

**ACADÉMIE DE NANCY-METZ  
UNIVERSITÉ DE LORRAINE  
FACULTÉ D'ODONTOLOGIE DE LORRAINE**

**Année 2024**

**N° 13718C**

**THÈSE  
POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE  
DENTAIRE**

Présentée et soutenue publiquement le 25 octobre 2024

Par

**Loïs MARTRETTE**

**Né le 14 juin 1998 à Nancy (Meurthe et Moselle)**

**Les cônes de gutta-percha en endodontie :  
étude de l'exactitude et de la reproductibilité  
des diamètres de pointe**

Composition du jury :

Président : Pr. É. MORTIER

Membre : Dr. M. VINCENT

Codirecteurs de thèse : Dr. R. BALTHAZARD

Dr. R. GIESS



**ACADÉMIE DE NANCY-METZ  
UNIVERSITÉ DE LORRAINE  
FACULTÉ D'ODONTOLOGIE DE LORRAINE**

**Année 2024**

**N° 13718C**

**THÈSE  
POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN CHIRURGIE  
DENTAIRE**

Présentée et soutenue publiquement le 25 octobre 2024

Par

**Loïs MARTRETTE**

**Né le 14 juin 1998 à Nancy (Meurthe et Moselle)**

**Les cônes de gutta-percha en endodontie :  
étude de l'exactitude et de la reproductibilité  
des diamètres de pointe**

Composition du jury :

Président : Pr. É. MORTIER

Membre : Dr. M. VINCENT

Codirecteurs de thèse : Dr. R. BALTHAZARD

Dr. R. GIESS

*« Par délibération en date du 11 décembre 1972, la Faculté de Chirurgie Dentaire a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées doivent être considérées comme propre à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation ni improbation »*



**Présidente : Docteur Hélène BOULANGER**

**Doyen : Docteur Kazutoyo YASUKAWA**

**Vice-Doyens :** Dr Charlène KICHENBRAND – Dr Rémy BALTHAZARD – Dr Marin VINCENT

**Membres Honoraires :** Dr L. BABEL – Pr. S. DURIVAUX – Pr A. FONTAINE – Pr G. JACQUART – Pr D. ROZENCWEIG - Pr ARTIS

**Doyens Honoraires :** Pr J. VADOT, Pr J.P. LOUIS

|                                                                                                                   |     |                             |                                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| <b>Département odontologie<br/>pédiatrique<br/>Sous-section 56-01</b>                                             | Mme | <u>JAGER Stéphanie</u>      | Maître de conférences *                                         |
|                                                                                                                   | M.  | PREVOST Jacques             | Maître de conférences                                           |
|                                                                                                                   | Mme | HERNANDEZ Magali            | Maître de conférences *                                         |
|                                                                                                                   | Mme | FEYTE Lidwine               | Chef de clinique des universités – Assistant des hôpitaux       |
|                                                                                                                   | Mme | HAGUENAUER Camille          | Chef de clinique des universités – Assistant des hôpitaux*      |
|                                                                                                                   | Mme | HILT Léa                    | Chef de clinique des universités – Assistant des hôpitaux       |
|                                                                                                                   | M.  | MASSON Maximilien           | Chef de clinique des universités – Assistant des hôpitaux       |
|                                                                                                                   | M.  | WATRIN Ferdinand            | Chef de clinique des universités – Assistant des hôpitaux*      |
| <b>Département orthopédie dento-<br/>faciale<br/>Sous-section 56-01</b>                                           | M.  | <u>VANDE VANNET Bart</u>    | Professeur des universités *                                    |
|                                                                                                                   | Mme | DAMERDJI-BENHABIB Zaheira   | Chef de clinique des universités – Assistant des hôpitaux ass.* |
|                                                                                                                   | M.  | FAWAZ Paul                  | Assistant associé (PRCE)*                                       |
| <b>Département prévention, épidémiologie,<br/>économie de la santé, odontologie légale<br/>Sous-section 56-02</b> | Mme | <u>CLÉMENT Céline</u>       | Maître de conférences *                                         |
|                                                                                                                   | M.  | BAUDET Alexandre            | Maître de conférences *                                         |
|                                                                                                                   | Mme | CAIONE Mariette             | Chef de clinique des universités – Assistant des hôpitaux       |
| <b>Département parodontologie<br/>Sous-section 57-01</b>                                                          | Mme | <u>BISSON Catherine</u>     | Professeur des universités *                                    |
|                                                                                                                   | M.  | JOSEPH David                | Maître de conférences *                                         |
|                                                                                                                   | Mme | BERBE Ludivine              | Chef de clinique des universités – Assistant des hôpitaux*      |
|                                                                                                                   | Mme | FONTY Adeline               | Chef de clinique des universités – Assistant des hôpitaux       |
|                                                                                                                   | Mme | SACCHET Anna                | Chef de clinique des universités – Assistant des hôpitaux       |
| <b>Département chirurgie orale<br/>Sous-section 57-01</b>                                                         | M.  | <u>BRAVETTI Pierre</u>      | Maître de conférences                                           |
|                                                                                                                   | M.  | DOLIVET Gilles              | Professeur associé                                              |
|                                                                                                                   | Mme | GUILLET-THIBAUT Julie       | Maître de conférences                                           |
|                                                                                                                   | Mme | KICHENBRAND Charlène        | Maître de conférences *                                         |
|                                                                                                                   | Mme | PHULPIN Bérengère           | Maître de conférences *                                         |
|                                                                                                                   | M.  | CLERC Sébastien             | Praticien hospitalier universitaire *                           |
|                                                                                                                   | M.  | MEYER Théophile             | Chef de clinique des universités – Assistant des hôpitaux *     |
| <b>Département biologie orale<br/>Sous-section 57-01</b>                                                          | Mme | <u>EGLOFF-JURAS Claire</u>  | Maître de conférences *                                         |
|                                                                                                                   | M.  | MARTRETTE Jean-Marc         | Professeur des universités *                                    |
|                                                                                                                   | M.  | YASUKAWA Kazutoyo           | Maître de conférences *                                         |
|                                                                                                                   | Mme | MENET Perrine               | Chef de clinique des universités – Assistant des hôpitaux       |
|                                                                                                                   | M.  | VEYNACHTER Thomas           | Praticien hospitalier universitaire *                           |
| <b>Département dentisterie<br/>restauratrice, endodontie<br/>Sous-section 58-01</b>                               | M.  | <u>MORTIER Éric</u>         | Professeur des universités *                                    |
|                                                                                                                   | M.  | ENGELS-DEUTSCH Marc         | Professeur des universités *                                    |
|                                                                                                                   | M.  | AMORY Christophe            | Maître de conférences                                           |
|                                                                                                                   | M.  | BALTHAZARD Rémy             | Maître de conférences *                                         |
|                                                                                                                   | M.  | VINCENT Marin               | Maître de conférences*                                          |
|                                                                                                                   | M.  | GIESS Renaud                | Maître de conférences associé*                                  |
|                                                                                                                   | Mme | DAL MAGRO Claire            | Chef de clinique des universités – Assistant des hôpitaux       |
|                                                                                                                   | Mme | DAVRIL Jeanne               | Chef de clinique des universités – Assistant des hôpitaux*      |
| <b>Département prothèses<br/>Sous-section 58-01</b>                                                               | M.  | LESIEUR François            | Chef de clinique des universités – Assistant des hôpitaux       |
|                                                                                                                   | Mme | <u>CORNE Pascale</u>        | Maître de conférences *                                         |
|                                                                                                                   | M.  | DE MARCH Pascal             | Maître de conférences                                           |
|                                                                                                                   | M.  | SCHOUVER Jacques            | Maître de conférences                                           |
|                                                                                                                   | Mme | VAILLANT Anne-Sophie        | Maître de conférences *                                         |
|                                                                                                                   | M.  | JONVEAUX Maxime             | Chef de clinique des universités – Assistant des hôpitaux       |
|                                                                                                                   | Mme | MOUGEL Armande              | Chef de clinique des universités – Assistant des hôpitaux       |
|                                                                                                                   | M.  | NEISIUS Thomas              | Chef de clinique des universités – Assistant des hôpitaux       |
|                                                                                                                   | M.  | PERRIN Tom                  | Chef de clinique des universités – Assistant des hôpitaux       |
|                                                                                                                   | M.  | RITTIE François             | Chef de clinique des universités – Assistant des hôpitaux       |
| <b>Département fonction-dysfonction,<br/>imagerie, biomatériaux</b>                                               | Mme | <u>STRAZIELLE Catherine</u> | Professeur des universités *                                    |
|                                                                                                                   | Mme | MOBY (STUTZMANN) Vanessa    | Maître de conférences *                                         |

**Souligné : responsable de département**

\* temps plein

**Mis à jour le 1<sup>er</sup> septembre 2024**

## **REMERCIEMENTS**

## À NOTRE PRÉSIDENT

**Monsieur le Professeur Éric MORTIER,**

Docteur en chirurgie dentaire

Docteur de l'université Henri Poincaré en physique-chimie de la matière et des matériaux

Habilitation à diriger des recherches

Professeur des universités – praticien hospitalier

Responsable du département de dentisterie restauratrice, endodontie

Chef du service d'odontologie du CHRU de Nancy

*Tu nous fais l'honneur de présider notre jury de thèse.*

*Nous te remercions pour ton sens de la pédagogie, de la rigueur, de la justice, pour tes enseignements fondamentaux à notre discipline, pour la disponibilité que tu accordes aux étudiants malgré la lourde tâche de gestion du service d'Odontologie du CHRU de Nancy et la rénovation de celui-ci, pour que chacun, étudiants comme enseignants puissent soigner, apprendre et s'épanouir dans les meilleures conditions. Une éternel reconnaissance également pour ton empathie et tes bons soins lorsque plus jeune tu es resté au cabinet jusqu'à tard dans la soirée pour reconstruire mes deux incisives supérieures que je venais de me faire casser. Puisses-tu trouver ici le témoignage de ma profonde reconnaissance et de toute mon estime.*

## À NOTRE DIRECTEUR DE THÈSE

**Monsieur le Docteur Rémy BALTHAZARD,**

Docteur en chirurgie dentaire Docteur de l'Université de Lorraine en sciences des matériaux

Lauréat de l'Académie Nationale de Chirurgie Dentaire

Maître de conférences – Praticien Hospitalier

Vice-Doyen de la faculté d'odontologie de Lorraine

*Tu m'as fait l'honneur d'être notre directeur de thèse.*

*Nous te remercions de nous avoir accompagné tout au long de notre formation, aussi bien clinique que théorique, jusqu'à cette consécration.*

*Je te dois ma profonde admiration pour ton talent et ta rigueur clinique.*

*Merci d'avoir réussi à nous débloquent d'impasses autant dans la technique que dans l'intuitif et d'avoir orienté de manière juste je l'espère cette thèse de recherche.*

*Puisses-tu trouver ici le témoignage de mon profond respect et de mon amitié à ton égard.*

## **À NOTRE CO-DIRECTEUR DE THÈSE**

**Monsieur le Docteur Renaud GIESS,**

Docteur en chirurgie dentaire

Maître de conférences associée

Tu nous fais l'honneur d'être notre co-directeur de thèse.

Nous te remercions pour ton dévouement auprès des étudiants et pour ta pédagogie, en théorie, comme en pratique. Merci pour la confiance que tu m'as accordée et que tu m'accordes, tu es à la fois mon mentor et un véritable ami. Pussions-nous continuer à entretenir cette relation qui m'est chère au cours de nos chemins de vie.

## **À NOTRE JUGE**

**Monsieur le Docteur Marin VINCENT,**

Docteur en chirurgie dentaire

Maître de conférences – praticien hospitalier

Docteur de l'université de Lorraine en mécanique et énergétique

Vice-doyen de la faculté d'odontologie de Lorraine

Nous te remercions chaleureusement de faire partie de notre jury de thèse, et pour ton implication dans les contenus statistiques présents dans celle-ci. Nous éprouvons une profonde gratitude pour tes enseignements rigoureux distillé avec gentillesse et empathie. Je te témoigne ma plus grande sympathie et mon plus grand respect.

## Sommaire

|                                                                                                    |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <i>Introduction – problématique .....</i>                                                          | <i>12</i>  |
| <i>1. La gutta-percha en endodontie.....</i>                                                       | <i>16</i>  |
| <i>2. Calibrage du diamètre apical .....</i>                                                       | <i>30</i>  |
| <i>3. Calibrage du maître-cône de gutta-percha .....</i>                                           | <i>35</i>  |
| <i>4. Étude profilométrique du diamètre de pointe de différents cônes de<br/>gutta-percha.....</i> | <i>39</i>  |
| <i>Conclusion .....</i>                                                                            | <i>97</i>  |
| <i>Références bibliographiques .....</i>                                                           | <i>106</i> |

## Liste des figures

|                                                                                                                                                                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1 : Formules chimiques des isoprènes. a. formule semi développée de la molécule d'isoprène ; b. formule semi développée du caoutchouc (1-4 cis-polyisoprène) ; c. les formules semi-développées de la gutta-percha (1-4 trans-polyisoprène.).....                                      | 19 |
| Figure 2 : Schéma du changement de phase de la gutta-percha (d'après Flanagan et coll., 1972).....                                                                                                                                                                                            | 20 |
| Figure 3 : Exemple de marque « manufacturer ». Image tirée de la notice des cônes de gutta-percha indiquant l'adresse de l'entreprise responsable de la commercialisation des cônes de GP : Kerr®. ....                                                                                       | 24 |
| Figure 4 : Schématisation de différentes morphologies tolérées de pointes de cônes de GP. a. pointe en d'ogive, b. pointe en demi-sphère, c. pointe en méplat.....                                                                                                                            | 25 |
| Figure 5 : Schématisation d'un cône de GP avec les mesures nécessaires dans le protocole de la norme ISO 6877. ....                                                                                                                                                                           | 26 |
| Figure 6 : Chronologie des points clés de l'utilisation de la gutta-percha en dentisterie.....                                                                                                                                                                                                | 29 |
| Figure 7 : Image de coupe d'une obturation canalaire sur laquelle on peut voir un volume non obturé causant un échec de traitement endodontique (Jou et coll ; 2004) .<br>.....                                                                                                               | 32 |
| Figure 8 : Schéma correspondant aux deux écoles de « stop apicaux ». a. selon l'école Scandinave ; b. selon l'école Schilderienne (Pertot et Pommel, 2020). ....                                                                                                                              | 33 |
| Figure 9 : Réglette calibrante DiaDent® .....                                                                                                                                                                                                                                                 | 35 |
| Figure 10 : Réglette calibrante Perfect®.....                                                                                                                                                                                                                                                 | 35 |
| Figure 11 : Réglette calibrante Dentsply Maillefer® .....                                                                                                                                                                                                                                     | 35 |
| Figure 12 : Photographie des étapes de calibrage d'un maître-cône de GP. a. disposition du cône de GP dans la jauge correspondant au diamètre de pointe voulu. b. découpe de la pointe du cône au ras de la partie métallique.....                                                            | 36 |
| Figure 13 : Images en microscopie à balayage (x250) montrant l'état de la pointe de cônes de GP après coupe. a. coupe aux ciseaux, b. coupe à la lame de rasoir à l'aide de la réglette calibrante, c. seconde coupe à la lame de rasoir sur une surface régulière (Lopes et coll. 2000)..... | 36 |
| Figure 14 : Photographie d'un marquage de cône de gutta-percha avec une paire de précelles.....                                                                                                                                                                                               | 37 |



|                                                                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 15 : Photographie du Microvu® Sol 161® profilomètre utilisé pour l'étude.                                                                                | 42 |
| Figure 16 : Cône de gutta-percha en butée sur la plaquette millimétrée.                                                                                         | 43 |
| Figure 17 : Photographie du dispositif pour mesurer de manière directe la pointe des cônes de gutta-percha.                                                     | 44 |
| Figure 18 : Photographie du niveau utilisé pour valider l'orthogonalité du bloc par rapport à l'objectif du Sol 161.                                            | 44 |
| Figure 19 : Image au Sol161 de 2 pointes de cône de GP. a. pointe de cône Conform Fit® avec un méplat ; b. pointe de cône arrondie ou ovalaire plus classique.  | 46 |
| Figure 20 : Image au Sol161® d'un cône Conform fit® à méplat. On peut noter la présence d'un défaut de liaison entre les 2 parties du cône (flèche blanche).    | 46 |
| Figure 21 : Image au Sol161® d'un défaut de fabrication d'un cône Fanta 25/.06. On note la présence d'un décalage entre les 2 parties du cône (flèche blanche). | 46 |
| Figure 22 : Image au Sol161® de deux cônes de profil ; a. cône de GP droit, b. cône de GP courbé.                                                               | 47 |
| Figure 23 : Image au Sol161® d'un cône de profil présentant des taches hyperpigmentées.                                                                         | 47 |
| Figure 24 : Image au Sol161® d'un cône vu de face avec présence d'un filament de gutta-percha à sa pointe (flèche blanche).                                     | 47 |
| Figure 25 : Image au Sol161® d'un cône, de 0,25mm de diamètre à la pointe, vu de face dont la valeur mesurée à la pointe est également de 0,250mm.              | 47 |
| Figure 26 : Image au Sol161® d'un cône vu de profil présentant une surface d'aspect ciré.                                                                       | 47 |
| Figure 27 : Image au Sol161® d'un cône de profil présentant un défaut dimensionnel avec un design de pointe irrégulier (flèche blanche).                        | 47 |
| Figure 28 : Image au Sol161® d'un cône vu de profil présentant des rugosités de surface :                                                                       | 48 |
| Figure 29 : Image au Sol161® d'un cône vu de profil présentant des défauts de conicité.                                                                         | 48 |
| Figure 30 : Image au Sol161® d'un cône vu de face présentant une pointe de cône régulière.                                                                      | 48 |
| Figure 31 : Image au Sol161® d'un cône vu de profil présentant des zones hyperpigmentées.                                                                       | 48 |

