

ISO/TC 85/SC 2

Date: ~~2023-01-31~~; 2020-07

ISO 13304-2:2020(F)

ISO/TC 85/SC 2

Secrétariat: AFNOR

**Radioprotection — Critères minimaux pour la spectroscopie par résonance paramagnétique électronique (RPE) pour la dosimétrie rétrospective des rayonnements ionisants — Partie 2: Dosimétrie ex vivo à partir de l'émail dentaire humain**

**~~Radiological protection — Minimum criteria for electron paramagnetic resonance (EPR) spectroscopy for retrospective dosimetry of ionizing radiation — Part 2: Ex vivo human tooth enamel dosimetry~~**

ICS: 13.80; 17.240

iTeh STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

[ISO 13304-2:2020](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/7d0aa23e-6b49-4021-86f8-bf542ea17eb9/iso-13304-2-2020)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/7d0aa23e-6b49-4021-86f8-bf542ea17eb9/iso-13304-2-2020>

Type du document: Norme internationale  
Sous-type du document:  
Stade du document: (60) Publication  
Langue du document: F

|   |
|---|
| Style Definition: Heading 1: Indent: Left: 0 pt, First line: 0 pt |
| Style Definition: Heading 2: Font: Bold, Tab stops: Not at 18 pt  |
| Style Definition: Heading 3: Font: Bold                           |
| Style Definition: Heading 4: Font: Bold                           |
| Style Definition: Heading 5: Font: Bold                           |
| Style Definition: Heading 6: Font: Bold                           |
| Style Definition: ANNEX   |
| Style Definition: RefNorm   |
| Style Definition: AMEND Heading 1 Unnumbered: Font: Bold          |
| Style Definition: AMEND Terms Heading: Font: Bold                 |
| Style Definition: Body Text_Center                                |
| Style Definition: Dimension_100                                   |
| Style Definition: Figure Graphic                                  |
| Style Definition: Figure subtitle                                 |
| Style Definition: List Continue 1                                 |
| Style Definition: List Number 1                                   |

**DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT**

© ISO 2020

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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, l'affichage sur l'internet ou sur un Intranet, sans autorisation écrite préalable. Les demandes d'autorisation peuvent être adressées à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office

Ch. de Blandonnet 8 • CP 401

CH-1214 Vernier, Geneva, Switzerland

Tel. + 41 22 749 01 11

copyright@iso.org

[www.iso.org](http://www.iso.org)

Publié en Suisse

Formatted: Pattern: Clear

Formatted: Pattern: Clear

iTeh STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

[ISO 13304-2:2020](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/7d0aa23e-6b49-4021-86f8-bf542ea17eb9/iso-13304-2-2020)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/7d0aa23e-6b49-4021-86f8-bf542ea17eb9/iso-13304-2-2020>

| Sommaire   | Page |
|--|------|
| Avant-propos .....   | v    |
| Introduction .....   | vi   |
| 1 Domaine d'application .....  | 1    |
| 2 Références normatives .....  | 1    |
| 3 Termes et définitions .....  | 2    |
| 4 Appareillage .....   | 6    |
| 4.1 Spécifications relatives au spectromètre RPE .....   | 6    |
| 4.2 Sensibilité du spectromètre .....  | 6    |
| 4.3 Pont micro-onde .....  | 6    |
| 4.4 Champ magnétique .....   | 6    |
| 4.5 Résonateur micro-onde .....  | 7    |
| 5 Préparation des échantillons d'émail dentaire .....  | 7    |
| 5.1 Généralités .....  | 7    |
| 5.2 Taille de grains applicable .....  | 8    |
| 6 Acquisition du spectre RPE .....   | 8    |
| 6.1 Description du spectre .....   | 8    |
| 6.2 Paramètres et conditions de mesure applicables .....   | 9    |
| 6.2.1 Généralités .....  | 9    |
| 6.2.2 Puissance micro-onde .....   | 9    |
| 6.2.3 Champ magnétique central .....   | 10   |
| 6.2.4 Largeur de balayage du champ magnétique .....  | 10   |
| 6.2.5 Temps de balayage du champ magnétique .....  | 10   |
| 6.2.6 Constante de temps du récepteur du canal du signal .....   | 11   |
| 6.2.7 Résolution du spectre RPE .....  | 11   |
| 6.2.8 Temps de conversion d'acquisition de spectre .....   | 11   |
| 6.2.9 Amplitude de modulation du champ magnétique .....  | 11   |
| 6.2.10 Nombre de spectres cumulés .....  | 11   |
| 6.2.11 Positionnement et chargement de l'échantillon .....   | 12   |
| 6.2.12 Influence de la masse d'échantillon sur l'intensité du signal RPE .....   | 12   |
| 6.2.13 Utilisation des échantillons étalons .....  | 13   |
| 6.2.14 Nombre de répétitions de mesurage .....   | 13   |
| 7 Évaluation de l'intensité du RIS .....   | 14   |
| 7.1 Généralités .....  | 14   |
| 7.2 Signaux RPE intrinsèques du résonateur micro-onde et du tube pour échantillon .....  | 15   |
| 8 Irradiation des échantillons d'étalonnage d'émail dentaire pour une exposition à faible transfert linéique d'énergie (TLE) ..... | 15   |
| 9 Conversion de l'intensité du RIS en une estimation de dose absorbée .....  | 16   |
| 10 Calcul de l'incertitude sur l'estimation de dose .....  | 17   |
| 11 Dose minimale détectable .....  | 18   |
| 12 Confidentialité et considérations déontologiques .....  | 20   |
| 13 Exigences de sécurité relatives aux laboratoires .....  | 20   |

