 11  
E-mail: [copyright@iso.org](mailto:copyright@iso.org)  
Web: [www.iso.org](http://www.iso.org)

Publié en Suisse

# Sommaire

	Page
<b>Avant-propos</b> .....	<b>iv</b>
<b>Introduction</b> .....	<b>vi</b>
<b>1 Domaine d'application</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Références normatives</b> .....	<b>1</b>
<b>3 Termes et définitions</b> .....	<b>1</b>
<b>4 Principe</b> .....	<b>3</b>
<b>5 Eau d'essai</b> .....	<b>3</b>
5.1 Généralités .....	3
5.2 Caractéristiques de l'eau .....	4
5.3 Préparation des eaux d'essai de synthèse à partir de solutions mères .....	4
<b>6 Appareillage</b> .....	<b>5</b>
6.1 Partie échangeur de chaleur .....	5
6.2 Mesurage de la température .....	5
6.3 Contrôle de la vitesse de circulation .....	5
6.4 Mesurage de l'appoint, de l'évaporation et de la purge .....	5
6.5 Tour de refroidissement .....	5
6.6 Système de chauffage .....	6
6.7 Dispositif de simulation de l'équipement de traitement de l'eau .....	6
6.8 Dispositif de détection en circulation .....	6
<b>7 Méthode d'essai</b> .....	<b>6</b>
7.1 Mode opératoire .....	6
7.1.1 Nettoyage du montage d'essai .....	6
7.1.2 Préparation des tubes d'essai et prétraitement .....	6
7.1.3 Teneur en eau du circuit .....	7
7.1.4 Mode opératoire de remplissage du circuit de refroidissement à eau .....	7
7.1.5 Chauffage des tubes d'essai .....	8
7.1.6 Débit .....	8
7.1.7 Purge et demi-vie .....	8
7.1.8 Traitement des biocides .....	9
7.1.9 Eau d'appoint à utiliser avec une tour de refroidissement .....	9
7.2 Détermination des paramètres d'analyse et de contrôle .....	9
7.3 Rapport des données d'essai .....	9
7.4 Achèvement de l'essai .....	9
<b>8 Évaluation des résultats</b> .....	<b>10</b>
8.1 Enregistrement de la qualité de l'eau de refroidissement .....	10
8.2 Traitement des tubes d'essai .....	10
8.3 Évaluation des résultats relatifs au dépôt et à l'encrassement .....	10
8.4 Évaluation des résultats relatifs à la corrosion .....	11
8.4.1 Phénomènes et types de corrosion .....	11
8.4.2 Corrosion par piqûres .....	11
8.4.3 Vitesse de corrosion .....	11
<b>9 Rapport d'essai</b> .....	<b>11</b>
<b>Annexe A (informative) Fiche technique d'essai des performances des programmes de traitement de l'eau de refroidissement</b> .....	<b>13</b>
<b>Annexe B (informative) Informations complémentaires relatives aux méthodes de mesure et d'essai</b> .....	<b>16</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>21</b>

## 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](http://www.iso.org/directives)).

L'ISO attire l'attention sur le fait que la mise en application du présent document peut entraîner l'utilisation d'un ou de plusieurs brevets. L'ISO ne prend pas position quant à la preuve, à la validité et à l'applicabilité de tout droit de propriété revendiqué à cet égard. À la date de publication du présent document, l'ISO n'avait pas reçu notification qu'un ou plusieurs brevets pouvaient être nécessaires à sa mise en application. Toutefois, il y a lieu d'avertir les responsables de la mise en application du présent document que des informations plus récentes sont susceptibles de figurer dans la base de données de brevets, disponible à l'adresse [www.iso.org/brevets](http://www.iso.org/brevets). L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié tout ou partie de tels droits de propriété.

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 nature volontaire des normes, 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'Organisation mondiale du commerce (OMC) concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir [www.iso.org/iso/fr/avant-propos.html](http://www.iso.org/iso/fr/avant-propos.html).

Le présent document a été élaboré par le comité technique ISO/TC 156, *Corrosion des métaux et alliages*, en collaboration avec le comité technique CEN/TC 262, *Revêtements métalliques et inorganiques, incluant ceux pour la protection contre la corrosion et les essais de corrosion des métaux et alliages*, du Comité européen de normalisation (CEN) dans le cadre de l'Accord de coopération technique entre l'ISO et le CEN (Accord de Vienne).

Cette seconde édition annule et remplace la première édition (ISO 16784-2:2006), qui a fait l'objet d'une révision technique.