|                                                                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 32 : Image au Sol161® d'un cône vu de profil présentant des d'impuretés en son sein.....                                                  | 48 |
| Figure 33 : Image au Sol161® d'un cône vu de profil présentant des déformations importantes. ....                                                | 48 |
| Figure 34 : Image au Sol161® d'un cône vu de profil présentant des défauts sous forme de torsades. ....                                          | 49 |
| Figure 35 : Image au Sol161® d'un cône vu de profil présentant une tache hyperpigmentée (flèche blanche).....                                    | 49 |
| Figure 36 : Image au Sol161® d'un cône vu de profil montrant l'inclusion d'une fibre à la surface du cône de GP (flèche blanche). ....           | 49 |
| Figure 37 : : Image au Sol161® d'un cône vu de profil montrant la présence d'impuretés (flèche blanche). ....                                    | 49 |
| Figure 38 : Image au Sol161® d'un cône vu de profil montrant la présence de particules de silicate de calcium en surface (cônes de GP FKG) ..... | 50 |
| Figure 39 : Image au Sol161® d'un cône vu de profil présentant un défaut de conicité à sa pointe conicité (flèche blanche).....                  | 50 |
| Figure 40 : Boxplot montrant l'erreur de mesure de D0 des cônes en 25/.06 selon le protocole ISO 6877. ....                                      | 51 |
| Figure 41 : Boxplot montrant l'erreur de mesure de D0 des cônes en 30/.04 selon le protocole ISO 6877. ....                                      | 51 |
| Figure 42 : Boxplot montrant la distribution de l'erreur de mesure de D0 des cônes en 25/.06 (en mm) selon le protocole de mesure directe.....   | 55 |
| Figure 43 : Boxplot montrant la distribution de l'erreur de mesure de D0 des cônes en 30/.04 (en mm) selon le protocole de mesure directe.....   | 55 |
| Figure 44 : Boxplot Komet 25/.06 selon le protocole ISO 6877 (en mm). ....                                                                       | 59 |
| Figure 45 : Boxplot Komet 25/.06 selon le protocole de mesure directe (en mm). ....                                                              | 59 |
| Figure 46 : Graphique des résultats pour Komet 25/.06 de D0 en mm en fonction de chaque cône étudié.....                                         | 59 |
| Figure 47 : Boxplot Septodont 25/.06 selon le protocole ISO 6877 (en mm). ....                                                                   | 60 |
| Figure 48 : Boxplot Septodont 25/.06 selon le protocole de mesure directe (en mm). ....                                                          | 60 |
| Figure 49 : Graphique des résultats pour Septodont 25/.06 de DO en mm en fonction de chaque cône étudié. ....                                    | 60 |

|                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 50 : Boxplot produits dentaire SA 25/.06 selon le protocole ISO 6877.....                                              | 61 |
| Figure 51 : Boxplot produits dentaires SA 25/.06 selon le protocole de mesure directe (en mm). .....                          | 61 |
| Figure 52 : Graphique des résultats pour les produits dentaires SA 25/.06 de D0 en mm en fonction de chaque cône étudié. .... | 61 |
| Figure 53 : Boxplot MicroMega 25/.06 selon le protocole ISO 6877. ....                                                        | 62 |
| Figure 54 : Boxplot MicroMega 25/.06 selon le protocole de mesure directe (en mm). ....                                       | 62 |
| Figure 55 : Graphique des résultats pour MigroMega 25/.06 de D0 en mm en fonction de chaque cône étudié. ....                 | 62 |
| Figure 56 : Boxplot Roeko 25/.06 selon le protocole ISO 6877 (en mm). ....                                                    | 63 |
| Figure 57 : Boxplot Roeko 25/.06 selon le protocole de mesure directe (en mm). ....                                           | 63 |
| Figure 58 : Graphique des résultats de Roeko 25/.06 de D0 en mm en fonction de chaque cône étudié.....                        | 63 |
| Figure 59 : Boxplot Hyflex 25/.06 selon le protocole ISO 6877 (en mm). ....                                                   | 64 |
| Figure 60 : Boxplot Hyflex 25/.06 selon le protocole de mesure directe (en mm). ....                                          | 64 |
| Figure 61 : Graphique des résultats de Hyflex 25/.06 de D0 en mm en fonction de chaque cône étudié.....                       | 64 |
| Figure 62 : Boxplot Kerr 25/.06 selon le protocole ISO 6877 (en mm). ....                                                     | 65 |
| Figure 63 : Boxplot Kerr 25/.06 selon le protocole de mesure directe (en mm). ..                                              | 65 |
| Figure 64 : Graphique des résultats de Kerr 25/.06 de D0 en mm en fonction de chaque cône étudié.....                         | 65 |
| Figure 65 : Boxplot Dentsply Sirona 25/.06 selon le protocole ISO 6877 (en mm). ....                                          | 66 |
| Figure 66 : Boxplot Dentsply Sirona 25/.06 selon le protocole de mesure directe (en mm). ....                                 | 66 |
| Figure 67 : Graphique des résultats de Dentsply Sirona 25/.06 de D0 en mm en fonction de chaque cône étudié. ....             | 66 |
| Figure 68 : Boxplot VDW 25/.06 selon le protocole ISO 6877 (en mm). ....                                                      | 67 |
| Figure 69 : Boxplot VDW 25/.06 selon le protocole de mesure directe (en mm). ..                                               | 67 |
| Figure 70 : Graphique des résultats de VDW 25/.06 de D0 en mm en fonction de chaque cône.....                                 | 67 |

|                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 71 : Boxplot Fanta 25/.06 selon le protocole ISO 6877 (en mm).....                                                     | 68 |
| Figure 72 : Boxplot Fanta 25/.06 selon le protocole de mesure directe (en mm). 68                                             |    |
| Figure 73 : Graphique des résultats de Fanta 25/.06 de D0 en mm en fonction de<br>chaque cône.....                            | 68 |
| Figure 74 : Boxplot R&S 25/.06 selon le protocole ISO 6877 (en mm). ....                                                      | 69 |
| Figure 75 : Boxplot R&S 25/.06 selon le protocole de mesure directe (en mm)...69                                              |    |
| Figure 76 : Graphique des résultats de R&S 25/.06 de D0 en mm en fonction de<br>chaque cône.....                              | 69 |
| Figure 77 : Boxplot Brasseler USA (TotalFill (FKG)) 25/.06 selon le protocole ISO<br>6877 (en mm).....                        | 70 |
| Figure 78 : Boxplot Brasseler USA (TotalFill (FKG)) 25/.06 selon le protocole de<br>mesure directe (en mm). ....              | 70 |
| Figure 79 : Graphique des résultats de Brasseler USA (Totalfill (FKG)) 25/.06 de<br>D0 en mm en fonction de chaque cône. .... | 70 |
| Figure 80 : Boxplot Komet 30/.04 selon le protocole ISO 6877 (en mm). ....                                                    | 71 |
| Figure 81 : Boxplot Komet 30/.04 selon le protocole de mesure directe (en mm).<br>.....                                       | 71 |
| Figure 82 : Graphique des résultats de Komet 30/.04 de D0 en mm en fonction de<br>chaque cône.....                            | 71 |
| Figure 83 : Boxplot Septodont 30/.04 selon le protocole ISO 6877 (en mm). ....                                                | 72 |
| Figure 84 : Boxplot Septodont 30/.04 selon le protocole de mesure directe (en mm).<br>.....                                   | 72 |
| Figure 85 : Graphique des résultats de Septodont 30/.04 de D0 en mm en fonction<br>de chaque cône.....                        | 72 |
| Figure 86 : Boxplot Produit dentaire SA 30/.04 selon le protocole ISO 6877 (en<br>mm). ....                                   | 73 |
| Figure 87 : Boxplot Produit dentaire SA 30/.04 selon le protocole de mesure directe<br>(en mm).....                           | 73 |
| Figure 88 : Graphique des résultats de Produits Dentaires SA 30/.04 de D0 en mm<br>en fonction de chaque cône. ....           | 73 |
| Figure 89 : Boxplot Roeko 30/.04 selon le protocole ISO 6877 (en mm). ....                                                    | 74 |
| Figure 90 : Boxplot Roeko 30/.04 selon le protocole de mesure directe (en mm).<br>.....                                       | 74 |

|                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 91 : Graphique des résultats de Roeko 30/.04 de D0 en mm en fonction de chaque cône.....             | 74 |
| Figure 92 : Boxplot Hyflex 30/.04 selon le protocole ISO 6877 (en mm). ....                                 | 75 |
| Figure 93 : Boxplot Hyflex 30/.04 selon le protocole de mesure directe (en mm).<br>.....                    | 75 |
| Figure 94 : Graphique des résultats de Hyflex 30/.04 de D0 en mm en fonction de chaque cône.....            | 75 |
| Figure 95 : Boxplot Kerr 30/.04 selon le protocole ISO 6877 (en mm). ....                                   | 76 |
| Figure 96 : Boxplot Kerr 30/.04 selon le protocole de mesure directe (en mm). ..                            | 76 |
| Figure 97 : Graphique des résultats de Kerr 30/.04 de D0 en mm en fonction de chaque cône.....              | 76 |
| Figure 98 : Boxplot Dentsply Sirona 30/.04 selon le protocole ISO 6877 (en mm).<br>.....                    | 77 |
| Figure 99 : Boxplot Dentsply Sirona 30/.04 selon le protocole de mesure directe (en mm). ....               | 77 |
| Figure 100 : Graphique des résultats de Dentsply Sirona 30/.04 de D0 en mm en fonction de chaque cône. .... | 77 |
| Figure 101 : Boxplot VDW 30/.04 selon le protocole ISO 6877 (en mm). ....                                   | 78 |
| Figure 102 : Boxplot VDW 30/.04 selon le protocole de mesure directe (en mm).<br>.....                      | 78 |
| Figure 103 : Graphique des résultats de VDW 30/.04 de D0 en mm en fonction de chaque cône.....              | 78 |
| Figure 104 : Boxplot CyberTech 30/.04 selon le protocole ISO 6877 (en mm). ...                              | 79 |
| Figure 105 : Boxplot CyberTech 30/.04 selon le protocole de mesure directe (en mm). ....                    | 79 |
| Figure 106 : Graphique des résultats de Cybertech 30/.04 de D0 en mm en fonction de chaque cône.....        | 79 |
| Figure 107 : Boxplot R&S 30/.04 selon le protocole ISO 6877 (en mm). ....                                   | 80 |
| Figure 108 : Boxplot R&S 30/.04 selon le protocole de mesure directe (en mm).                               | 80 |
| Figure 109 : Graphique des résultats de R&S 30/.04 de D0 en mm en fonction de chaque cône.....              | 80 |
| Figure 110 : Boxplot Brasseler USA (TotalFill (FKG)) 30/.04 selon le protocole ISO 6877 (en mm). ....       | 81 |

|                                                                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 111 : Boxplot Brasseler USA (TotalFill (FKG)) 30/.04 selon le protocole de mesure directe (en mm). .....                                     | 81 |
| Figure 112 : Graphique des résultats de Brasseler USA (TotalFill (FKG)) 30/.04 de D0 en mm en fonction de chaque cône. ....                         | 81 |
| Figure 113 : Boxplot Dentsply Sirona (Conform Fit) 25 selon le protocole de mesure directe. ....                                                    | 82 |
| Figure 114 : Boxplot Dentsply Sirona (Conform Fit) 30 selon le protocole de mesure directe. ....                                                    | 82 |
| Figure 115 : Histogramme des moyennes en mm de <b>D0</b> avec les écart-types pour les cônes en 25/.06 par la méthode du protocole ISO 6877. ....   | 84 |
| Figure 116 : Histogramme des moyennes en mm de D0 avec les écart-types pour les cônes en 25/.06 par la méthode du protocole directe. ....           | 86 |
| Figure 117 : Histogramme des moyennes en mm de D0 avec les écart-types pour les cônes en 30/.04 par la méthode du protocole ISO 6877. ....          | 88 |
| Figure 118 : Histogramme des moyennes en mm de D0 avec les écart-types pour les cônes en 30/.04 par la méthode du protocole de mesure directe. .... | 90 |

## Liste des tableaux

|                                                                                                                                                                                                                                   |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <u>Tableau 1 : Liste des composés contenus dans les cônes de gutta-percha du commerce et leurs possibles pourcentage massique. ....</u>                                                                                           | <u>21</u> |
| <u>Tableau 2 : Tableau regroupant les diamètres apicaux anatomiques de différentes dents en centième de mm (Jou et coll., 2004) .....</u>                                                                                         | <u>32</u> |
| <u>Tableau 3 : Cônes de GP utilisés dans l'étude. ....</u>                                                                                                                                                                        | <u>41</u> |
| <u>Tableau 4 Tableaux des résultats de mesure de d3, d16 et calcul de D0 selon le protocole de la norme ISO 6877. Valeurs exprimées en mm. ....</u>                                                                               | <u>54</u> |
| <u>Tableau 5 : Tableaux des résultats de mesure D0 selon le protocole de mesure directe. Valeurs exprimées en mm.....</u>                                                                                                         | <u>57</u> |
| <u>Tableau 6 : Proposition de score de confiance aux protocoles. ....</u>                                                                                                                                                         | <u>83</u> |
| <u>Tableau 7 : Top 3 des marques de cônes considérant leurs moyennes selon leurs valeurs nominales et le type de protocole. Dans une même colonne, la même lettre en exposant n'indique pas de différence significative. ....</u> | <u>92</u> |

## Liste des Annexes

|                                                                                                                             |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Annexe 1 : Notice des boxplots contenus dans la thèse. ....                                                                 | 100 |
| Annexe 2 : Méthode de positionnement du cercle à l'origine de la mesure du diamètre de pointe sur le logiciel Calc®.....    | 100 |
| Annexe 4 : Capture d'écran d'une pointe de gutta-percha encrée vu de profil au Sol 161®, G=x153. ....                       | 100 |
| Annexe 3 : Capture d'écran d'une pointe de gutta-percha encrée vu de face au Sol 161®, G=x153. ....                         | 100 |
| Annexe 6 : tableau des résultats visant à évaluer l'erreur de mesure, concernant le protocole de mesure directe de D0. .... | 101 |
| Annexe 5 : tableau des résultats visant à évaluer l'erreur de mesure concernant le protocole ISO 6877. ....                 | 101 |
| Annexe 7 : Tableaux des résultats de mesure de d3, d16 et de calcul de D0 selon le protocole de la norme ISO 6877. ....     | 102 |
| Annexe 8 : Tableaux des résultats de mesures de D0 selon le protocole de mesure directe. ....                               | 104 |



## Liste des abréviations et définitions

GP : Gutta-Percha

ON : Organisme Notifié

LT : Longueur de Travail

SDS : *Safety Data Sheet*

CAS : *American Chemical Society*

ISO : *International Organization for Standardization*

CE : Conformité Européenne

ANSM : Agence Nationale de Sécurité du Médicament

ANSI : American National Standards Institute

NiTi : Nickel-Titane

PDS : Pas de différence significative

## Introduction – problématique

Les cônes de gutta-percha, traditionnellement utilisés pour l'obturation des canaux radiculaires, sont employés depuis la fin du XIX<sup>e</sup> siècle par les chirurgiens-dentistes (Prakash et coll., 2005). Lorsqu'ils sont associés à du ciment, un joint étanche se forme entre eux et les parois canalaire, empêchant ainsi la colonisation microbienne des canaux. Cette étanchéité canalaire est indispensable à la réussite du traitement endodontique, car la colonisation du canal par les micro-organismes pathogènes met en péril le maintien de l'organe dentaire sur son arcade. Les cônes de gutta-percha (GP) jouent ainsi un rôle central en endodontie en favorisant l'obtention d'une obturation tridimensionnelle et étanche.

Lors d'un débridement mécanique et d'une désinfection chimique des canaux, la dernière lime utilisée dans le canal, emmenée à la longueur de travail (LT), donnera théoriquement ses dimensions à la préparation (conicité et diamètre apical). Il est alors important d'avoir des cônes de GP bien adaptés à cette préparation canalaire avec une conicité et un diamètre de pointe précis. Une bonne adaptation du maître-cône de GP à la préparation canalaire permet d'éviter la survenue de sous ou de sur-obturation pouvant conduire à de potentiels échecs endodontiques.

- Dans le cas d'une sous-obturation, un espace non étanche est laissé dans la partie apicale du canal donnant ainsi la possibilité aux micro-organismes de se développer. La pérennité du traitement endodontique peut alors être compromise.
- Dans le cas d'une sur-obturation, une réaction inflammatoire est présente *in-situ* et peut entraîner, selon les cas, des complications telles que des douleurs post-opératoires ou des infections sinusiennes (Psillas et coll., 2021). La présence d'un corps étranger génère possiblement une inflammation supplémentaire qui s'ajoute à l'inflammation déjà potentiellement existante du fait de la présence de micro-organismes. Le contexte n'aide pas à obtenir des conditions idéales à la cicatrisation du péri-apex (os et ligament dento-alvéolaire).

Il a été constaté dans différentes études que les dimensions des cônes de gutta-percha du commerce sont souvent imprécises (Cunningham et coll., 2006 ; Haupt et

coll., 2018 ; Martínez et coll., 2023). Parfois ils sont testés en comparaison avec les systèmes de limes leur correspondant et d'autres fois, ils sont testés seuls. Le diamètre de pointe des cônes et leur conicité ne correspondent pas toujours aux standards des matériaux d'obturation actuels.

Dans toutes ces études, le protocole de référence utilisé est celui de la norme ISO 6877 ou un dérivé. Ce protocole permet une déduction mathématique du diamètre de pointe ( $D_0$ ) et de la conicité des cônes de GP mais il n'existe pas d'étude proposant une mesure directe des diamètres de pointe.

Plusieurs problématiques concernant le matériau d'obturation canalaire guideront ce travail de thèse :

- Comment, après détermination de la longueur de travail et détermination du diamètre apical, être certain que le maître-cône utilisé pour l'obturation correspond aux dimensions finales du canal ?
- Les diamètres de pointe des cônes de gutta-percha vendus dans le commerce sont-ils ceux annoncés par les industriels ?
- La norme ISO 6877 régissant la tolérance concernant la dimension des cônes annoncée par leur fabricant est-elle suffisamment restrictive pour notre pratique clinique ?
- Que penser d'une mesure directe par microscopie du diamètre de pointe des cônes de gutta-percha en comparaison du protocole de détermination selon la norme ISO 6877 ?

Pour commencer ce travail, il semble essentiel de rappeler les objectifs du traitement endodontique et les techniques d'obturation canalaire éprouvées et actuelles.

### • **Rappel des objectifs thérapeutiques du traitement endodontique**

Les objectifs thérapeutiques sont depuis longtemps définis dans la littérature, notamment grâce à la triade endodontique de Schilder (1974) qui édicte 3 principes :

- Mise en forme,
- Désinfection,
- Obturation.