ISO 13304-2:~~2023~~2020(F)

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 13.1   | Généralités.....   | 20 |
| 13.2   | Exigences de sécurité relatives au champ magnétique.....                       | 20 |
| 13.3   | Exigences relatives à la fréquence électromagnétique.....                      | 20 |
| 13.4   | Exigences de sécurité relatives aux produits chimiques.....                    | 20 |
| 13.5   | Risques pour la santé associés aux échantillons de dent.....                   | 21 |
| 13.6   | Exigences de sécurité relatives à l'optique.....                               | 21 |
| 14     | Responsabilité du client.....  | 21 |
| 15     | Responsabilité du laboratoire.....   | 21 |
| 16     | Assurance qualité et contrôle qualité (AQ et CQ).....                          | 21 |
| 16.1   | Généralités.....   | 21 |
| 16.2   | Contrôles de performance.....  | 22 |
| 16.2.1 | Généralités.....   | 22 |
| 16.2.2 | Contrôles de performance par des comparaisons interlaboratoires.....           | 22 |
| 16.2.3 | Contrôles de performance de préparation des échantillons.....                  | 22 |
| 16.2.4 | Contrôles de performance de conditions générales de mesure du laboratoire..... | 23 |
| 16.2.5 | Contrôles de performance du spectromètre RPE.....                              | 23 |
| 17     | Prélèvement/choix et identification des échantillons.....                      | 24 |
| 18     | Transport et stockage des échantillons.....                                    | 24 |
| 19     | Exigences minimales concernant la documentation.....                           | 24 |
|        | Bibliographie.....   | 25 |

ITEH STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

ISO 13304-2:2020

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/7d0aa23e-6b49-4021-86f8-bf542ea17eb9/iso-13304-2-2020>



## Introduction

La résonance paramagnétique électronique (RPE) ou résonance de spin électronique (RSE) est une technique couramment utilisée en dosimétrie rétrospective d'exposition aux rayonnements ionisants lorsque les informations dosimétriques concernant un individu sont potentiellement incomplètes ou inconnues. La RPE est un outil d'évaluation rétrospective de doses, qui est pertinent pour des expositions aiguës et chroniques récentes ou anciennes. Les doses estimées avec la méthode RPE ont été utilisées pour établir une corrélation entre les effets biologiques des rayonnements ionisants et la dose reçue, pour valider d'autres techniques ou méthodologies de dosimétrie ainsi que pour assurer la gestion des victimes d'accident d'irradiation ou de l'expertise médico-légale dans le cadre de procédures judiciaires.

Le principe de la dosimétrie par RPE est basé sur les propriétés fondamentales des rayonnements ionisants: la production d'espèces comportant des électrons non appariés (par exemple, des radicaux) en quantité proportionnelle à la dose absorbée. La technique RPE permet de détecter de manière spécifique et sensible les électrons non appariés suffisamment stables pour pouvoir être observés après leur création. La quantité des électrons non appariés détectables est proportionnelle à la quantité totale qui a été générée, et donc à la dose absorbée. Ces espèces peuvent interagir avec les micro-ondes générant le signal RPE, et il convient donc d'établir la relation entre l'intensité du signal RPE et la dose de rayonnement.