Les principales modifications sont les suivantes:

- l'Introduction a été modifiée;
- le Domaine d'application a été modifié;
- des références normatives ont été ajoutées;
- les Termes et définitions ont été mis à jour;
- [l'Article 4](#) a été modifié pour inclure des principes relatifs aux process de simulation des traitements de l'eau de refroidissement;
- le titre de [l'Article 5](#) «Réactifs et matériaux» a été remplacé par «Eau d'essai»;
- l'appareillage a été modifié: des composants et leurs descriptions ont été ajoutés;
- l'évaluation des résultats a été modifiée, elle a été divisée en trois aspects: les phénomènes et types de corrosion, la corrosion par piqûres et la vitesse de corrosion;
- la Bibliographie a été modifiée.

## ISO 16784-2:2024(fr)

Une liste de toutes les parties de la série ISO 16784 se trouve sur le site web de l'ISO.

Il convient que l'utilisateur adresse tout retour d'information ou toute question concernant le présent document à l'organisme national de normalisation de son pays. Une liste exhaustive desdits organismes se trouve à l'adresse [www.iso.org/fr/members.html](http://www.iso.org/fr/members.html).

# iTeh Standards (<https://standards.iteh.ai>) Document Preview

ISO 16784-2:2024

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/dbb724ba-6330-41ad-9297-4bba89df52de/iso-16784-2-2024>

## Introduction

Il est nécessaire d'améliorer la sécurité, la fiabilité et la rentabilité des circuits de refroidissement à eau à recirculation ouverts dans l'industrie. Cela est dû à l'augmentation des exigences environnementales strictes ainsi qu'à l'augmentation du coût de l'eau. Il est donc important d'établir un cadre normalisé pour évaluer les performances des programmes de traitement de l'eau de refroidissement. L'objectif est de fournir un mode opératoire permettant aux utilisateurs de circuits de refroidissement et aux vendeurs de matériaux de traitement pour ces circuits de réaliser des évaluations homogènes des programmes de traitement de l'eau de refroidissement à l'échelle pilote.

Grâce à l'évolution continue des technologies de traitement de l'eau en circulation, certaines de ces nouvelles technologies, telles que le traitement par osmose inverse et le traitement électrochimique sont devenues une composante importante du programme de traitement de l'eau de refroidissement.

Le présent document a été révisé et mis à jour pour ajouter un nouveau dispositif d'essai ainsi que des descriptions plus détaillées des composants. Grâce à l'utilisation de vapeur pour chauffer le tube d'échange de chaleur, ce dispositif d'essai résout le problème du chauffage non homogène causé par le chauffage électrique et se rapproche des conditions de fonctionnement réelles sur site.

# iTeh Standards (<https://standards.iteh.ai>) Document Preview

[ISO 16784-2:2024](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/dbb724ba-6330-41ad-9297-4bba89df52de/iso-16784-2-2024)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/dbb724ba-6330-41ad-9297-4bba89df52de/iso-16784-2-2024>

# Corrosion des métaux et alliages — Corrosion et encrassement des circuits de refroidissement à eau industriels —

## Partie 2:

# Évaluation des performances des programmes de traitement de l'eau de refroidissement sur banc d'essai pilote

## 1 Domaine d'application

Le présent document spécifie les principes, les réactifs et matériaux, l'appareillage d'essai, les méthodes d'essai, les méthodes d'évaluation des résultats et les exigences relatives aux rapports d'essai dans le cadre des essais pilotes des circuits de refroidissement à eau industriels.

Le présent document spécifie une méthode d'évaluation des performances des programmes de traitement destinés aux circuits de refroidissement à eau à recirculation ouverts. Elle repose principalement sur des essais en laboratoire, mais l'installation d'essai d'échangeur de chaleur peut également servir à une évaluation sur site. Le présent document ne traite pas des échangeurs de chaleur dans lesquels l'eau de refroidissement se trouve côté calandre (c'est-à-dire externe aux tubes).