De ces trois principes découlent différents objectifs (Haaspasalo et coll., 2005 ; Schilder, 2006 ; Ørstavik, 2019)

#### **Les objectifs mécaniques :**

- Fournir un meilleur accès au foramen apical,
- Éliminer les micro-organismes et les débris pulpaire,
- Débrider un maximum de surface canalaire,
- Mettre en forme le canal afin de faciliter le passage des solutions désinfectantes,
- Mettre en forme le canal afin de permettre une obturation canalaire étanche.

#### **Les objectifs biologiques :**

- Dissoudre le contenu organique du canal (paquet vasculo-nerveux, débris nécrotiques, micro-organismes, et produits de dégradation provenant des tissus nécrosés),
- Éliminer la majeure partie des micro-organisme présents dans le canal.

La suppression de la source de l'infection constitue l'objectif ultime du traitement endodontique. Pour cela, il est nécessaire de désinfecter et de mettre en forme les canaux radiculaires afin d'éliminer le contenu intra-canal (micro-organismes et tissus) puis d'obturer le canal de manière dense, étanche et tri-dimensionnelle (Schilder, 2006).

### **• Techniques d'obturations actuelles**

Avant de discuter de diamètre de pointe des cônes et de calibrage apical, il convient de présenter les techniques d'obturations répondant aux impératifs de qualité actuels. Il existe 2 catégories d'obturations canales, les obturations à chaud et les obturations à froid.

Parmi les obturations à chaud actuelles, il existe principalement la condensation verticale à chaud, la technique par thermocompactage, et la technique de gutta-percha préchauffée sur tuteur (Mancino, 2019 ; Marchi et coll., 2022). Les techniques

d'obturation à froid comprennent la condensation latérale à froid, la méthode mono-cône et plus récemment, la condensation hydraulique à froid (Mancino, 2019). Des études (Wu et coll., 2000 ; Bhandi et coll., 2021) ont démontrées la supériorité des techniques d'obturation à chaud en termes d'étanchéité canalaire par rapport aux méthodes à froid.

Cependant, la technique par condensation hydraulique à froid, elle montre un potentiel prometteur. Elle implique l'utilisation d'un ciment d'obturation canalaire à base de silicates de calcium en remplacement du ciment de scellement à base d'oxyde de zinc-eugénol dans la méthode mono-cône « classique » (Atlan et coll., 2015 ; Camps et coll., 2015 ; Siboni et coll. 2017 ; Mancino, 2019 ; Wang et coll., 2021).

L'usage d'un ciment oxyde de zinc-eugenol nécessite une adaptation soigneuse de la gutta-percha pour avoir un joint de ciment (point faible de l'obturation) le plus fin possible.

De même, dans la technique de condensation hydraulique à froid, un cône bien adapté permettra d'exploiter tout le potentiel obturant du ciment silicate de calcium en le mettant en pression (Atlan et coll., 2015). Le ciment silicate de calcium pourra ainsi se répandre de manière optimale dans le canal, y compris dans les canalicules dentinaires (Mancino, 2019).

Peu importe la méthode d'obturation choisie, une adaptation précise de la gutta-percha à l'apex est essentielle.

La première partie de ce travail, s'intéressera à l'histoire de la GP, de sa découverte jusqu'aux techniques de production actuelles des cônes de gutta-percha. Nous développerons ensuite le versant industrialisation et le cadre juridique associé. Enfin, pour finir cette première partie, les applications cliniques de la GP seront mises en lumière.

La deuxième et la troisième partie de ce travail détailleront respectivement l'importance du calibrage du diamètre apical de la préparation canalaire et l'exactitude du diamètre de la pointe des cônes de GP.

La quatrième partie consistera en une étude au sein de laquelle nous souhaitons vérifier le diamètre des cônes de gutta-percha selon le protocole de la norme ISO 6877 et par mesure directe.

## **1. La gutta-percha en endodontie**

### **1.1. Historique**

#### **1.1.1. La gutta-percha en botanique**

Le nom « gutta-percha » provient du Malais « *Getah* » qui signifie sève et « *Pertja* » qui est le nom commun de l'arbre (Bansode et coll., 2018). Il a la propriété de flocculer et de coaguler à température ambiante pour donner une sorte de « caoutchouc » (Prakash et coll., 2005). La gutta-percha a des origines botaniques multiples car au-delà de l'arbre malaisien *Palaquium gutta* sur lequel elle a été découverte, elle peut être produite en plus ou moins grande quantité à partir des arbres de la famille des Sapotacées (*Sapotaceae*) qui poussent en milieux tropicaux (Newland, 2023).

La découverte de la plante malaisienne par les européens serait attribuée à un voyageur Britannique, Tradescant en 1656. Il ramena un échantillon de « *mazer wood* » (bois surprenant) au musée de South-Lambeth à Londres. Il fut qualifié ainsi par sa capacité à changer de forme et à la conserver en le travaillant dans l'eau. Sa découverte tomba malheureusement dans l'oubli.

En 1842 le Dr Montgomerie en refit sa découverte. La légende voudrait qu'il ait rencontré un natif malais fabricant de fouets en gutta-percha pour les chevaux. Les indigènes se servaient de la gutta-percha aussi pour fabriquer des manches de parang (sorte de machette). Ils récoltaient aussi les fruits pour les manger et pour en faire de l'huile alimentaire. En 1847, Sir W.J. Hooker étudia l'arbre et lui donna le nom d'« *Isonandra gutta* ». À cette époque, cet arbre paraissait être l'unique source de gutta-percha, on pouvait le retrouver à Singapour, en Malaisie, au Sumatra et sur l'île de Bornéo.

2 espèces de plantes présentaient un intérêt pour l'industrie car elles avaient un bon rendement :

- Le *Palaquium gutta*, la plante à l'origine de la gutta-percha
- Le *Manilkara balata*, donnant un matériau ressemblant à la gutta-percha appelé gutta-balata ou balata mais ayant une moindre qualité (Prakash et coll., 2005 ; Beauvisage., 1884 ; American Gutta Percha Company., 1848 ; Dastre., 1901 ; Belsare et coll., 2015).

### 1.1.2. Industrialisation et âge d'or

Pour sa découverte le Dr. W. Montgomerie a reçu, en 1845 la médaille d'or de la « *Royal Society of Arts, Manufactures and Commerce* » de Londres. Selon Newland (2023), il semble qu'il y ait eu d'autres prétendants crédibles pour cette découverte comme l'ingénieur en télégraphe R.S Newall, ou le Dr. Almeida, membre fondateur de la « *Singapore Agricultural and Horticultural Society* ».

Il semblerait également qu'il y ait eu des objets d'artisanat observés dans les boutiques londoniennes avant la médaille d'or du Dr. Montgomerie, mais c'est seulement à partir de 1845 que des brevets ont été déposés. La gutta-percha est devenue à partir de ce moment un matériau à la pointe de la technologie.

*The Gutta Percha Company*, fondée la même année, est la première entreprise à importer et à transformer la gutta-percha en masse pour fabriquer des courroies de machines, des tasses et des semelles de bottes entre autres.

Beaucoup d'objets de la vie courante étaient faits à partir de la gutta-percha : tuyaux pour gaz et eau, selles, harnais, encrier, reliures, balles, cannes, fouets, flacons, cercueils hermétiques, bouteilles, verroterie en tout genre, bouées et balises maritimes, canots de sauvetage, bâches de voiture, etc...

Le Dr. Montgomerie, lui, cherchait à la base à promouvoir le matériau dans l'industrie médicale. La gutta-percha a effectivement été un matériau d'importance majeure dans l'arsenal de soin des médecins. Elle était utilisée par les dermatologues dans le traitement de certaines maladies de la peau (psoriasis, eczéma, érysipèle, variole), comme manches d'outils chirurgicaux, stéthoscopes, bandages, forceps, cathéters, attèles pour les entorses ou fracture et chez les dentistes comme moyen de compression des sites d'extraction dentaire pour stopper les saignements.

Faraday, éminent et reconnu physicien, fut le premier à rendre compte de ses observations sur les propriétés isolantes électriques de la gutta-percha en 1848. Il suggère son utilisation dans la fabrication d'équipements électriques sans faire le lien

avec une application à l'industrie télégraphique. William Henry Hatcher, ingénieur civil et secrétaire de l'*Electric Telegraph Company*, propose son utilisation à la télégraphie en 1846. Il s'ensuit l'invention de machines permettant d'enrober des fils de cuivre avec de la gutta-percha. À la fin des années 1840, l'industrie des câbles de télégraphie sous-marins est en plein essor.

Entre 1840 et 1950, 68 000 arbres sont abattus dans la région de la Malaisie. En 1854, l'exportation dépasse les 600 tonnes. Dix ans plus tard elle atteint les 1800 tonnes puis les 3800 tonnes en 1882 et enfin, les 45000 tonnes en 1890. Les Malaisiens abattent tous les arbres qu'ils trouvent et le marché mondial de la GP commence à être inondé par un produit plus ou moins pur. La production de la ressource primaire devient alors incontrôlable, et la GP passe par au moins 3 intermédiaires commerciaux avant son arrivée aux usines de transformation. Quand le produit arrive en Europe, il faut à nouveau le raffiner. À la fin des années 1800, du fait de l'abatage massif des arbres en Asie, une crise éclate. Il fallait donc trouver une autre source de GP. La découverte du *Manilkara balata*, une espèce endémique d'Amérique du Sud et membre de la famille des *Sapotaceae*, a offert une alternative capable de produire une substance proche de la gutta-percha, appelée gutta-balata. Cette dernière, produite en Amérique du Sud, coûte environ moitié moins cher, mais présente des propriétés isolantes inférieures. Seule une quantité limitée de quelques centaines de tonnes ont été produites.

Aujourd'hui, il n'y a plus beaucoup de gutta-percha naturelle dans les objets courants, nombreuses sont les applications où cette GP a été remplacées par des polymères provenant de la vulcanisation du caoutchouc ou des polymères synthétiques issus de la pétrochimie (American Gutta Percha Company, 1848 ; Beauvisage, 1884 ; Dastre, 1901 ; Prakash et coll., 2005 ; Belsare et coll., 2015 ; Newland, 2023).



## 1.2. Composition chimique et comportement physique

### 1.2.1. Généralités

Le composé coagulant présent dans le latex du *palaquium gutta* est l'isomère 1-4 trans-polyisoprène. Il confère à la GP ses propriétés plastiques et thermo-liquéfiables appréciées lors des obturations canalaires en dentisterie. Sa formule brute est  $(C_5H_8)_n$ . L'isomère 1-4 cis-polyisoprène correspondant au caoutchouc possède des propriétés différentes. La chaîne 1-4 trans-polyisoprène est plus rectiligne conférant à la gutta-percha une rigidité plus grande et moins d'élasticité comparé au caoutchouc. (Figure 1)

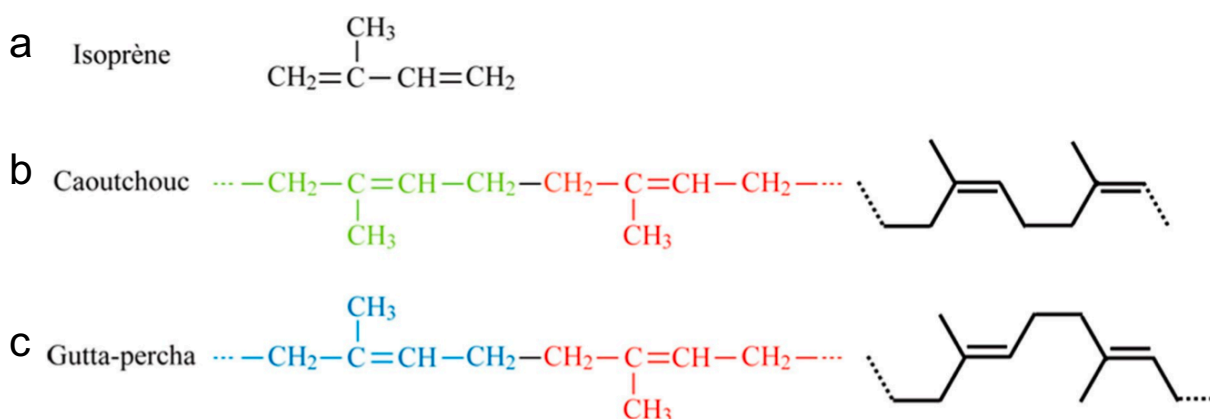


Figure 1 : Formules chimiques des isoprènes. a. formule semi développée de la molécule d'isoprène ; b. formule semi développée du caoutchouc (1-4 cis-polyisoprène) ; c. les formules semi-développées de la gutta-percha (1-4 trans-polyisoprène.)

Plusieurs études ont montré que cet isomère existe sous 3 formes différentes selon la température :

- la forme  $\alpha$ , la forme naturelle du polymère, semi-cristalline,
- la forme  $\beta$ , semi-cristalline,
- la forme  $\gamma$ , amorphe.

Ces différentes formes sont dues aux interactions de van der Waals. Elles changent entre les chaînes de molécules en fonction de la température.

Lorsque la forme  $\alpha$  est chauffée, elle se transforme en forme amorphe  $\gamma$ . Le point de fusion, où il n'y a plus de structure intermoléculaire, se situe aux alentours de  $81^\circ\text{C}$  (Flanagan et coll., 1972).

Si on refroidit rapidement les chaînes de 1-4 polyisoprène à température ambiante, on obtient la forme  $\beta$ . Si par ailleurs on refroidit les molécules de manière lente ( $-0,5^{\circ}\text{C/h}$ ), on retrouve une forme  $\alpha$ . Au-delà de  $130^{\circ}\text{C}$ , il y a endommagement des chaînes moléculaires (*Figure 2*).

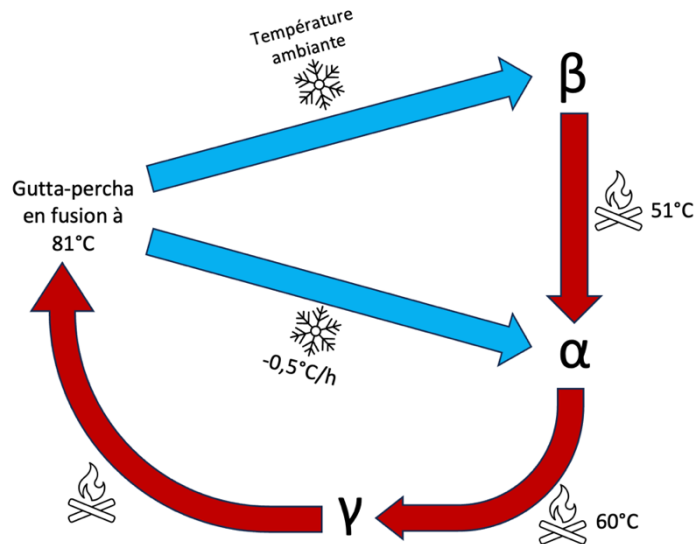


Figure 2 : Schéma du changement de phase de la gutta-percha (d'après Flanagan et coll., 1972)

Les températures de changement de phase sont approximatives car elles diffèrent en fonction du poids moléculaire des chaînes (plus ou moins longues), du degré de cristallinité de la phase concernée et de la pureté du matériau.

Il y a peu de différences mécaniques entre  $\alpha$  et  $\beta$  mais il y a des différences au niveau des propriétés thermiques et volumétriques, lesquelles sont mises à profit dans les différents matériaux d'obturation radiculaire.

### 1.2.2. Concernant les spécialités retrouvées sur le marché dentaire

Concernant les préparations commerciales à base de gutta-percha, les cônes habituellement utilisés sont faits avec de la gutta-percha en phase  $\beta$  associé à d'autres composés ajoutés par les industriels (*Tableau 1*). Concernant les systèmes à tuteur type Thermafill®, ils utilisent de la gutta-percha sous forme  $\alpha$ .

Plus il y a de gutta-percha et d'oxyde de zinc dans les cônes plus leur flexibilité diminue.

Les industriels ne donnent jamais totalement les compositions de leurs cônes, ils sont déduits à partir de multiples études à leurs propos (Tableau 1).

| Gutta-Percha | Sulfate de Baryum | Oxyde de Zinc | Cires et/ou résines | Érythrosine | Autres...                                                                |
|--------------|-------------------|---------------|---------------------|-------------|--------------------------------------------------------------------------|
| 14,5-24%     | 0-30%             | 57-84%        | 0-3,1%              | (colorant)  | Chlorhexidine, iodoforme, Hydroxyde de calcium (composés antibactériens) |

Tableau 1 : Liste des composés contenus dans les cônes de gutta-percha du commerce et leurs possibles pourcentage massique.

La gutta-percha utilisée dans les cônes de GP n'est plus naturelle depuis longtemps et ce principalement afin de limiter les risques d'allergie causée par des résidus potentiels de latex (Costa et coll., 2001). Kuraray®, une entreprise japonaise, serait un acteur majeur concernant la production de polyisoprène de synthèse, voire le leader mondial. La matière première serait livrée aux industriels sous forme de pellets ou de granulés de 1-4 trans-polyisoprène (=GP) (Combe et coll., 2001). De plus, la qualité du polyisoprène de synthèse étant constante, cela permet une meilleure reproductibilité industrielle (température de fusion, composition chimique, état de cristallisation...).

Pour être certain de la provenance, de l'authenticité et de la sécurité des produits utilisés pour la fabrication des cônes, il faut se référer aux SDS (*Safe Data Sheet*) ou aux fiches de données de sécurité des produits. Ces dernières sont souvent introuvables en ligne.

Ces fiches contiennent, généralement, les numéros CAS<sup>1</sup> des produits employés dans les préparations. Ces CAS permettent d'identifier les éléments incorporés dans les préparations et parfois les entreprises qui les produisent.

<sup>1</sup> Numéro de registre CAS® : « Le numéro de Registre CAS est un identifiant unique et sans ambiguïté qui désigne une substance spécifique et assure des communications claires. Avec l'aide des scientifiques de CAS, il permet de relier toutes les données et les recherches disponibles sur cette substance. Les organismes gouvernementaux font confiance aux numéros de Registre CAS pour identifier les substances dans les applications réglementaires, car ces numéros sont uniques, faciles à valider et mondialement reconnus. »

Par exemple :

- CAS polyisoprene : 9003-31-0 → pouvant être transformé en 1-4 trans polyisoprène, ou 1-4 cis polyisoprène (utilisé par Dentsply Sirona®)
- CAS gutta-percha naturelle : 9000-32-2
- CAS cis-polyisoprène : 104389-31-3

(Schilder et coll., 1974 ; Marciano et Michailenco, 1989 ; Marciano et coll., 1993 ; Combe et coll., 2001 ; Gurgel-Filho et coll., 2003 ; Diemer, 2005 ; Jordana et coll., 2009 ; Mefti, 2023<sup>2</sup>)

### 1.3. Procédé de fabrication

Comme mentionné précédemment, la matière première de la gutta-percha. Le 1-4 trans-polyisoprène synthétique solide (sous forme de billes) est acheté et livré aux industriels sur le lieu de production des cônes de gutta-percha. Ceci rend caduque la méthode de synthèse de la gutta-percha à partir du *palaquium gutta* présentée par Belsare et coll. en 2015.