La RPE a été le plus souvent utilisée en dosimétrie rétrospective sur des tissus calcifiés, notamment l'émail dentaire. La dosimétrie par RPE est l'une des méthodes de choix pour l'évaluation rétrospective des doses reçues par les populations qui ont été exposées aux rayonnements radioactifs de la bombe atomique au Japon, de la catastrophe nucléaire de Chernobyl et de celle de Mayak en Oural du Sud.

Le présent document fournit des lignes directrices pour réaliser les mesurages ex vivo sur des échantillons d'émail dentaire humain par RPE dans la bande X pour une estimation dosimétrique en utilisant des modes opératoires documentés et validés. Les exigences minimales concernant la reconstruction de la dose absorbée dans l'émail, en définissant précisément les aspects techniques de préparation des échantillons d'émail, d'enregistrement des spectres RPE, d'évaluation du signal RPE induit par les rayonnements, de conversion du rendement RPE en dose et de réalisation des essais d'aptitude, sont décrites. L'estimation dosimétrique rétrospective par RPE est pertinente pour la recherche des effets des rayonnements, la validation des systèmes de dosimétrie radio-épidémiologique, le suivi médical et les exigences médicales/légales.

Une partie des informations contenues dans le présent document figure dans d'autres lignes directrices et publications scientifiques internationales, et principalement dans la série de rapports techniques de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) intitulés « Use of electron paramagnetic resonance dosimetry with tooth enamel for retrospective dose assessment » (utilisation de la dosimétrie par résonance paramagnétique électronique sur l'émail dentaire pour une estimation dosimétrique rétrospective)<sup>[1]</sup>. Toutefois, le présent document développe et normalise les modes opératoires de mesurage et procédures de reconstruction de dose, ainsi que l'évaluation des performances.

Le présent document est conforme à l'ISO 13304-1<sup>[2]</sup> et traite en particulier des besoins spécifiques de la dosimétrie par RPE dans la bande X à partir d'émail dentaire humain.

Formatted: Pattern: Clear

# Radioprotection — Critères minimaux pour la spectroscopie par résonance paramagnétique électronique (RPE) pour la dosimétrie rétrospective des rayonnements ionisants — Partie 2-: Dosimétrie ex vivo à partir de l'émail dentaire humain

## 1 Domaine d'application

Le présent document vise à spécifier les critères minimaux exigés pour l'assurance qualité et le contrôle qualité, l'évaluation des performances, et vise à faciliter la comparaison des mesures associées à l'estimation de dose absorbée obtenues par différents laboratoires en appliquant la spectroscopie RPE ex vivo dans la bande X sur de l'émail dentaire humain.

Le présent document couvre la détermination de la dose absorbée dans l'émail dentaire (hydroxyapatite). Il ne couvre pas le calcul de la dose délivrée aux organes ou à l'organisme entier.

Le présent document traite:

- a) des responsabilités du client et du laboratoire;
- b) de la confidentialité et des considérations déontologiques;
- c) des exigences de sécurité relatives aux laboratoires;
- d) de l'appareillage de mesure;
- e) de la préparation des échantillons;
- f) du mesurage des échantillons et de l'analyse du signal RPE;
- g) de l'étalonnage de la relation dose-réponse RPE;
- h) de l'incertitude associée à la dose et des essais de performance;
- i) de l'assurance qualité et du contrôle qualité.

## 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).

~~<std>ISO/IEC 17025, Exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais</std>~~

ISO/IEC 17025, Exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais

### 3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions 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/>

NOTE Les définitions des termes utilisés dans le présent document ayant trait au mesurage de rayonnement et à la dosimétrie sont compatibles avec l'ICRU 60<sup>[3]</sup>.

#### 3.1 kerma dans l'air

$K_a$   
somme des énergies cinétiques initiales de toutes les particules chargées libérées par les rayonnements ionisants non chargés, divisée par la masse d'air

Note 1 à l'article: Cette grandeur est recommandée pour l'étalonnage des champs de rayonnement photonique de référence et des instruments de référence<sup>[4]</sup>.