## 2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. 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 3696, *Eau pour laboratoire à usage analytique — Spécification et méthodes d'essai*

ISO 8044, *Corrosion des métaux et alliages — Termes principaux et définitions*

ISO 8407, *Corrosion des métaux et alliages — Élimination des produits de corrosion sur les éprouvettes d'essai de corrosion*

ISO 16784-1, *Corrosion des métaux et alliages — Corrosion et entartrage des circuits de refroidissement à eau industriels — Partie 1: Lignes directrices pour l'évaluation pilote des additifs anticorrosion et antitartre pour circuits de refroidissement à eau à recirculation ouverts*

ISO 11463, *Corrosion des métaux et alliages — Lignes directrices pour l'évaluation de la corrosion par piqûres*

## 3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de l'ISO 8044 ainsi que les suivants s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <https://www.electropedia.org/>

**3.1**  
**adénosine triphosphate**

**ATP**

molécule chimique active présente dans les bactéries vivantes

Note 1 à l'article: Les concentrations en ATP peuvent être mesurées indirectement et servent d'indicateur de la présence d'une activité biologique dans l'eau de refroidissement.

**3.2**  
**purge**

décharge d'eau du circuit de refroidissement, exprimée en vitesse de décharge

**3.3**  
**tour de refroidissement**

tour destinée au refroidissement par évaporation de l'eau de refroidissement en circulation, généralement en bois, en plastique, en métal galvanisé ou en céramique

**3.4**  
**traitement de l'eau de refroidissement**

ajustement de la composition chimique de l'eau de refroidissement, permettant de contrôler la corrosion et l'encrassement

**3.5**  
**cycle de concentration**

rapport de la concentration en ions spécifiques de l'eau en circulation à la concentration en ions identiques de l'eau d'appoint

**3.6**  
**capacité de rejet de chaleur**

quantité de chaleur pouvant être rejetée par une tour de refroidissement

**3.7**  
**demi-vie**

temps nécessaire pour réduire de moitié la concentration initiale en composé non dégradable et/ou non précipitable dans l'eau de refroidissement

**3.8**  
**eau d'appoint**

masse d'eau totale par unité de temps, ajoutée au circuit pour compenser la perte d'eau due à l'évaporation, à la purge, aux fuites et à la perte par dérive

**3.9**  
**nombre de Reynolds**

formule sans dimension,  $\frac{LV\rho}{\eta}$ , proportionnelle au rapport de la force d'inertie à la force visqueuse dans un système d'écoulement

où:

$L$  est la dimension caractéristique du système d'écoulement, exprimée en m;

$V$  est la vitesse linéaire, exprimée en m/s;

$\rho$  est la masse volumique du fluide, exprimée en kg/m<sup>3</sup>;

$\eta$  est la viscosité du fluide, exprimée en kg/m/s.

**3.10**  
**température de surface**

température de l'interface entre le film d'eau de refroidissement et la surface de transfert thermique, que cette surface soit la paroi du tube ou la surface externe d'un dépôt d'encrassement



### 3.11

#### film de garnissage

portion d'une tour de refroidissement constituant sa principale surface de transfert thermique sur laquelle l'eau s'écoule au moment de l'évaporation

### 3.12

#### température de paroi

température captée par un thermocouple placé entre l'élément chauffant et l'intérieur de la paroi du tube de transfert thermique, de préférence le plus près possible de la paroi du tube

## 4 Principe

Modéliser le procédé de traitement de l'eau de refroidissement en circulation dans les conditions expérimentales spécifiées. Les échantillons de tube métallique sont placés dans l'eau de refroidissement en circulation pour l'échange thermique. Évaluer les performances du programme de traitement de l'eau de refroidissement en se basant sur des facteurs tels que le débit de l'eau de refroidissement, la qualité de l'eau, l'intensité de l'écoulement de matériau, le transfert thermique, la température de l'eau de refroidissement à l'entrée et à la sortie, le rapport de concentration, le pH, la conductivité, la concentration en additifs de traitement de l'eau et d'autres paramètres technologiques critiques.

Un montage d'essai constitué de tubes d'essai métalliques est soumis, pendant un laps de temps spécifié, à une circulation d'eau de refroidissement, dans des conditions de transfert thermique. Ce montage peut être directement relié au circuit d'eau de refroidissement sur site pour être représentatif des conditions de service. Pour les essais en laboratoire, la composition de l'eau de refroidissement est destinée à refléter la composition chimique de l'eau en service, en étant toutefois modifiée selon le programme de traitement approprié étudié. Pour les essais en laboratoire, il peut s'avérer efficace d'opter pour une composition chimique synthétique à des fins de comparaison (par exemple, analyses par «screening»), mais cela n'est pas représentatif des conditions de service. L'effet de la circulation de l'eau de refroidissement et du programme de traitement sur la corrosion et l'encrassement des tubes d'essai est évalué à l'aide d'un certain nombre de paramètres de mesure.