Pour produire les cônes de GP, les industriels mettent en fusion le 1-4 transpolyisoprène à une température tenue secrète mais dont on peut supposer qu'elle avoisine les 80°C (température de fusion de la gutta-percha). Ils incorporent à la gutta-percha les éléments de la formulation à leur convenance. Le mélange passe ensuite dans un laminoir d'où sortent des plaques de gutta-percha, retransformées ensuite en petites unités (billes). Pour finir, ces billes sont refondues et misent à température de travail pour que le mélange soit transformé en cônes de GP tels que nous les connaissons.

À ce stade, il existe 3 possibilités pour fabriquer des cônes en respectant les contraintes de la norme ISO 6877 :

- Roulés à la main par des ouvriers à l'aide d'un outil tenu lui aussi secret dans sa conception.
- Roulés à l'aide de machines de manière plus automatique.

---

<sup>2</sup> Concernant cette référence, il s'agit d'entretiens en visioconférence et d'échanges avec la responsable du développement des produits d'obturation canalaire et d'irrigation chez Dentsply Sirona®

- Injectés et moulés, cette méthode donne lieu à un plan de joint sur le cône visible à l'œil nu probablement lié à la jonction entre les 2 parties du moule (Mefti, 2023).

Pour finir, les cônes sont refroidis à température ambiante (car la gutta-percha contenue à l'intérieur est sous forme  $\beta$ ) et mis en boîte. Les industriels font du « *picking* » sur leur chaîne de production et vérifient que leurs cônes de gutta-percha rentrent bien dans les critères de la norme ISO 6877.

La plupart des unités de production à travers le monde semble produire des cônes roulés à la main. Rares sont les unités à injecter-mouler leurs cônes. Par exemple, la société Dentsply Sirona®, pour la production de ses cônes haut de gamme, les ConformFit™, utilise un procédé de d'injection. Ils affirment obtenir une précision du diamètre de pointe à 0,03mm près.

## **1.4. Standardisation/norme ISO**

### **1.4.1. Dispositif médical**

Les cônes de gutta-percha font partie de la catégorie des dispositifs médicaux car utilisés à des fins de « prévention [...], traitement ou atténuation d'une maladie », « remplacement ou modification d'une structure ou fonction anatomique », « et dont l'action principale voulue dans ou sur le corps humain n'est pas obtenue par des moyens pharmacologiques ou immunologiques ni par métabolisme » (ANSM : Agence nationale de sécurité du médicament).

Ils font partie de la sous-catégorie IIa des dispositifs médicaux, correspondant au deuxième niveau de risque (ANSM, 2021). Ils font l'objet d'une communication auprès de l'ANSM lors de leur mise sur le marché français. Un organisme habilité indépendant (dit notifié) intervient dans le processus de marquage CE. Il évalue la conformité du dispositif et le système qualité du fabricant et délivre, en cas d'évaluation satisfaisante, un certificat de conformité permettant au fabricant d'apposer le marquage CE sur son dispositif. Le marquage CE a une durée de validité limitée. La pertinence de la documentation technique et l'organisation du fabricant doivent faire l'objet de nouvelles évaluations périodiques par l'organisme notifié (ANSM, 2021).

### 1.4.2. Marquages de provenance

Parmi les obligations légales concernant le matériel médical, le logo  doit être estampillé sur la boîte des cônes ou sur la notice. Cette marque renseigne l'entreprise responsable du produit auquel est associé son siège social mais elle ne renseigne pas sur le lieu de production des objets, malgré le nom du symbole : « Manufacturer ».

Par exemple, le marquage « manufacturer » de Kerr ne signifie pas que les cônes sont produits dans une usine aux Etats-Unis (Figure 3). Il est marqué sur la boîte de cônes « Made in Vietnam ».



*Figure 3 : Exemple de marque « manufacturer ». Image tirée de la notice des cônes de gutta-percha indiquant l'adresse de l'entreprise responsable de la commercialisation des cônes de GP : Kerr®.*

Il est donc difficile de connaître les lieux exacts de production des cônes. Certains lieux de production fournissent le même produit à différentes marques. Ceux-ci seront estampillés au nom de la marque demandeuse. Exemple de l'entreprise Sure Dent Corporation® basée en Corée du Sud qui produit des cônes pour les marques Steriblu®<sup>®</sup>, PD Dental®<sup>®</sup>, Septodont®<sup>®</sup> et Komet®<sup>®</sup>.

### 1.4.3. Norme ISO 6877 : matériaux d'obturation endodontique

L'Organisation Internationale de Normalisation (ISO) est une organisation non gouvernementale indépendante. Depuis 1947, son but est de proposer des normes d'excellence, fiables, pour des produits et des services, dans lesquels tout le monde peut avoir confiance. Elles servent de références pour définir les meilleures pratiques à suivre, de la fabrication des biens aux processus de gestion (ISO, 2024).

La dernière révision de la norme ISO 6877 est relativement récente (2021), elle régit la qualité requise pour les matériaux d'obturation endodontiques et notamment des cônes de gutta-percha. Elle donne, entre autres, la tolérance du diamètre de pointe des cônes à respecter par les fabricants voulant estampiller leurs cônes de la norme ISO.

Pour les cônes de 0,08mm à 0,25mm, la tolérance est de 0,05mm de diamètre à 3mm et 16mm. Pour les cônes de 0,30mm à 1,40mm, la tolérance est de 0,07mm de diamètre à 3mm et 16mm

Ainsi, si on étend cette tolérance au diamètre de pointe, un cône donné en 0,25mm, pourrait donc être en réalité en 0,20mm ou en 0,30mm de diamètre. De même, un cône en 0,30mm pourrait être en 0,23mm ou en 0,37mm de diamètre à la pointe.

La norme précise aussi que la conception de la forme exacte de la pointe est laissée libre au fabricant. Ci-dessous, des exemples de morphologies de pointes acceptables selon la norme ISO 6877 (figure 4).

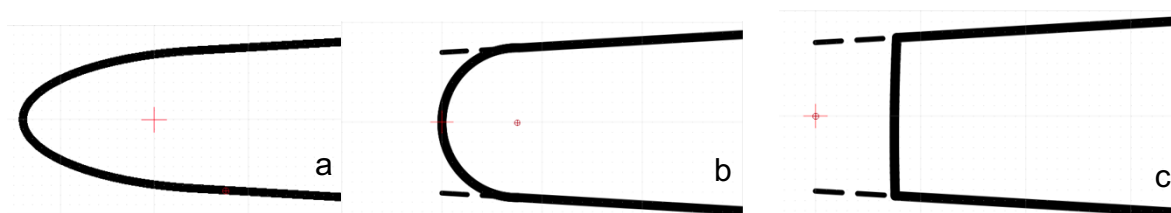


Figure 4 : Schématisation de différentes morphologies tolérées de pointes de cônes de GP. a. pointe en d'ogive, b. pointe en demi-sphère, c. pointe en méplat.

La norme comprend aussi un protocole de vérification de la conformité des cônes. La majorité des études actuelles à propos du diamètre de pointe des cônes de gutta-percha utilisent ce protocole ou un dérivé pour leurs travaux.

## Essentiel du protocole de vérification de la conformité des cônes de GP selon la norme ISO 6877

Choisir 10 cônes aléatoirement. Si les 10 cônes passent les tests, le produit est conforme à la norme ISO 6877. Si huit cônes ou moins réussissent, le produit échoue. Si neuf cônes sont conformes, tester 10 cônes supplémentaires. Les 10 cônes doivent passer les tests pour que le produit soit conforme.

Le protocole de conformité se réalise en 3 étapes :

- Étape 1 : inspection visuelle sans aide optique des cônes. Les cônes de GP doivent être lisses et uniformes, exempts de matière étrangère.
- Étape 2 : la boîte des cônes doit être conforme aux symboles des dispositifs médicaux, respecter la norme ISO 15223-1.
- Étape 3 : contrôles des dimensions pour vérifier que les cônes se situent bien dans les normes précisées précédemment.

Pour cela, il est précisé que les mesures doivent s'effectuer avec un outil ayant une précision de 0,01mm soit 10µm.

La norme prévoit de mesurer les diamètres en d3, soit à 3mm de la pointe et en d16 (16mm de la pointe) (Figure 5).

La conicité générale (T) est ensuite déduite grâce à la formule suivante :

$$T = 100 \times (d16 - d3) / 13 \text{ (Figure 5).}$$

Le diamètre de pointe D0 est ainsi déduit de d3 et de la conicité entre d3 et

d16 (T) par la formule suivante :  **$D0 = d3 - 3T/100$**  (Figure 5).

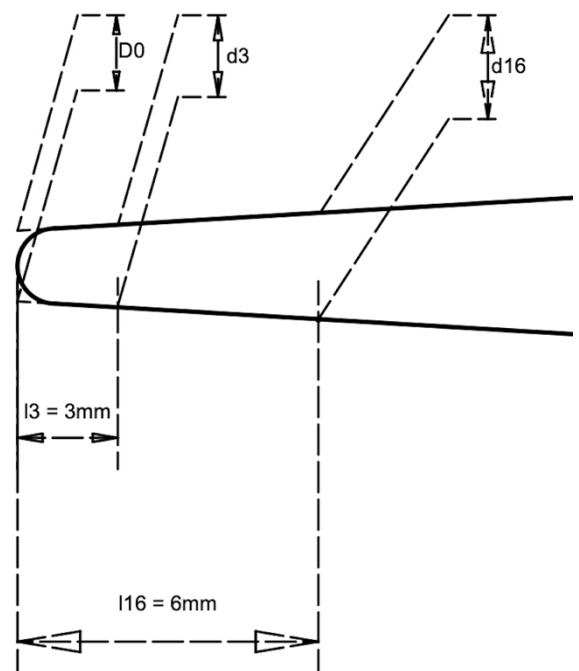


Figure 5 : Schématisation d'un cône de GP avec les mesures nécessaires dans le protocole de la norme ISO 6877.

Les tests doivent être réalisés dans une pièce à 23± 2°C et avec une hygrométrie de 50% ± 20%. Les cônes doivent y être entreposés 1h avant le début des mesures.



La norme ISO 6877 permet de déduire le diamètre de pointe basé sur la mesure du diamètre en d3 et de la conicité générale du cône entre d3 et d16.

Cette norme, présume donc que la conicité entre D0 et d3 est la même qu'entre d3 et d16, alors qu'elle pourrait être différente. De plus, la conicité à l'intérieur de ces intervalles pourrait être localement aussi fluctuante.

#### **1.4.4. Contrôle des normes**

Les organismes notifiés (ON) audient régulièrement les dossiers techniques et le système de contrôle qualité des entreprises fournissant du matériel médical. Le dossier technique comporte des analyses de risques, les étiquetages du produit, des tests de biocompatibilité et des tests de performance. Dans le cadre des tests de performance, les laboratoires des entreprises font des tests de qualité, produisant un rapport permettant de justifier la conformité à la norme ISO 6877 auprès de l'ON. Les ON ne font pas directement le contrôle qualité des produits, ils audient l'entreprise pour obtenir des preuves que le produit est conforme.

Les ON analysent les liens de l'entreprise avec ses sous-traitants afin de s'assurer de la qualité et de la sécurité de ceux-ci. Ils s'intéressent aussi aux procédés de fabrication, aux feuilles d'inspections, à la validation des moyens de mesure et à la bonne formation des opérateurs. Les entreprises déclarent être conformes à des standards (marquage CE, norme ISO...). Quand toutes les vérifications de conformité et de bonne foi sont effectuées par l'ON, il certifie le dossier technique du produit et l'entreprise par le marquage « CE ». Le produit peut alors rester sur le marché Européen (Mefti, 2023).

### **1.5. Application à l'endodontie**

La gutta-percha, dès sa découverte, a été appliquée à la dentisterie. Elle est utilisée au début comme moyen de compression hémostatique lors d'avulsions dentaires. En 1848, Hill développe le « *Hill's stoping* », un matériau de restauration temporaire à base de gutta-percha, de chaux et de quartz.

En 1867, le Dr. Bowman est le premier à utiliser la gutta-percha comme moyen d'obturation canalaire. En 1887 l'entreprise SS White, est la première à commercialiser

des pointes de gutta-percha. En 1893, le Dr. Rollins utilise de la gutta-percha avec de l'oxyde de mercure pour obturer les canaux dentaires. En 1914, Callhan utilise une solution de colophanes pour ramollir puis dissoudre les cônes de gutta-percha pour favoriser leur capacité de scellement et de diffusion au sein des canalicules dentinaires. En 1928, les premiers bourre-pâtes permettent de remplir les canaux de ciment. En 1948, la gutta-percha devient le matériau de référence pour une bonne étanchéité canalaire. En 1976, les premières normes pour standardiser les cônes de gutta-percha naissent : ISO et ANSI. Depuis 1977 la recherche tend vers la thermo-plastification de la gutta-percha pour remplir au mieux les canaux radiculaires (Prakash et coll., 2005 ; Bansode et coll., 2018) (Figure 6).



Figure 6 : Chronologie des points clés de l'utilisation de la gutta-percha en dentisterie.

## 2. Calibrage du diamètre apical

Pour que la recherche effectuée dans cette thèse ait un intérêt, il faut que le praticien soit sensibilisé au calibrage du diamètre apical de ses préparations canalaires afin de ne pas sur- ou sous-obturer son canal radiculaire.

### 2.1. Technique de calibrage du diamètre apical

Selon Trope et Debelian en 2007, il s'agit de trouver le meilleur instrument pour travailler le dernier tiers apical, aussi large que possible, sans endommager ou dépasser la longueur de travail (Debelian et coll., 2007).

Ci-dessous, une proposition de technique pour réaliser le jaugeage du diamètre apical.

Prérequis :

- Avoir déterminé la longueur de travail,
- Avoir préparé, à l'aide de limes endodontiques son canal à la longueur de travail.

Processus :

- Pré-courber une lime manuelle H en fonction de la courbure du canal. Cette lime H doit être du même diamètre que la dernière lime de préparation utilisée dans le canal.  
Le choix d'une lime H par rapport à une lime K est motivé par la section de coupe de cette lime. La lime H ayant une section de coupe ronde s'arrêtera à l'apex de manière plus nette qu'une K de section généralement quadrangulaire.
- Insérer la lime jusqu'à la LT puis y raccorder l'électrode du localisateur d'apex. Appuyer sur la lime assez fermement.
  - Cas 1 : la lime s'arrête à la longueur de travail. Le diamètre de pointe de la lime correspond au diamètre apical de la préparation canalinaire et donc au diamètre de pointe du maitre-cône.

- Cas 2 : la lime dépasse l'apex. Il faut choisir une lime d'un diamètre supérieur et réitérer l'opération
- Cas 3 : la lime bloque et ne va pas jusqu'à la longueur de travail. Il faut reprendre la mise en forme et réitérer l'opération.

## **2.2. Intérêt de la calibration apicale en endodontie**

L'idée est de faire concorder au mieux le diamètre apical finale du canal et le diamètre de pointe du maitre-cône afin de permettre une obturation étanche au niveau apical et ce, sans dépassement ni excès de ciment.

L'endodontie moderne, après s'être intéressé à la longueur de travail, a introduit la notion de largeur de travail qui est d'une importance capitale. Jou et coll. en 2004 ont rassemblé les différentes études au sujet du diamètre des foramens apicaux et mettent en lumière plusieurs problèmes :

- Les foramens, selon les catégories de dents, sont de diamètres différents.
- Les foramens sont, selon les dents, de formes différentes et parfois de formes complexes.

Il est difficile, voire impossible à l'heure actuelle pour le clinicien de déterminer précisément le diamètre apical exact d'une dent. Il existe donc un risque d'échec endodontique, indépendant du clinicien (Figure 7).

Dans leur article, Jou et coll. en 2004 ont fait la synthèse des études concernant le diamètre apical réel des différentes dents. Cela permet de proposer un diamètre minimal de préparation apicale en fonction des différentes dents (Tableau 2).

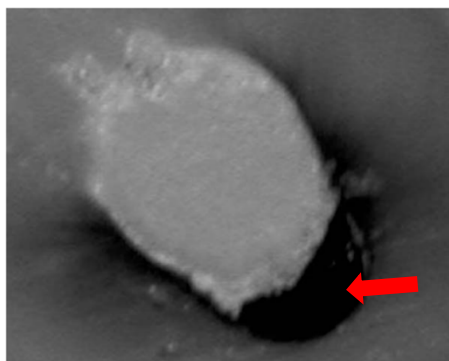


Figure 7 : Image de coupe d'une obturation canalaire sur laquelle on peut voir un volume non obturé causant un échec de traitement endodontique (Jou et coll ; 2004) .

| Tooth            | Author and references |               |                          |            |
|------------------|-----------------------|---------------|--------------------------|------------|
|                  | Grossman [17]         | Tronstad [20] | Glickman and Dumsha [19] | Weine [21] |
| Maxillary        |                       |               |                          |            |
| Centrals         | 80–90                 | 70–90         | 35–60                    | 3 sizes    |
| Laterals         | 70–80                 | 60–80         | 25–40                    | 3 sizes    |
| Canines          | 60–60                 | 50–70         | 30–50                    | 3 sizes    |
| First premolars  | 30–40                 | 35–90         | 25–40                    | 3 sizes    |
| Second premolars | 50–55                 | 35–90         | 25–40                    | 3 sizes    |
| Molars           | 30–55–50              |               |                          | 3 sizes    |
| MB/DB            |                       | 35–60         | 25–40                    | 3 sizes    |
| P                |                       | 80–100        | 25–50                    | 3 sizes    |
| Mandibular       |                       |               |                          |            |
| Centrals         | 40–50                 | 35–70         | 25–40                    | 3 sizes    |
| Laterals         | 40–50                 | 35–70         | 25–40                    | 3 sizes    |
| Canines          | 50–55                 | 50–70         | 30–50                    | 3 sizes    |
| First premolars  | 30–40                 | 35–70         | 30–50                    | 3 sizes    |
| Second premolars | 50–55                 | 35–70         | 30–50                    | 3 sizes    |
| Molars           | 30–55–50              |               |                          | 3 sizes    |
| MB/ML            |                       | 35–45         | 25–40                    | 3 sizes    |
| D                |                       | 40–80         | 25–50                    | 3 sizes    |

Tableau 2 : Tableau regroupant les diamètres apicaux anatomiques de différentes dents en centième de mm (Jou et coll., 2004)

Il est intéressant de connaître les statistiques pour la prise de décision mais la technique de calibration apicale est à ce jour probablement l'unique méthode pour se rapprocher au plus près de la réalité anatomique du foramen.