Note 2 à l'article: Le kerma dans l'air est exprimé en gray (Gy), un gray étant égal à 1 J/kg.

#### 3.2 dose absorbée

$D$   
quantité d'énergie de rayonnement ionisant impartie par unité de masse d'un matériau donné

Note 1 à l'article: La dose absorbée est exprimée en gray (Gy), un gray étant égal à 1 J/kg.

#### 3.3 signal parasite

**BGS (de l'anglais « background signal »)**  
signal dans le spectre RPE qui n'est pas généré par un rayonnement ionisant

Note 1 à l'article: Le signal parasite (BGS) n'équivaut pas à la composante de signal du *signal induit par les rayonnements (RIS)* (3.25), qui est générée par le rayonnement parasite environnemental.

#### 3.4 décalage

écart des résultats ou interférences par rapport à la valeur vraie et à l'estimateur

#### 3.5 courbe d'étalonnage

description mathématique de la relation dose-réponse obtenue par irradiation in vitro (3.16) d'échantillons d'émail dentaire avec des doses connues

#### 3.6 intervalle de confiance

plage dans laquelle se situe la valeur vraie d'une grandeur statistique, correspondant à une probabilité donnée

Formatted: Adjust space between Latin and Asian text, Adjust space between Asian text and numbers

Formatted: No underline

Formatted: Pattern: Clear

**3.7****seuil de décision**

valeur limite d'un mesurande quantifiant la dose absorbée (3.2) dans un échantillon au-dessus de laquelle une exposition peut être identifiée

Formatted: Pattern: Clear

**3.8****limite de détection**

plus petite valeur vraie d'un mesurande quantifiant la dose absorbée (3.2) dans un échantillon au-dessus de laquelle un rayonnement peut être identifié avec une probabilité donnée

Formatted: Pattern: Clear

**3.9****résonance paramagnétique électronique****RPE****résonance de spin électronique****RSE**

technique de résonance magnétique détectant le spin net (moment magnétique) d'électrons non appariés de centres paramagnétiques (3.22) dans la matière

Formatted: Pattern: Clear

Note 1 à l'article: Le terme de RPE est maintenant le plus communément utilisé. Le terme RSE est de moins en moins employé. Le terme résonance magnétique électronique (RME), plus récent, est parfois employé, car il est analogue au terme RMN (résonance magnétique nucléaire).

**3.10****largeur de raie crête-à-crête RPE** $\Delta B_{pp}$ 

différence des valeurs de champ magnétique appliqué entre le minimum et le maximum de la dérivée première d'un seul signal RPE

**3.11****signal RPE**

dérivée première de l'absorption de la micro-onde de résonance paramagnétique électronique d'un centre paramagnétique (3.22) donné, mesurée en fonction du champ magnétique appliqué

Formatted: Pattern: Clear

Note 1 à l'article: L'aire sous la courbe d'absorption est proportionnelle à la quantité de spins non appariés du centre paramagnétique. Par conséquent, la quantité de spins est proportionnelle à l'intégrale double du signal mesuré RPE (intensité du signal RPE) ou au produit de l'amplitude du signal RPE et du carré de la largeur de raie crête-à-crête RPE.

**3.12****amplitude du signal RPE** $A$ 

amplitude crête-à-crête du signal RPE (3.11)

Formatted: Pattern: Clear

**3.13****intensité du signal RPE** $I$ 

quantité proportionnelle à la quantité de centres paramagnétiques qui ont généré le signal RPE (3.11)

Formatted: Pattern: Clear

Note 1 à l'article: L'intensité du signal peut être évaluée par une double intégration numérique du signal RPE par prolongement du signal suivant l'axe du champ magnétique. L'intensité du signal d'un centre paramagnétique donné peut également être évaluée par comparaison à un spectre de référence du centre donné à l'aide de la méthode des moindres carrés. Le spectre de référence peut être issu du mesurage d'un échantillon incluant le centre paramagnétique donné ou d'une simulation mathématique du spectre.