## Document Preview

## 5 Eau d'essai

[ISO 16784-2:2024](#)

### 5.1 Généralités <https://www.iso.org/standards/catalog/standards/iso/dbb724ba-6330-41ad-9297-4bba89df52de/iso-16784-2-2024>

Il convient que la composition de l'eau de refroidissement utilisée lors de l'essai reflète la composition probable de l'eau en service. Pour les essais en laboratoire dans lesquels de l'eau de synthèse est utilisée, seuls doivent être utilisés des réactifs de qualité analytique reconnue et de l'eau conforme aux exigences minimales d'une eau de qualité 3 selon l'ISO 3696.

Il existe deux principaux environnements de service. Le premier consiste à utiliser l'eau d'appoint telle qu'elle est employée dans le circuit de refroidissement spécifique sur site (ou à utiliser de l'eau d'appoint de synthèse) et à la concentrer en fonction du nombre de cycles requis dans le circuit d'essai. L'Annexe A présente des fiches qu'il est recommandé d'utiliser pour consigner les conditions d'essai (voir les [Tableau A.1](#), [Tableau A.2](#), [Tableau A.3](#)), les compositions de l'eau d'appoint et de l'eau de recirculation (voir le [Tableau A.4](#)) et les résultats d'essai (voir les [Tableau A.5](#), [Tableau A.6](#), [Tableau A.7](#)). L'Annexe B comprend des méthodes de mesure et d'essai.

La seconde approche implique l'utilisation d'eau de synthèse simulant l'eau en circulation sur le site après le nombre de cycles requis. L'utilisation d'eau de circulation de synthèse dispense d'avoir à concentrer l'eau de synthèse pour obtenir les cycles de concentration voulus. Cette approche simplifie l'essai en évitant d'utiliser la tour de refroidissement pilote.

L'eau de circulation de synthèse contient généralement une plus grande proportion de solides ioniques dissous que l'eau naturelle équivalente, rendant ainsi l'eau de synthèse plus corrosive.

## 5.2 Caractéristiques de l'eau

Il convient que les caractéristiques de l'eau naturelle ou de l'eau de synthèse employée soient celles spécifiées dans le [Tableau 1](#). Il convient de s'appuyer sur le [Tableau 1](#) pour consigner la composition de l'eau en circulation ainsi que celle de l'eau d'appoint éventuellement utilisée. La turbidité, la silice totale, les bactéries et l'adénosine triphosphate (ATP) doivent uniquement être mesurées pour les eaux sur site.

**Tableau 1 — Composition de l'eau d'appoint et de l'eau de refroidissement en circulation**

N°	Composant	Valeur	Unités
1	pH, 25 °C		Unités pH
2	Conductivité		μS/cm
3	Dureté totale		a
4	Alcalinité – p		a
5	Alcalinité – m		a
6	Ca <sup>2+</sup>		mg/l
7	Mg <sup>2+</sup>		mg/l
8	Na <sup>+</sup>		mg/l
9	K <sup>+</sup>		mg/l
10	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		mg/l
11	Fe <sup>2+</sup>		mg/l
12	Cu <sup>2+</sup>		mg/l
13	Al <sup>3+</sup>		mg/l
14	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>		mg/l
15	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		mg/l
16	Cl <sup>-</sup>		mg/l
17	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		mg/l
18	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		mg/l
19	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>		mg/l
20	SiO <sub>2</sub>		mg/l
21	Cl <sub>2</sub>		mg/l
22	Turbidité		FTU ou NTU
23	Matières en suspension		mg/l
24	Bactéries		UFC/ml ou UFC/l
25	ATP		RLU

<sup>a</sup> En fonction de la méthode, l'unité de mesure est soit le mmol/l soit le mg/l.

## 5.3 Préparation des eaux d'essai de synthèse à partir de solutions mères

Les eaux d'essai de synthèse sont normalement préparées en laboratoire au moment de leur utilisation en mélangeant des solutions mères. Une solution mère contient l'alcalinité et l'autre la dureté ainsi que d'autres sels nécessaires pour constituer l'eau d'essai. La composition de ces deux solutions est calculée de manière à préparer soit l'eau d'essai en circulation, soit une eau d'appoint appropriée une fois les solutions mélangées en proportion adéquate. Des solutions mères caractéristiques sont présentées dans le [Tableau B.1](#). Les solutions mères peuvent également être préparées sous forme de concentrés et diluées ultérieurement avec de l'eau déminéralisée.