## 2.3 Intérêt du cône d'arrêt

Le cône d'arrêt correspond à une forme donnée à la préparation canalaire à la longueur de travail afin d'asseoir l'obturation.

Il existe deux écoles concernant le « stop apical » (Pertot et Pommel, 2020) :

- La « scandinave » préconisant une « boîte apicale » en augmentant de 3 tailles de limes la préparation apicale par rapport à la mesure initiale
- La « schilderienne » préconisant un cône d'arrêt en forme d'entonnoir en laissant le foramen apical le plus étroit possible tout en augmentant la conicité de la préparation (figure 8).

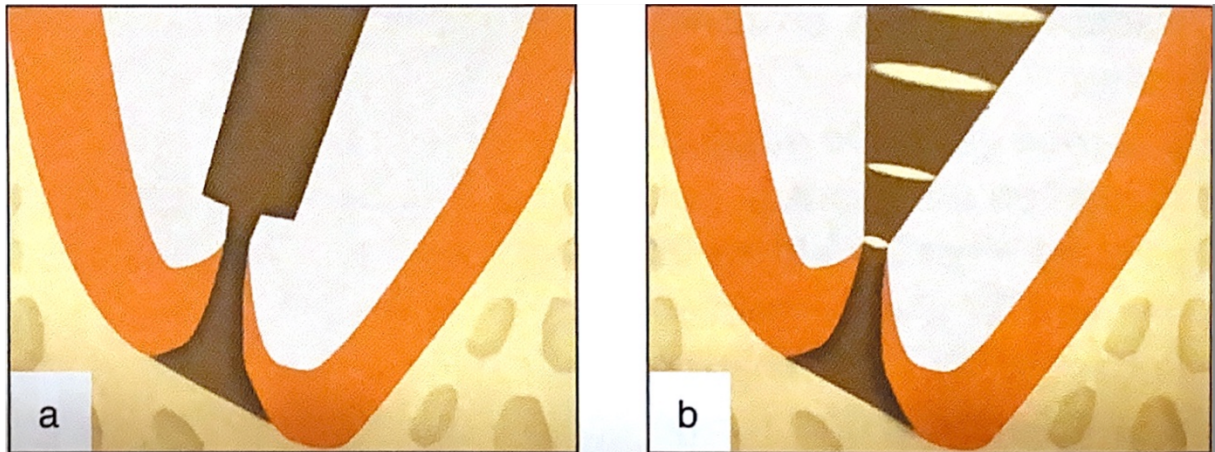


Figure 8 : Schéma correspondant aux deux écoles de « stop apicaux ». a. selon l'école Scandinave ; b. selon l'école Schilderienne (Pertot et Pommel, 2020).

La notion de « cône d'arrêt » se rapporte à la technique Schilderienne. Les 2 techniques sont un peu différentes mais leur objectif reste le même : asseoir et contenir le matériau d'obturation au sein du canal préalablement mis en forme.

Dans le cas où le stop apical n'est pas obtenu, il existe un risque élevé d'extrusion de matériau d'obturation. En règle générale, l'extrusion de matériau d'obturation ne conduit pas à un échec, car l'étanchéité apicale est obtenue (Pertot et Pommel, 2020).

Toutefois, il existe des situations d'extrusions pouvant entraîner des conséquences délétères pour le patient :

- Dans le cas de certaines racines vestibulées « perçant » la corticale osseuse, l'extrusion de matériau peut entraîner des douleurs post-opératoires persistantes conduisant à un échec endodontique. La solution chirurgicale est souvent nécessaire à la résolution (Pertot et Pommel, 2020).
- Au maxillaire, une extrusion de matériau dans le sinus peut avoir un retentissement sur la santé générale du patient. Il peut s'agir d'une réaction à un corps étranger, d'un blocage de l'aération sinusienne si le méat est bouché par le matériau et/ou d'un développement infectieux (sinusites unilatérales, aspergilloses). Des solutions chirurgicales invasives sont mises en œuvre pour résoudre ces problèmes (De Nuncques et coll., 2008 ; Psillas et coll., 2021).
- À la mandibule, le nerf alvéolaire inférieur est un enjeu majeur. En cas d'extrusion de matériaux d'obturation à son contact, il peut y avoir des effets délétères entraînant des douleurs et des paresthésies chez le patient. Une intervention chirurgicale rapide et invasive (débridement, irrigation, décompression de nerf, par décorticalisation latérale de la mandibule) est généralement nécessaire. La résolution est bien souvent incertaine (Pogrel, 2007 ; Pertot et Pommel, 2020).

Un « stop apical » adéquat est donc essentiel pour une obturation canalaire sécurisée.



### 3. Calibrage du maître-cône de gutta-percha

#### 3.1. Technique de calibrage du cône de gutta-percha

Le calibrage du diamètre de pointe du maître-cône de gutta-percha est dépendant de la mise en forme apicale effectuée et donc du diamètre final de la préparation.

Du fait de l'imprécision apicale des cônes de GP, il est conseillé de les vérifier systématiquement à l'aide d'une règlette endodontique ou règlette de calibration (Figures 9, 10 et 11). Pour plus de sécurité, le choix d'un cône de GP d'un diamètre inférieur au diamètre apical de préparation secondairement recalibré à l'aide d'une règlette au diamètre exact apparaît comme une technique fiable et reproductible.

Exemple : si le diamètre apical après préparation est défini à 30/100 de mm, le praticien pourra choisir un cône de 25/100 qu'il recalibrera en 30/100 à l'aide de la règlette.

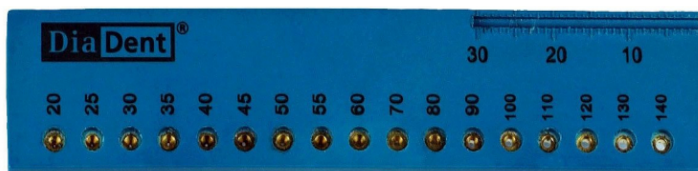


Figure 9 : Règlette calibrante DiaDent®

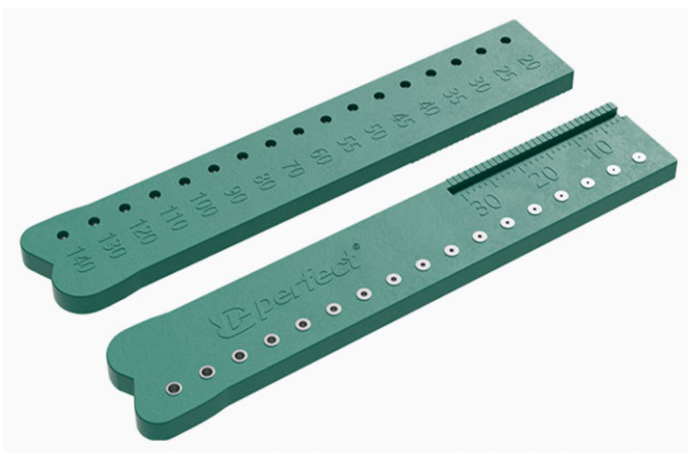


Figure 10 : Règlette calibrante Perfect®



Figure 11 : Règlette calibrante Dentsply Maillefer®

Le cône est inséré dans la jauge du diamètre souhaité et la partie émergente est sectionnée à l'aide d'une lame de bistouri (Figure 12).



Figure 12 : Photographie des étapes de calibrage d'un maître-cône de GP. a. disposition du cône de GP dans la jauge correspondant au diamètre de pointe voulu. b. découpe de la pointe du cône au ras de la partie métallique.

Il est très important d'utiliser une lame de bistouri ou de rasoir la plus tranchante possible, pour obtenir la coupe la plus nette possible. Les ciseaux sont à proscrire ainsi que tous les instruments qui auront tendance à écraser la pointe du cône lors de la coupe (Lopes et coll., 2000). Il est même conseillé de recouper la pointe du cône sur une surface plane et dure après calibration dans la réglette (Lopes et coll., 2000) (Figure 13).

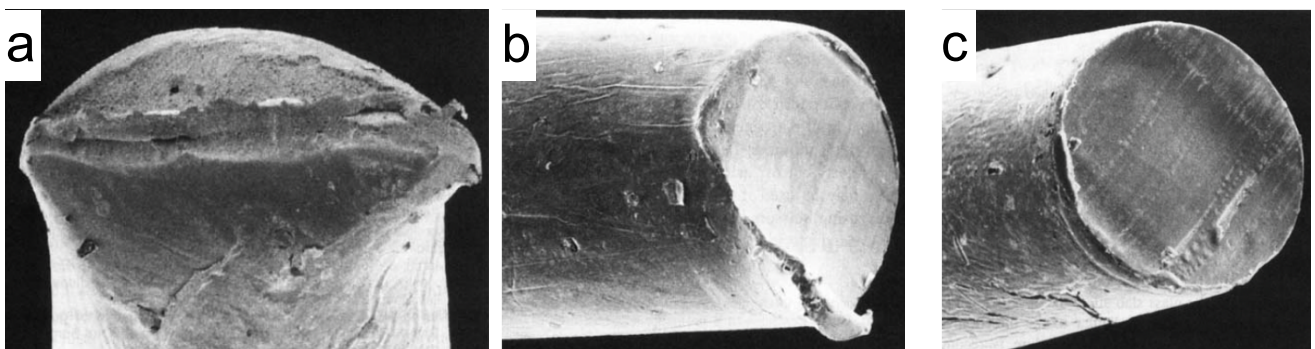


Figure 13 : Images en microscopie à balayage (x250) montrant l'état de la pointe de cônes de GP après coupe. a. coupe aux ciseaux, b. coupe à la lame de rasoir à l'aide de la réglette calibrante, c. seconde coupe à la lame de rasoir sur une surface régulière (Lopes et coll. 2000).

Après la coupe du maitre-cône au bon diamètre, il faudra contrôler cliniquement la présence d'une friction au retrait (*tug-back*) et radiographiquement sa parfaite adaptation. Il conviendra d'observer des moyens de désinfection adéquats pour le maitre-cône avant obturation.

Il est de plus conseillé de marquer le cône de gutta-percha à la LT, à l'aide d'une paire de précelles par exemple, afin de s'assurer de son bon positionnement lors de l'obturation



Figure 14 : Photographie d'un marquage de cône de gutta-percha avec une paire de précelles

### **3.2. Intérêt de la calibration du cône de gutta-percha**

Le calibrage apical permet l'obtention d'une parfaite adaptation de la pointe du cône à la préparation canalaire favorisant ainsi la création un joint de ciment endodontique fin, garant d'une bonne étanchéité.

Dans toutes les techniques actuelles d'obturation, la gutta-percha n'est pas simplement déposée dans le canal à obturer, elle y est également mise en pression.

Si le diamètre de la pointe du maitre-cône de gutta-percha est trop faible, le cône risque d'être poussé au sein du péri-apex. À l'inverse, si cette pointe a un diamètre trop élevé, le maitre-cône bloquera avant d'atteindre la longueur de travail, laissant ainsi un espace non obturé ou seulement obturé par du ciment potentiellement résorbable.

La correspondance du diamètre apical de la préparation avec le diamètre apical du cône de GP apparaît donc comme un impératif à la réussite du TE.

## 4. Étude profilométrique du diamètre de pointe de différents cônes de gutta-percha

### 4.1. Introduction

Dans les techniques actuelles d'obturations canalaires, le maître-cône de gutta-percha a une importance capitale. Il doit s'adapter au mieux à la préparation canalair pour permettre l'obtention d'un joint de ciment de scellement le plus fin possible.

Le rôle du maître-cône est d'autant plus important dans le dernier tiers apical. Ses dimensions, sa conicité et son diamètre de pointe conditionnent la qualité de l'obturation canalair.

La sous- et la sur-obturation sont bien documentées dans la littérature et peuvent entraîner des échecs endodontiques (Schilder, 2006 ; Pogrel, 2007 ; De Nuncques and al., 2008 ; Pertot and Pommel, 2020).

Les praticiens ont donc besoin de maîtres-cônes aux dimensions connues et précises pour réaliser des obturations justes. Le but étant de « remplir autant d'espace vide que possible, de limiter les fuites de fluides tissulaires péri-apicaux et de bactéries coronaires ainsi que la croissance et le mouvement des bactéries laissées à l'intérieur du canal » (Trope and Debelian, 2007).

La norme internationale ISO 6877 (2021) dont la première version date de 1995 donne des recommandations pour les fabricants de cônes de GP. Les cônes revendiquant cette norme doivent respecter des critères de qualité stricts.

Il est intéressant de préciser que les cônes présentant un diamètre de pointe inférieur ou égale à 0,25mm ont une tolérance de  $\pm 0,05\text{mm}$ . Pour les cônes d'un diamètre supérieur à 0,25mm la tolérance est de  $\pm 0,07\text{mm}$  (ISO 6877, 2021). Cela implique une grande variabilité du diamètre de pointe par rapport aux valeurs nominales annoncées par les industriels. La norme ISO 6877 impose également un protocole de vérification du diamètre des cônes ainsi qu'un calcul de leurs conicités (cf. partie 1.4.3).

La plupart des marques font appel à des sous-traitants pour la production de leurs cônes de gutta-percha. Par exemple, Septodont®, Komet®, Produits dentaires SA®, Brasseler USA®, TotalFill® FKG®, font produire leurs cônes par la société Sure Dent Corporation® (Corée du Sud). La société Coltène® fait produire ses cônes dans une unité de production en Allemagne, alors que la société Dentsply Sirona® fait

produire la majorité de ses cônes (non Conform Fit®) dans une unité de production en Chine. Ses cônes Conform Fit® sont produits aux États-Unis et au Brésil.

3 modes de production des cônes de gutta-percha existent. Ils sont soit roulés à la main, soit roulés à l'aide de machines, soit injectés au sein de moules (Mefti, 2023).

Les objectifs principaux de cette étude sont d'une part de comparer la méthode de calcul des diamètres de pointe de cônes de GP selon le protocole ISO 6877 avec une technique de mesure directe et d'autre part, de vérifier que les cônes de GP répondent bien à la norme ISO 6877 lorsque les fabricants le prétendent. Pour réaliser cette étude, nous avons choisi différentes marques de cônes de GP disponibles sur marché en 25/.06 et 30/.04.

## 4.2. Matériel et méthode

### 4.2.1. Présentation du matériel

- Les cônes de gutta-percha

Pour réaliser cette étude, nous avons choisi différentes marques de cônes de GP en 30/.04 et 25/.06

| Marque                             | 0,25mm - 6%  | 0,30mm - 4% |
|------------------------------------|--------------|-------------|
| Komet®                             | 9016C        | 8006A       |
| Septodont®                         | 1227B        | G2319B      |
| Produits Dentaires SA®             | 0002A        | 0306E       |
| MicroMega®                         | M35752       |             |
| Roeko®                             | M54349       | M31635      |
| HyFlex®                            | M11224       | M37941      |
| Kerr®                              | 825-0625     | 825-0430    |
| Dentsply Sirona®                   | 011221       | 010623      |
| Dentsply Sirona®<br>Conform Fit®   | x            | x           |
| VDW®                               | 419855       | 425518      |
| Fanta®                             | 112230223001 | x           |
| CyberTech®                         | x            | GE2111E132  |
| R&S®                               | 010124       | 010124      |
| Brassler USA® Total Fill®<br>FKG ® | 4171H        | 5023107EU   |

Tableau 3 : Cônes de GP utilisés dans l'étude.



- Le profilomètre

L'outil de mesure utilisé est un profilomètre Sol 161® de la marque Microvu®, Windsor, California, basé sur une caméra haute résolution. Il permet de réaliser des mesures avec une précision au micron. Il possède un zoom programmable de 19,5x (6,5x optique et 3x numérique). La résolution de l'appareil est de 1 µm correspondant au critère de précision requis dans la norme ISO 6877.

Le logiciel de mesure utilisé, associé au Sol-161 est Calc®, Windsor, California. Il facilite la mesure des échantillons, la vérification des tolérances géométriques, la collecte de données de mesures et la génération de rapports.



Figure 15 : Photographie du Microvu® Sol 161® profilomètre utilisé pour l'étude.

Tout le matériel de mesure utilisé est disponible au sein de la halle technique en ingénierie dentaire à la faculté d'odontologie de Lorraine. Élaboré en collaboration avec Coltene®-MicroMega®, le centre d'essai et de certification respecte les normes ISO 17025 et 13485.

#### 4.2.2. Critères de sélection des cônes de GP

Dans chaque boîte, 10 cônes sont sélectionnés (n=10) selon les critères suivants :

- Être le plus rectiligne possible

Les cônes choisis dans les boîtes devront être les plus droits possible pour éviter au maximum une déviation sur le banc de mesure du protocole de la norme ISO 6877.

La linéarité des cônes selon plusieurs plans est évaluée avec le Sol 161 sur une ligne de papier millimétré. Idéalement, la ligne du papier millimétré doit passer par la pointe du cône et le milieu de sa « tête ».



- Présenter une surface lisse et uniforme (sans aide optique).

Chaque cône sélectionné est ensuite rangé indépendamment dans une boîte correspondant à ses caractéristiques (0,25mm-6%, ou 0,30mm-4%) et sa marque.

#### 4.2.3. Protocole expérimental selon la norme ISO 6877

Chaque cône (n=10) est disposé sur une plaquette millimétrée, en butée à la pointe pour la reproductibilité de la mesure inter-cônes. Les diamètres des cônes sont mesurés à 3mm (I3) et à 16mm (I16) sous le Sol 161 et retranscrits dans le logiciel Calc®

Toutes les mesures sont effectuées par le même opérateur.