**3.14****spectromètre RPE**

## ISO 13304-2:20232020(F)

appareillage permettant de mesurer l'absorption résonante d'énergie électromagnétique (micro-ondes) générée par la transition du spin d'électrons non appariés d'un niveau d'énergie à un autre, à la suite de l'application de fréquences micro-ondes à une substance paramagnétique en présence d'un champ magnétique

### 3.15 ajustement de spectre RPE

ajustement linéaire des moindres carrés d'un spectre RPE à partir d'un ensemble de spectres RPE de référence de centres paramagnétiques donnés

### 3.16 irradiation/mesurage in vitro

irradiation/mesurage réalisé sur des échantillons d'émail dentaire à l'extérieur du corps humain

Note 1 à l'article: Le terme « dosimétrie ex vivo » fait référence à des échantillons analysés in vitro, mais qui ont été irradiés à l'intérieur du corps humain.

### 3.17 transfert linéique d'énergie

TEL  
 $dE/dl$   
quotient de  $dE/dl$ , défini par la Commission internationale des unités et mesures radiologiques (ICRU, International Commission on Radiation Units and Measurements), où  $dE$  est l'énergie moyenne impartie localement au milieu par une particule chargée d'énergie donnée lorsqu'elle traverse une distance  $dl$

### 3.18 champ magnétique

$B$   
intensité de flux magnétique (induction)

Note 1 à l'article: L'unité SI, à savoir le Tesla (T), a remplacé le Gauss (G).  $1 \text{ T} = 10\,000 \text{ G}$ .

### 3.19 pont micro-onde

appareillage permettant de générer des micro-ondes qui sont fournies au résonateur micro-onde et de détecter les micro-ondes qui sont réfléchies au niveau du résonateur

### 3.20 résonateur micro-onde

résonateur d'ondes électromagnétiques constitué d'une enceinte métallique de dimensions adéquates qui confine les champs électromagnétiques dans la gamme des fréquences de la micro-onde et permet la formation d'ondes stationnaires

Note 1 à l'article: Dans le cadre d'un mesurage RPE, l'échantillon est situé à l'intérieur du résonateur micro-onde. Le terme « cavité résonante » est un synonyme de résonateur micro-onde.

### 3.21 volume utile du résonateur micro-onde

volume à l'intérieur du résonateur s'étendant le long de l'axe vertical du résonateur autour du centre, au sein duquel la sensibilité locale ne diminue pas de plus de 25 % par rapport à la sensibilité maximale au niveau du centre

### 3.22 centre paramagnétique

espèce avec un ou plusieurs électrons non appariés

Note 1 à l'article: Les électrons appariés ont le même état quantique, mais des spins orientés de manière opposée; les électrons non appariés n'ont pas de « partenaire » avec un spin électronique opposé. Lorsque le spin non apparié se trouve sur une molécule, il est nommé « radical »; lorsque l'électron non apparié se trouve dans un solide, il est nommé « centre électronique ou défaut (lacune) électronique ».

### 3.23

#### assurance qualité

actions planifiées et systématiques nécessaires pour attester qu'un processus, un mesurage ou un service satisfait aux exigences de qualité définies

### 3.24

#### contrôle qualité

actions planifiées et systématiques destinées à vérifier que les systèmes et les composants sont conformes aux exigences prédéterminées

### 3.25

#### signal induit par les rayonnements

#### RIS (de l'anglais, « radiation induced signal »)

signal RPE (3.11) provenant des centres paramagnétiques (3.22) générés par les rayonnements ionisants

Formatted: Pattern: Clear

Formatted: Pattern: Clear

### 3.26

#### spectre de référence

spectre RPE unitaire d'un centre paramagnétique (3.22) donné, utilisé pour évaluer l'intensité du spectre RPE de ce centre dans un échantillon soumis à analyse

Formatted: Pattern: Clear

Note 1 à l'article: Le spectre unitaire est reconstruit à partir du mesurage RPE d'un échantillon contenant le centre paramagnétique donné ou par simulation mathématique.

### 3.27

#### dosimétrie rétrospective

dosimétrie permettant d'évaluer une dose due à des expositions passées

### 3.28

#### échantillon étalon

échantillon utilisé pour vérifier la stabilité de performance du spectromètre RPE

Note 1 à l'article: Le signal RPE de l'échantillon étalon doit être stable pour permettre l'obtention de résultats de mesure reproductibles sur de longues périodes.