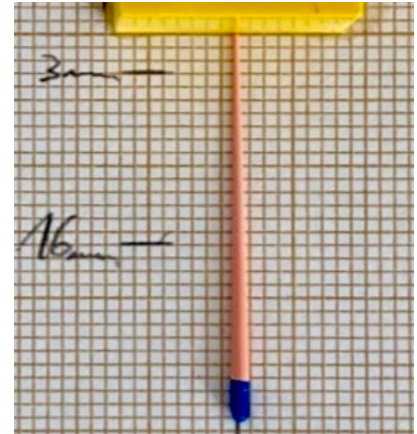


Figure 16 : Cône de gutta-percha en butée sur la plaquette millimétrée.

#### 4.2.4. Protocole expérimental mesure directe de D0

Chaque cône de gutta sélectionné (n=10) est inséré dans un bloc en résine préalablement préparé afin qu'il corresponde aux caractéristiques du cône de GP (diamètre et conicité). Ainsi, seuls les quatre premiers millimètres du cône dépassent du bloc.

Pour leur préparation, les blocs supports en résine ont été déposés sur une surface plane. Un forage orthogonal à l'aide d'un foret de Gates Glidden 1 (0,50mm) et d'un contre-angle vert a été réalisé sur toute l'épaisseur du bloc jusqu'à affleurer la sortie.

La préparation a ensuite été réalisée, toujours de manière orthogonale, à l'aide d'un moteur endodontique et d'un instrument de mise en forme canalaire en 25/.06 ou en 30/.04. L'instrument traverse l'épaisseur du bloc plus 4mm.

Deux blocs ont donc été réalisés afin de pouvoir étudier les cônes de GP en 25/.06 et en 30/.04 de face.

Le bloc est maintenu par deux pinces crocodiles fixées sur un dispositif support ajustable (Figure 17)



*Figure 17 : Photographie du dispositif pour mesurer de manière directe la pointe des cônes de gutta-percha.*

L'orthogonalité du cône par rapport à l'objectif du Microvu Sol 161®, est vérifiée grâce à un niveau placé sur la surface supérieur du bloc (Figure 18).



*Figure 18 : Photographie du niveau utilisé pour valider l'orthogonalité du bloc par rapport à l'objectif*

Les valeurs mesurées de **D0** sont rentrées dans le logiciel Calc®.

#### 4.2.5. Biais de mesure

Le biais de mesure est évalué pour chacun des protocoles par la répétition de mesures sur un même cône 30 fois afin que la distribution des résultats suive une loi normale et puisse être étendue à la population des cônes d'une même valeur nominale. Les valeurs sont arrondies au  $\mu\text{m}$  car il s'agit de la précision de mesure du Microvu Sol 161®. Cela correspond à un niveau de précision meilleur que celui requis par la norme ISO 6877.

#### 4.2.6. Statistiques

##### 4.2.6.1. Comparaison intra-marque

Les résultats obtenus avec les deux méthodes de détermination du diamètre de pointe **D0** sont analysés à l'aide des tests statistiques non-paramétriques de type Mann-Whitney pour les comparaisons deux à deux. Les résultats étaient considérés comme statistiquement significatifs pour une valeur de  $P < 0,05$ . L'ensemble des analyses statistiques sont réalisées à l'aide du logiciel GraphPad Prism® (San Diego, California, US).

##### 4.2.6.2. Comparaison inter-marques

Les résultats obtenus entre les différentes marques sont analysés à l'aide des tests statistiques non-paramétriques de type Kruskal-Wallis associés à une correction de Dunn ( $\alpha = 0,05$ ) pour les comparaisons multiples. Les résultats sont considérés comme statistiquement significatifs pour une valeur de  $P < 0,05$ . L'ensemble des analyses statistiques sont réalisées à l'aide du logiciel GraphPad Prism® (San Diego, California, US).

## 4.3. Résultats

### 4.3.1. Analyse qualitative des cônes de gutta-percha

Les images sont toutes des captures d'écran du logiciel Calc® d'images de cônes de GP vues au profilomètre Sol 161.

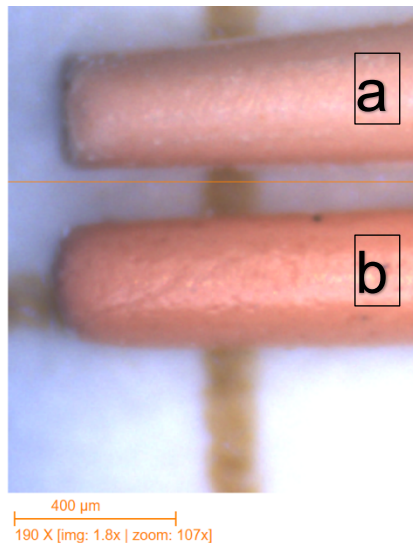


Figure 19 : Image au Sol161 de 2 pointes de cône de GP. a. pointe de cône Conform Fit® avec un méplat ; b. pointe de cône arrondie ou ovale plus classique.

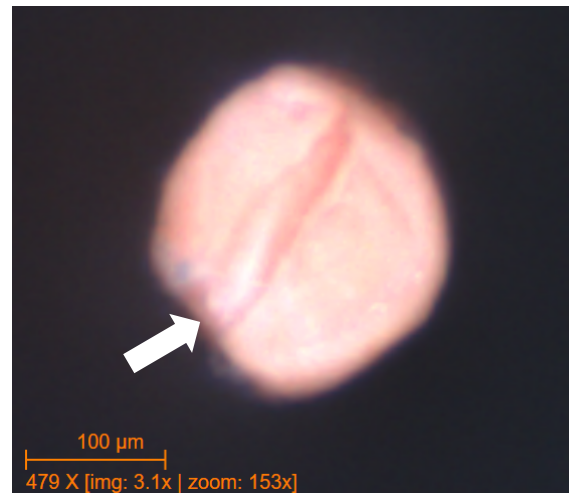


Figure 20 : Image au Sol161® d'un cône Conform fit® à méplat. On peut noter la présence d'un défaut de liaison entre les 2 parties du cône (flèche blanche).

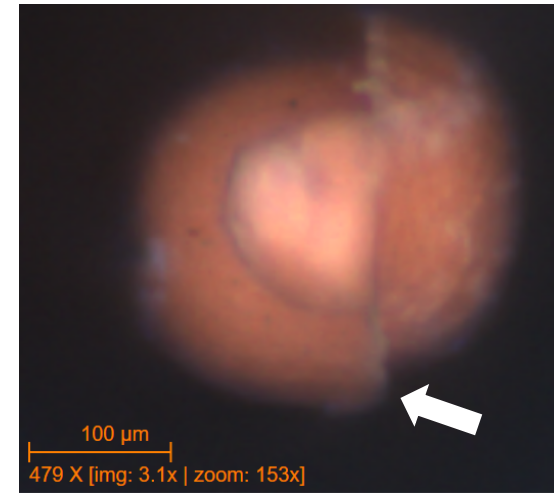


Figure 21 : Image au Sol161® d'un défaut de fabrication d'un cône Fanta 25/06. On note la présence d'un décalage entre les 2 parties du cône (flèche blanche).

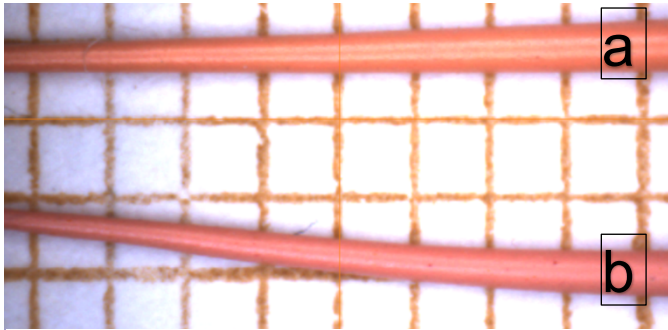


Figure 22 : Image au Sol161® de deux cônes de profil ; a. cône de GP droit, b. cône de GP courbé.

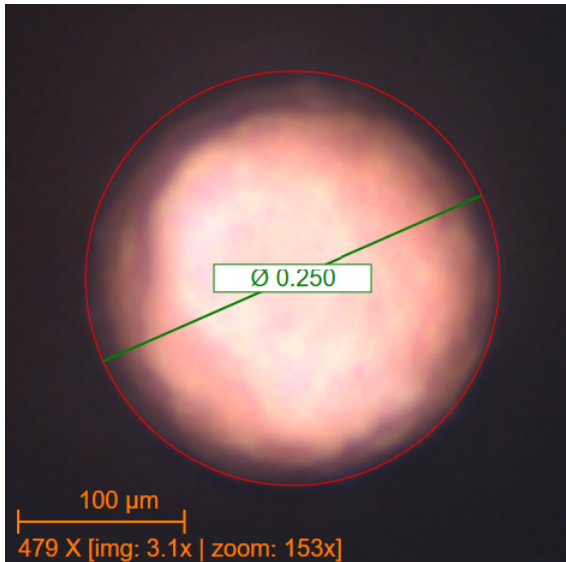


Figure 25 : Image au Sol161® d'un cône, de 0,25mm de diamètre à la pointe, vu de face dont la valeur mesurée à la pointe est également de 0,250mm.

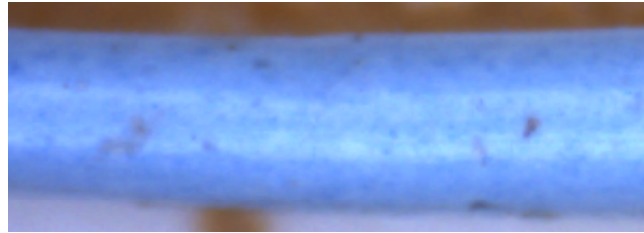


Figure 23 : Image au Sol161® d'un cône de profil présentant des taches hyper-pigmentées.

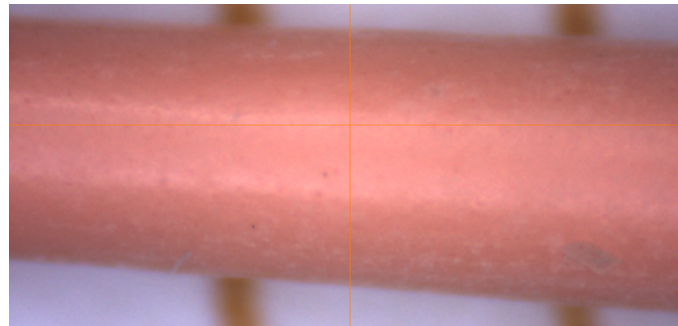


Figure 26 : Image au Sol161® d'un cône vu de profil présentant une surface d'aspect cire.

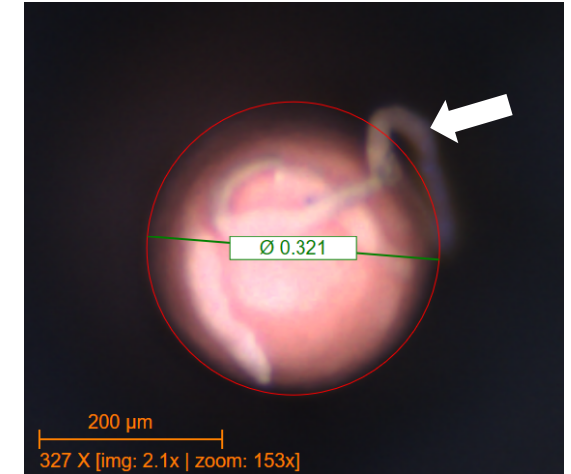


Figure 24 : Image au Sol161® d'un cône vu de face avec présence d'un filament de gutta-percha à sa pointe (flèche blanche).

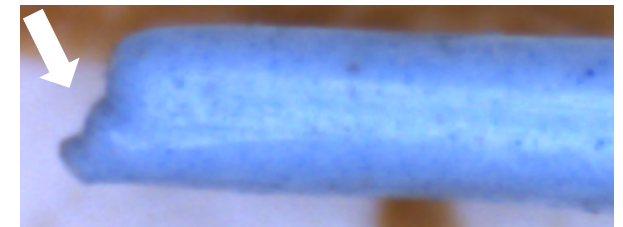


Figure 27 : Image au Sol161® d'un cône de profil présentant un défaut dimensionnel avec un design de pointe irrégulier (flèche blanche).





Figure 28 : Image au Sol161® d'un cône vu de profil présentant des rugosités de surface :



Figure 29 : Image au Sol161® d'un cône vu de profil présentant des défauts de conicité.

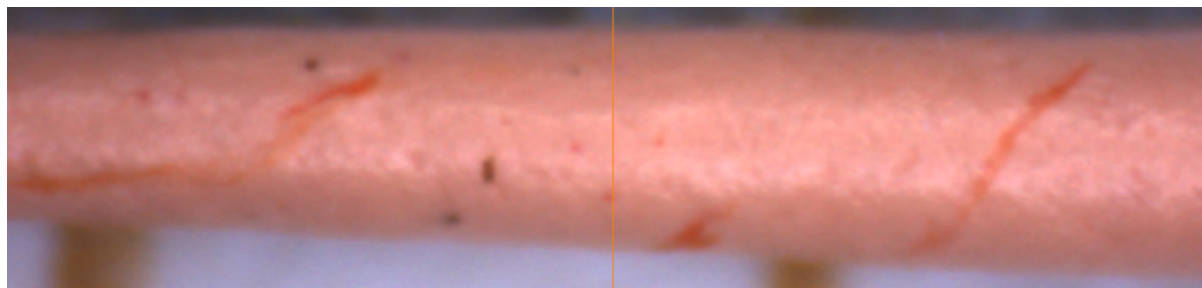


Figure 31 : Image au Sol161® d'un cône vu de profil présentant des zones hyper-pigmentées.



Figure 33 : Image au Sol161® d'un cône vu de profil présentant des déformations importantes.

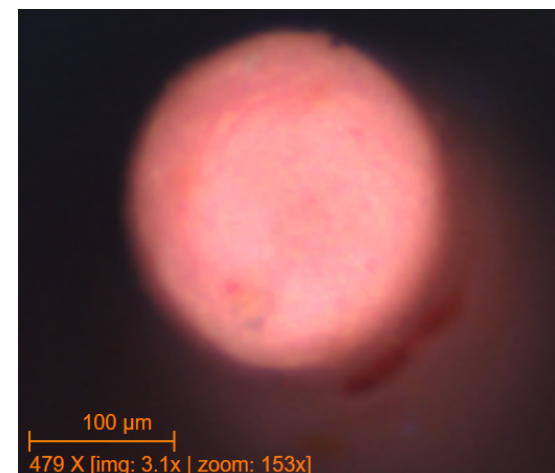


Figure 30 : Image au Sol161® d'un cône vu de face présentant une pointe de cône régulière.

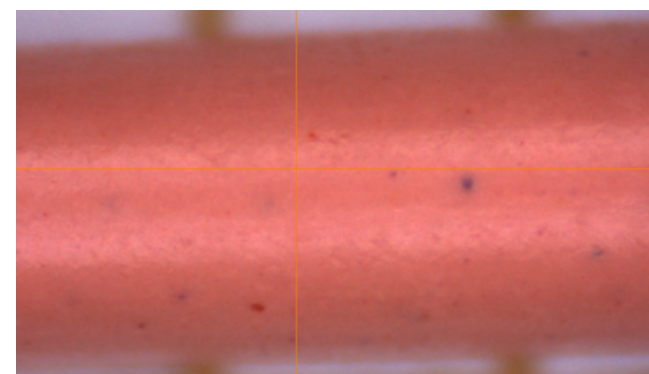


Figure 32 : Image au Sol161® d'un cône vu de profil présentant des d'impuretés en son sein.

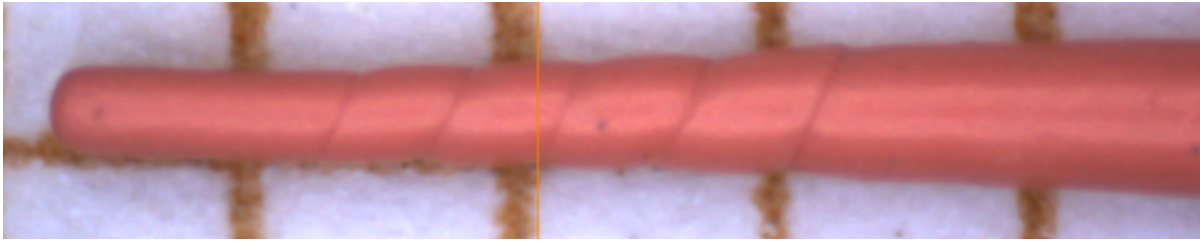


Figure 34 : Image au Sol161® d'un cône vu de profil présentant des défauts sous forme de torsades.

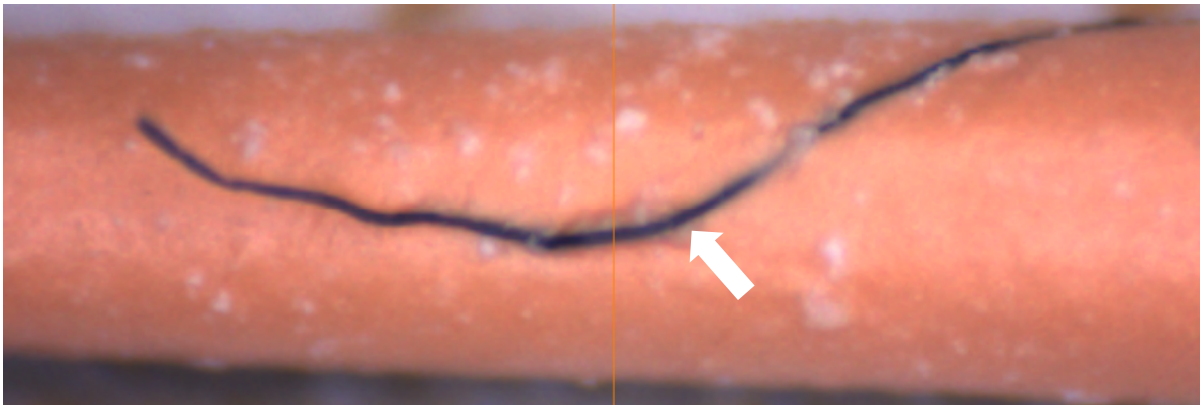


Figure 36 : Image au Sol161® d'un cône vu de profil montrant l'inclusion d'une fibre à la surface du cône de GP (flèche blanche).

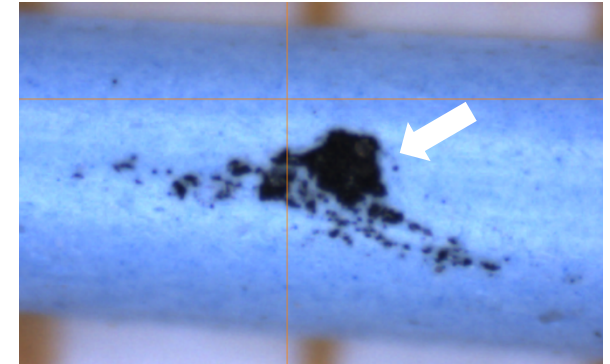


Figure 35 : Image au Sol161® d'un cône vu de profil présentant une tache hyperpigmentée (flèche blanche).

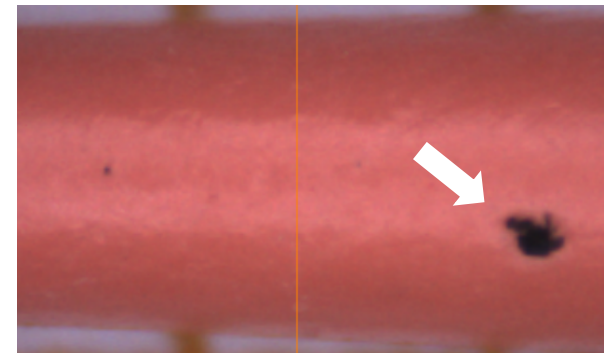


Figure 37 : : Image au Sol161® d'un cône vu de profil montrant la présence d'impuretés (flèche blanche).

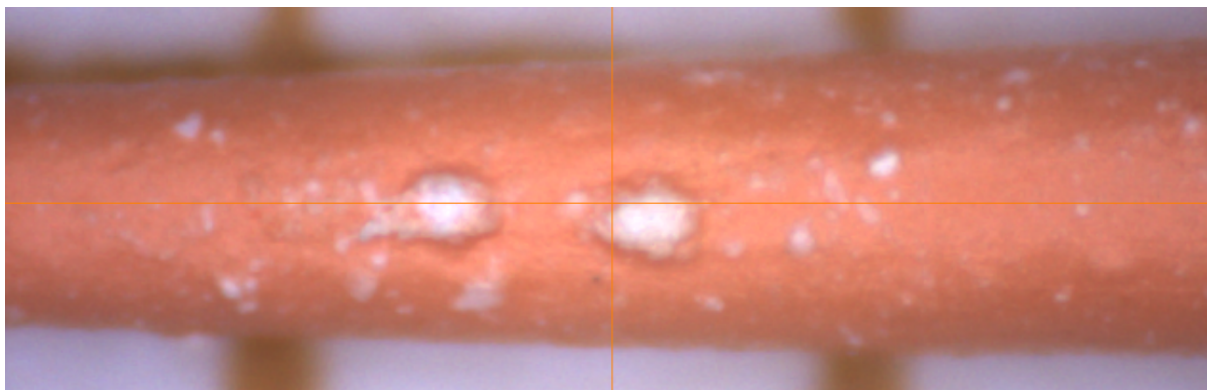


Figure 38 : Image au Sol161® d'un cône vu de profil montrant la présence de particules de silicate de calcium en surface (cônes de GP FKG).

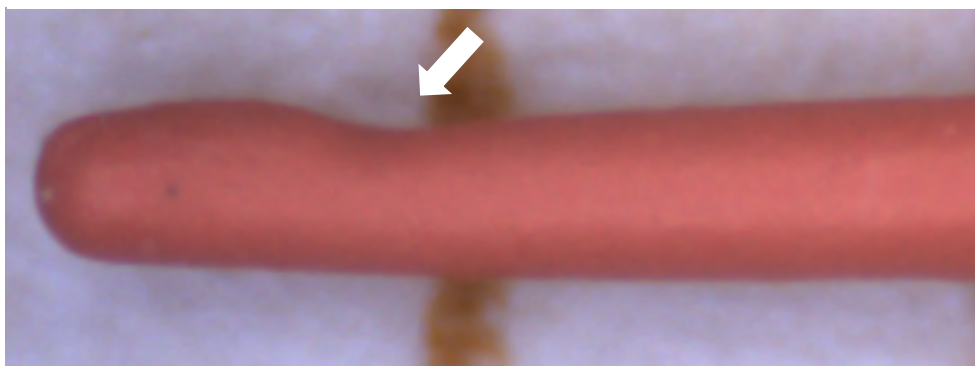


Figure 39 : Image au Sol161® d'un cône vu de profil présentant un défaut de conicité à sa pointe conicité (flèche blanche).



#### 4.3.2. Protocole norme ISO 6877

##### 4.3.2.1. Erreur de mesure

Pour chacune des deux tailles étudiées, les diamètres à 3mm et 16mm d'un cône unique ont été mesurés 30 fois pour déterminer l'erreur de mesure de D0, conformément au protocole ISO 6877. La répétition 30 fois du calcul de D0 assure que la distribution des résultats suit une loi normale, permettant ainsi d'étendre le résultat de l'erreur de mesure à toute la population des cônes d'une même taille (25/.06 et 30/.04).

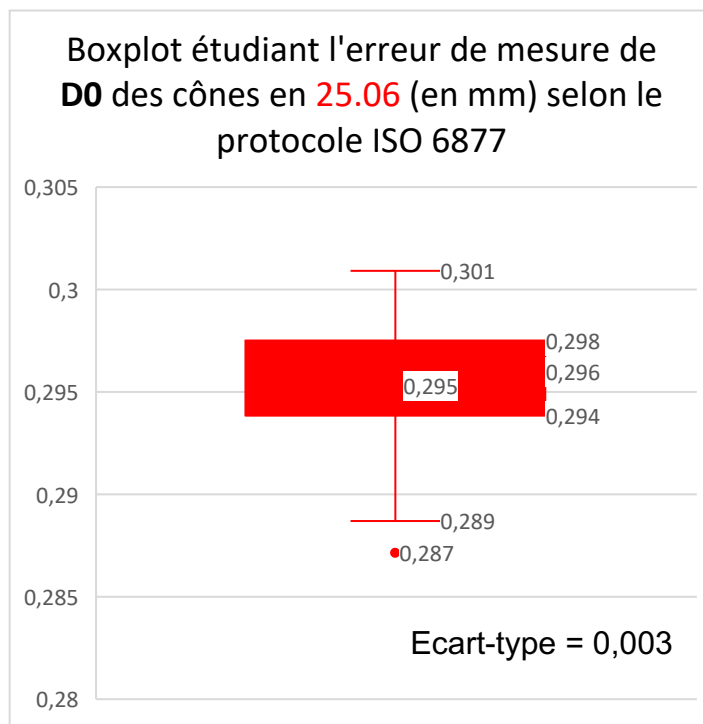


Figure 40 : Boxplot montrant l'erreur de mesure de D0 des cônes en 25/.06 selon le protocole ISO 6877.

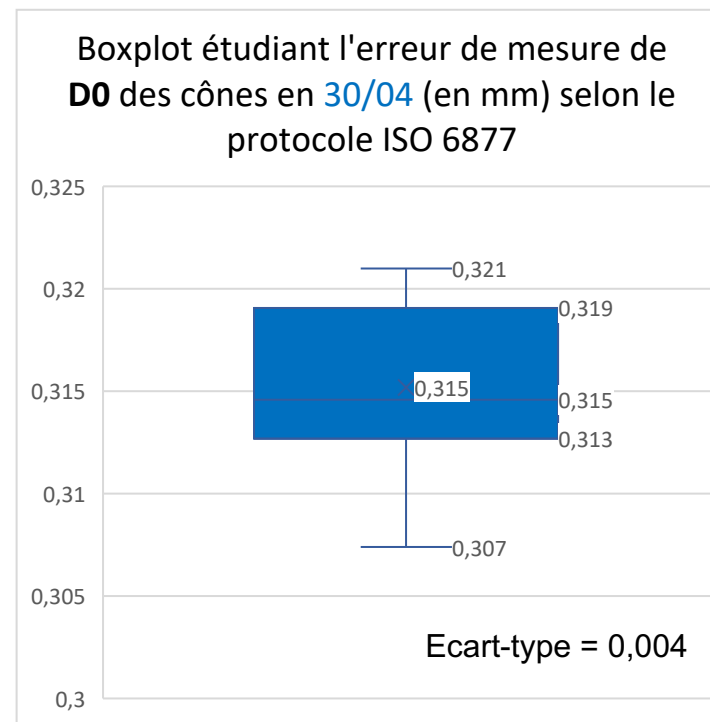


Figure 41 : Boxplot montrant l'erreur de mesure de D0 des cônes en 30/.04 selon le protocole ISO 6877.

Selon la distribution des valeurs d'erreur de mesure (Figures 40 et 41) :

- Pour un cône de GP « 25/.06 » l'erreur de mesure est de  $\pm 0,006\text{mm}$ .
- Pour un cône de GP « 30/.04 » l'erreur de mesure est de  $\pm 0,008\text{mm}$ .

L'erreur de mesure est donc inférieure à 0,010mm ce qui signifie qu'un cône mesuré autour de 0,25mm peut être en 0,24mm ou 0,26mm dû à l'erreur de mesure.

#### 4.3.2.2. Résultats de mesure de d3, d16 et calcul de D0

| Komet        | Moyenne | Ecart-T |
|--------------|---------|---------|
| <b>25/6%</b> |         |         |
| D3           | 0,442   | 0,016   |
| D16          | 1,217   | 0,028   |
| Tgen         | 0,060   | 0,002   |
| D0           | 0,263   | 0,018   |
| <b>30/4%</b> |         |         |
| D3           | 0,427   | 0,019   |
| D16          | 0,934   | 0,019   |
| Tgen         | 0,039   | 0,001   |
| D0           | 0,310   | 0,021   |

| Septodont    | Moyenne | Ecart-T |
|--------------|---------|---------|
| <b>25/6%</b> |         |         |
| D3           | 0,466   | 0,012   |
| D16          | 1,233   | 0,023   |
| Tgen         | 0,059   | 0,001   |
| D0           | 0,288   | 0,010   |
| <b>30/4%</b> |         |         |
| D3           | 0,400   | 0,011   |
| D16          | 0,925   | 0,009   |
| Tgen         | 0,040   | 0,001   |
| D0           | 0,279   | 0,013   |

| Produits Dentaires SA | Moyenne | Ecart-T |
|-----------------------|---------|---------|
| <b>25/6%</b>          |         |         |
| D3                    | 0,435   | 0,019   |
| D16                   | 1,218   | 0,027   |
| Tgen                  | 0,060   | 0,001   |
| D0                    | 0,255   | 0,019   |
| <b>30/4%</b>          |         |         |
| D3                    | 0,415   | 0,015   |
| D16                   | 0,940   | 0,020   |
| Tgen                  | 0,040   | 0,002   |
| D0                    | 0,293   | 0,017   |

| Brasseler USA TotalFill FKG | Moyenne | Ecart-T |
|-----------------------------|---------|---------|
| <b>25/6%</b>                |         |         |
| D3                          | 0,467   | 0,026   |
| D16                         | 1,237   | 0,026   |
| Tgen                        | 0,059   | 0,002   |
| D0                          | 0,290   | 0,031   |
| <b>30/4%</b>                |         |         |
| D3                          | 0,429   | 0,015   |
| D16                         | 0,947   | 0,031   |
| Tgen                        | 0,040   | 0,002   |
| D0                          | 0,310   | 0,017   |

| VDW          | Moyenne | Ecart-T |
|--------------|---------|---------|
| <b>25/6%</b> |         |         |
| D3           | 0,459   | 0,031   |
| D16          | 1,339   | 0,039   |
| Tgen         | 0,068   | 0,003   |
| D0           | 0,255   | 0,037   |
| <b>30/4%</b> |         |         |
| D3           | 0,445   | 0,038   |
| D16          | 0,974   | 0,037   |
| Tgen         | 0,041   | 0,002   |
| D0           | 0,323   | 0,040   |

| Roeko        | Moyenne | Ecart-T |
|--------------|---------|---------|
| <b>25/6%</b> |         |         |
| D3           | 0,379   | 0,013   |
| D16          | 1,160   | 0,023   |
| Tgen         | 0,060   | 0,002   |
| D0           | 0,199   | 0,015   |
| <b>30/4%</b> |         |         |
| D3           | 0,384   | 0,035   |
| D16          | 0,880   | 0,013   |
| Tgen         | 0,038   | 0,003   |
| D0           | 0,269   | 0,045   |

| HyFlex       | Moyenne | Ecart-T |
|--------------|---------|---------|
| <b>25/6%</b> |         |         |
| D3           | 0,388   | 0,018   |
| D16          | 1,169   | 0,013   |
| Tgen         | 0,060   | 0,001   |
| D0           | 0,208   | 0,019   |
| <b>30/4%</b> |         |         |
| D3           | 0,364   | 0,016   |
| D16          | 0,873   | 0,018   |
| Tgen         | 0,039   | 0,001   |
| D0           | 0,246   | 0,016   |

| Kerr         | Moyenne | Ecart-T |
|--------------|---------|---------|
| <b>25/6%</b> |         |         |
| D3           | 0,457   | 0,020   |
| D16          | 1,226   | 0,034   |
| Tgen         | 0,059   | 0,002   |
| D0           | 0,280   | 0,021   |
| <b>30/4%</b> |         |         |
| D3           | 0,425   | 0,025   |
| D16          | 0,956   | 0,015   |
| Tgen         | 0,041   | 0,002   |
| D0           | 0,302   | 0,030   |

| Dentsply Sirona | Moyenne | Ecart-T |
|-----------------|---------|---------|
| <b>25/6%</b>    |         |         |
| D3              | 0,408   | 0,026   |
| D16             | 1,228   | 0,081   |
| Tgen            | 0,063   | 0,007   |
| D0              | 0,219   | 0,038   |
| <b>30/4%</b>    |         |         |
| D3              | 0,404   | 0,025   |
| D16             | 0,863   | 0,035   |
| Tgen            | 0,035   | 0,002   |
| D0              | 0,298   | 0,024   |

| R&S          | Moyenne | Ecart-T |
|--------------|---------|---------|
| <b>25/6%</b> |         |         |
| D3           | 0,449   | 0,029   |
| D16          | 1,220   | 0,036   |
| Tgen         | 0,059   | 0,004   |
| D0           | 0,271   | 0,038   |
| <b>30/4%</b> |         |         |
| D3           | 0,401   | 0,024   |
| D16          | 0,954   | 0,027   |
| Tgen         | 0,043   | 0,002   |
| D0           | 0,273   | 0,029   |

| CyberTech    | Moyenne | Ecart-T |
|--------------|---------|---------|
| <b>30/4%</b> |         |         |
| D3           | 0,445   | 0,022   |
| D16          | 0,979   | 0,020   |
| Tgen         | 0,041   | 0,002   |
| D0           | 0,322   | 0,025   |

| Fanta        | Moyenne | Ecart-T |
|--------------|---------|---------|
| <b>25/6%</b> |         |         |
| D3           | 0,458   | 0,018   |
| D16          | 1,202   | 0,024   |
| Tgen         | 0,057   | 0,002   |
| D0           | 0,286   | 0,019   |

| MicroMega    | Moyenne | Ecart-T |
|--------------|---------|---------|
| <b>25/6%</b> |         |         |
| D3           | 0,411   | 0,013   |
| D16          | 1,169   | 0,018   |
| Tgen         | 0,058   | 0,001   |
| D0           | 0,236   | 0,013   |

Tableau 4 Tableaux des résultats de mesure de d3, d16 et calcul de D0 selon le protocole de la norme ISO 6877. Valeurs exprimées en mm.

### 4.3.3. Protocole mesure directe de D0

#### 4.3.3.1. Erreur de mesure

Pour chacune des deux tailles étudiées, le diamètre de pointe d'un cône unique a été mesuré 30 fois selon notre protocole de mesure directe pour déterminer l'erreur de mesure de D0. La répétition 30 fois de cette mesure assure que la distribution des résultats suit une loi normale, permettant ainsi d'étendre le résultat de l'erreur de mesure à toute la population des cônes d'une même taille (25/.06 et 30/.04).

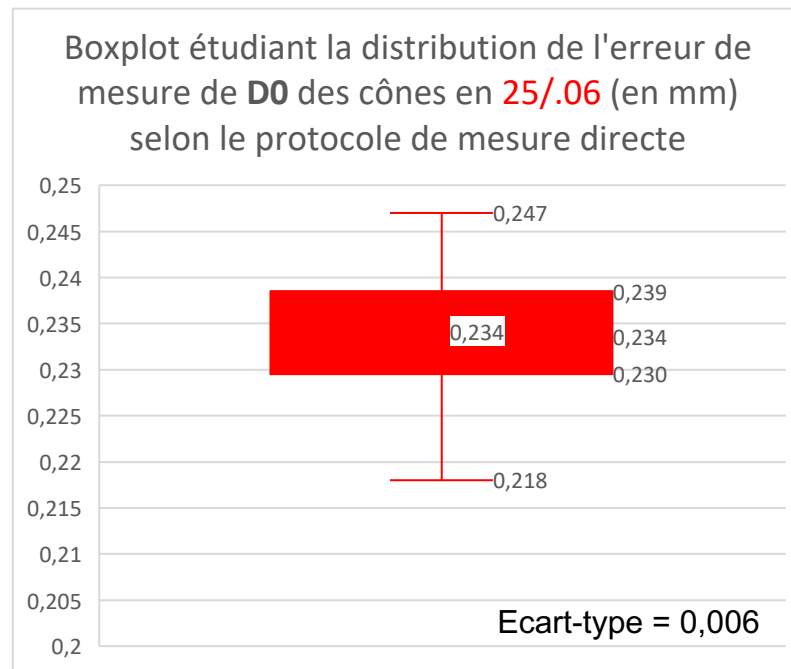


Figure 42 : Boxplot montrant la distribution de l'erreur de mesure de D0 des cônes en 25/.06 (en mm) selon le protocole de mesure directe.