### 3.29

#### échantillons d'email dentaire d'étalonnage

échantillons de poudre d'email dentaire préparés à partir de dents entières exposées in vitro à des doses absorbées (3.2) définies ou à partir de dents non exposées avec une exposition in vitro de la poudre pour établir la relation entre la dose et l'intensité du RIS

Formatted: Pattern: Clear

## 4 Appareillage

### 4.1 Spécifications relatives au spectromètre RPE

Les spécifications de l'appareillage fournies par le fabricant incluent notamment:-

- a) la sensibilité;
- b) le domaine de fréquence et la puissance des micro-ondes applicables;

ISO 13304-2:20232020(F)

- c) l'étendue et la stabilité de la plage de balayage du champ magnétique applicable et son homogénéité spatiale;
- d) l'amplitude et la fréquence de modulation du champ magnétique; et
- e) le facteur de qualité à vide (valeur  $Q$ ) du résonateur micro-onde.

#### 4.2 Sensibilité du spectromètre

Les spectromètres RPE du commerce fonctionnant en bande X présentent généralement une sensibilité (indiquée par le nombre de spins minimal détectable/la largeur à mi-hauteur du signal) de moins de  $1 \times 10^{14}$  spins/T.<sup>[5]</sup> Cela correspond à la quantité de radicaux  $\text{CO}_2\cdot$  générés dans 100 mg d'émail dentaire par une dose de rayonnement absorbée inférieure à 1 mGy<sup>[6]</sup>.

Formatted: Pattern: Clear

Formatted: Pattern: Clear

#### 4.3 Pont micro-onde

Les fréquences des micro-ondes fournies par les ponts micro-ondes fonctionnant dans la bande X des différents fournisseurs sont comprises dans une plage de fréquence allant de 9 GHz à 10 GHz, selon le type de résonateur micro-onde associé. Un pont micro-onde équipé d'une commande automatique de fréquence (CAF) est recommandé. La puissance maximale délivrée par les ponts micro-ondes est généralement comprise entre 100 mW et 200 mW. Dans le cadre d'un mesurage RPE d'émail dentaire, il convient que le pont micro-onde soit en mesure de délivrer une puissance micro-onde comprise entre 0,5 mW et 25 mW<sup>[7]</sup>.

Formatted: Pattern: Clear

#### 4.4 Champ magnétique

Dans le cadre d'un mesurage d'émail dentaire, il convient d'établir un champ magnétique statique (champ central) dont l'intensité équivaut à un facteur de Landé de  $g = 2,00$  (350 mT à une fréquence micro-onde de 9,8 GHz). Les valeurs typiques de la largeur de balayage du champ magnétique vont de 5 mT à 10 mT<sup>[1][7]</sup>.

Formatted: Pattern: Clear

Formatted: Pattern: Clear

La résolution du champ magnétique appliqué, sa stabilité dans le temps et l'homogénéité sur le volume de l'échantillon déterminent le degré maximal de distorsion du signal RPE (variation de la largeur de raie du signal). Pour les spectromètres RPE les plus récents, les valeurs de résolution du champ, de stabilité par heure et d'homogénéité sur le volume de l'échantillon sont toutes inférieures à 5  $\mu\text{T}$ . Par conséquent, une raie RPE de 0,5 mT de largeur, comme par exemple la composante de signal RPE  $g_{\perp}$  du radical  $\text{CO}_2\cdot$  de l'émail dentaire peut être enregistrée avec une distorsion de moins de 1 %.

Il existe des spectromètres RPE offrant une fréquence maximale de modulation de champ de 50 kHz ou 100 kHz. Dans le cadre d'un mesurage d'émail dentaire, il convient d'utiliser la fréquence de modulation maximale disponible avec des valeurs typiques des amplitudes de modulation de champ dans la plage de 0,15 mT à 0,5 mT<sup>[1][7]</sup>.

Formatted: Pattern: Clear

Formatted: Pattern: Clear

#### 4.5 Résonateur micro-onde

Un résonateur micro-onde est caractérisé par sa fréquence de résonance et le facteur de qualité à vide,  $Q$ , ( $2\pi$ -énergie magnétique stockée/perdue), qui contribue linéairement à la sensibilité du spectromètre. Dans le cadre d'un mesurage d'émail dentaire, les valeurs typiques du facteur de qualité à vide  $Q$  des résonateurs sont comprises entre 2 000 et 10 000<sup>[8]</sup>.

Formatted: Pattern: Clear

Le couplage de la puissance micro-onde du résonateur doit être réglé finement avant le début de chaque mesurage.