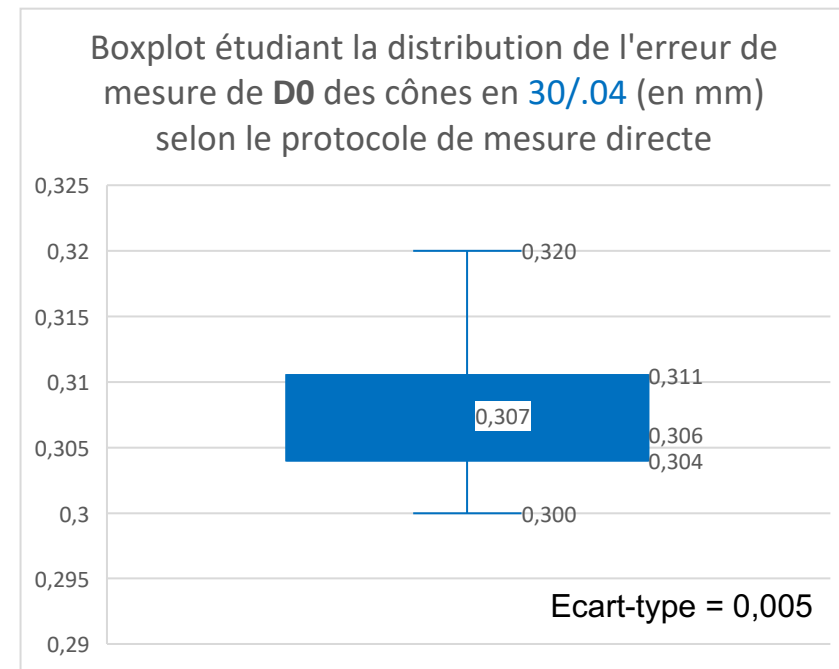


Figure 43 : Boxplot montrant la distribution de l'erreur de mesure de D0 des cônes en 30/.04 (en mm) selon le protocole de mesure directe.

Selon la distribution des valeurs d'erreur de mesure (Figures 42 et 43) :

- Pour un cône de GP « 25/06 » l'erreur de mesure est de  $\pm 0,016\text{mm}$ .
- Pour un cône de GP « 30/04 » l'erreur de mesure est de  $\pm 0,013\text{mm}$ .

L'erreur de mesure est donc inférieure à 0,020mm ce qui signifie qu'un cône mesuré autour de 0,25mm peut être mesuré en 0,23mm ou 0,27mm dû à l'erreur de mesure.

#### 4.3.3.2. Résultats de mesure directe de D0

| Komet | Moyenne | Ecart-T |
|-------|---------|---------|
| 25/6% |         |         |
| D0    | 0,280   | 0,027   |
| 30/4% |         |         |
| D0    | 0,319   | 0,017   |

| Septodont | Moyenne | Ecart-T |
|-----------|---------|---------|
| 25/6%     |         |         |
| D0        | 0,253   | 0,011   |
| 30/4%     |         |         |
| D0        | 0,307   | 0,011   |

| Produits Dentaires SA | Moyenne | Ecart-T |
|-----------------------|---------|---------|
| 25/6%                 |         |         |
| D0                    | 0,249   | 0,015   |
| 30/4%                 |         |         |
| D0                    | 0,321   | 0,009   |

| Brasseler USA TotalFill FKG | Moyenne | Ecart-T |
|-----------------------------|---------|---------|
| 25/6%                       |         |         |
| D0                          | 0,297   | 0,015   |
| 30/4%                       |         |         |
| D0                          | 0,321   | 0,016   |

| R&S   | Moyenne | Ecart-T |
|-------|---------|---------|
| 25/6% |         |         |
| D0    | 0,275   | 0,020   |
| 30/4% |         |         |
| D0    | 0,273   | 0,023   |

| roeko | Moyenne | Ecart-T |
|-------|---------|---------|
| 25/6% |         |         |
| D0    | 0,224   | 0,008   |
| 30/4% |         |         |
| D0    | 0,224   | 0,014   |

| HyFlex       | Moyenne | Ecart-T |
|--------------|---------|---------|
| <b>25/6%</b> |         |         |
| D0           | 0,216   | 0,009   |
| <b>30/4%</b> |         |         |
| D0           | 0,207   | 0,006   |

| Kerr         | Moyenne | Ecart-T |
|--------------|---------|---------|
| <b>25/6%</b> |         |         |
| D0           | 0,270   | 0,011   |
| <b>30/4%</b> |         |         |
| D0           | 0,309   | 0,018   |

| Dentsply Sirona | Moyenne | Ecart-T |
|-----------------|---------|---------|
| <b>25/6%</b>    |         |         |
| D0              | 0,254   | 0,016   |
| <b>30/4%</b>    |         |         |
| D0              | 0,319   | 0,025   |

| Dentsply Sirona (Conform Fit) | Moyenne | Ecart-T |
|-------------------------------|---------|---------|
| <b>25/6%</b>                  |         |         |
| D0                            | 0,247   | 0,006   |
| <b>30/4%</b>                  |         |         |
| D0                            | 0,295   | 0,008   |

| VDW          | Moyenne | Ecart-T |
|--------------|---------|---------|
| <b>25/6%</b> |         |         |
| D0           | 0,274   | 0,036   |
| <b>30/4%</b> |         |         |
| D0           | 0,318   | 0,038   |

| MicroMega    | Moyenne | Ecart-T |
|--------------|---------|---------|
| <b>25/6%</b> |         |         |
| D0           | 0,223   | 0,017   |

| Fanta        | Moyenne | Ecart-T |
|--------------|---------|---------|
| <b>25/6%</b> |         |         |
| D0           | 0,304   | 0,018   |

| CyberTech    | Moyenne | Ecart-T |
|--------------|---------|---------|
| <b>30/4%</b> |         |         |
| D0           | 0,332   | 0,026   |

Tableau 5 : Tableaux des résultats de mesure D0 selon le protocole de mesure directe. Valeurs exprimées en mm.

#### **4.3.4. Comparaison intra-marques des deux protocoles et conformité à la norme ISO 6877**

Pour chaque marque, les boxplots représentant les distributions des mesures obtenues avec les 2 méthodes sont mises côte à côte. La notice de lecture des boxplots constitue l'annexe 1 de la thèse. Un graphique renseigne aussi sur l'adhésion à la norme ISO 6877 et permet de voir s'il existe une corrélation entre les deux méthodes d'obtention de D0. Pour chaque marque, il est indiqué s'il existe une différence statistique ou non (PDS) entre les deux méthodes d'obtention de D0,



#### 4.3.4.1. Cônes en 25/.06

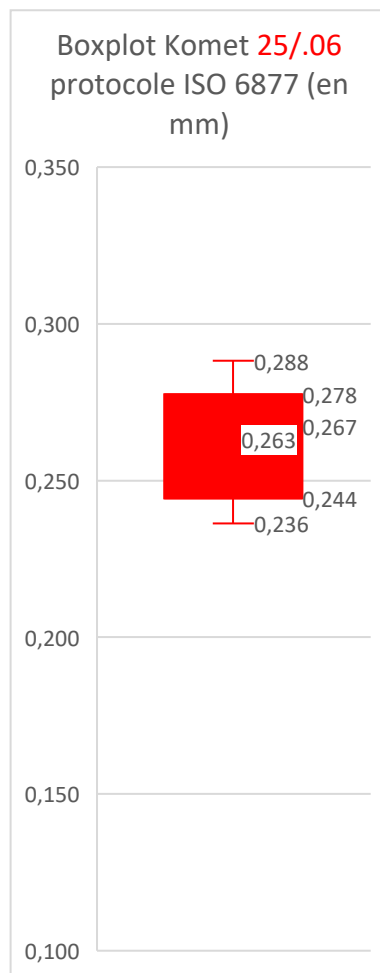


Figure 44 : Boxplot Komet 25/.06 selon le protocole ISO 6877 (en mm).

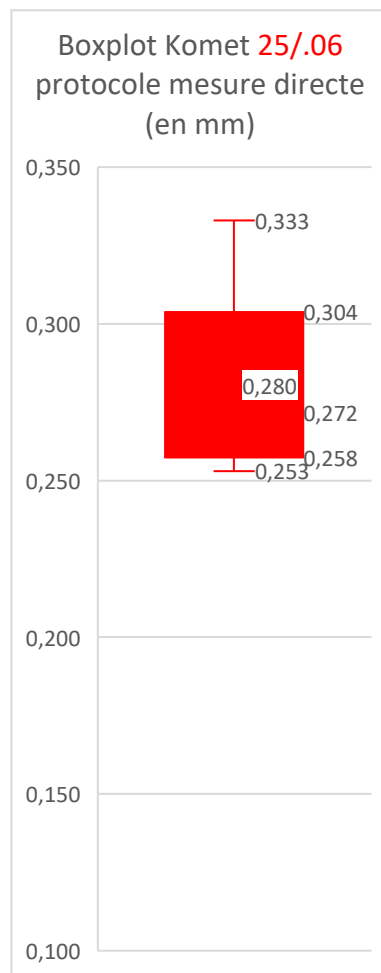


Figure 45 : Boxplot Komet 25/.06 selon le protocole de mesure directe (en mm).

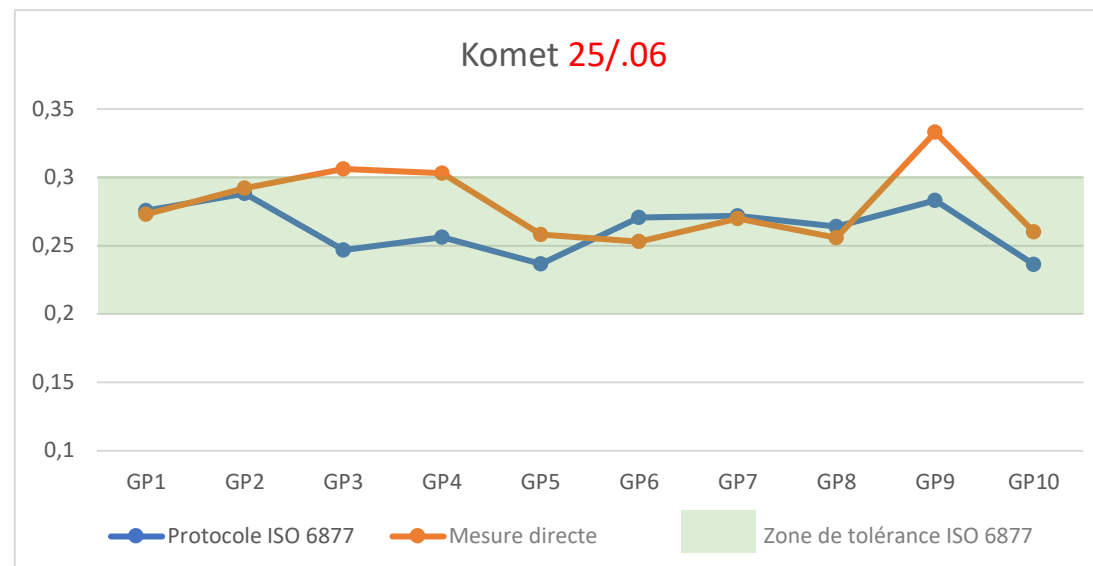


Figure 46 : Graphique des résultats pour Komet 25/.06 de D0 en mm en fonction de chaque cône étudié.

- D'après les mesures réalisées selon le **protocole ISO 6877**, les diamètres calculés **correspondent** à la plage de tolérance de cette norme.
- D'après les mesures réalisées selon le protocole de **mesure directe**, les diamètres mesurés **ne correspondent pas** à la plage de tolérance de la norme ISO 6877.
- La distribution des valeurs de **D0** est plus condensée avec le protocole de la **norme ISO 6877**.
- La médiane la plus proche de la valeur nominale est celle du protocole de la **norme ISO 6877**.
- D'après les tests statistiques non paramétriques de Mann-Whitney, les résultats obtenus selon le protocole ISO 6877 **ne sont pas statistiquement différents** à ceux obtenus avec la méthode de mesure directe.

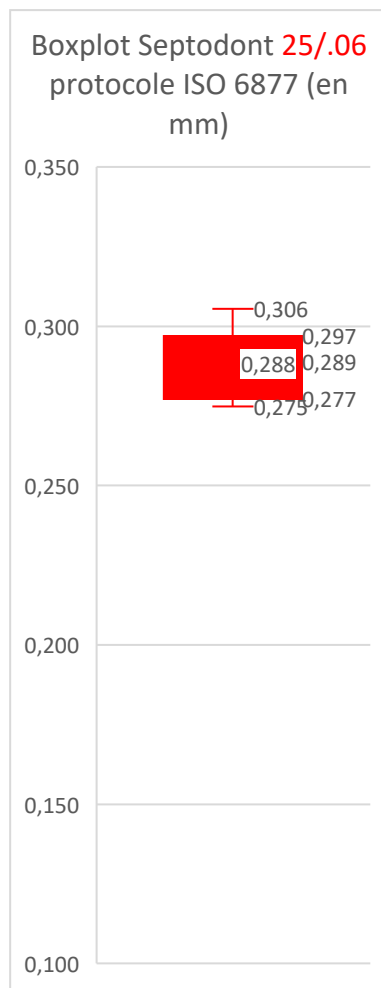


Figure 47 : Boxplot Septodont 25/.06 selon le protocole ISO 6877 (en mm).

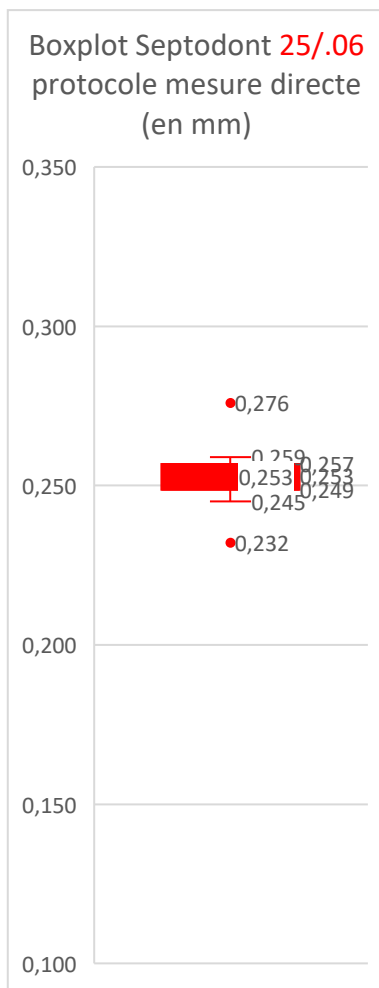


Figure 48 : Boxplot Septodont 25/.06 selon le protocole de mesure directe (en mm).

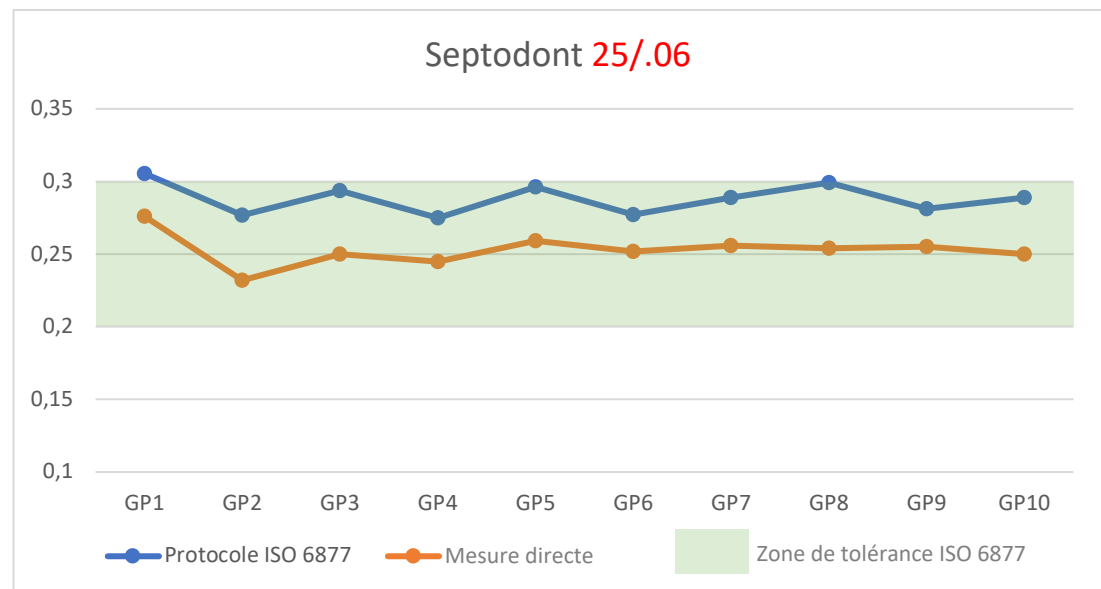


Figure 49 : Graphique des résultats pour Septodont 25/.06 de DO en mm en fonction de chaque cône étudié.

- D'après les mesures réalisées selon le **protocole ISO 6877**, les diamètres calculés **ne correspondent pas** à la plage de tolérance de cette norme.
- D'après les mesures réalisées selon le protocole de **mesure directe**, les diamètres mesurés **correspondent** à la plage de tolérance de la norme ISO 6877.
- La distribution des valeurs de **D0** est plus condensée avec le protocole de **mesure directe**.
- La médiane la plus proche de la valeur nominale est celle du protocole de **mesure directe**.
- D'après les tests statistiques non paramétriques de Mann-Whitney, les résultats obtenus selon le protocole ISO 6877 **sont statistiquement différents** à ceux obtenus avec la méthode de mesure directe ( $P < 0,0001$ ).

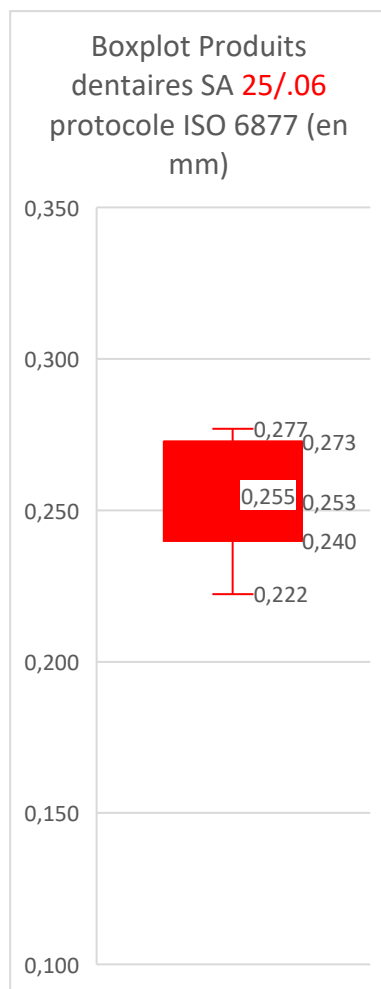


Figure 50 : Boxplot produits dentaire SA 25/.06 selon le protocole ISO 6877 (en mm).

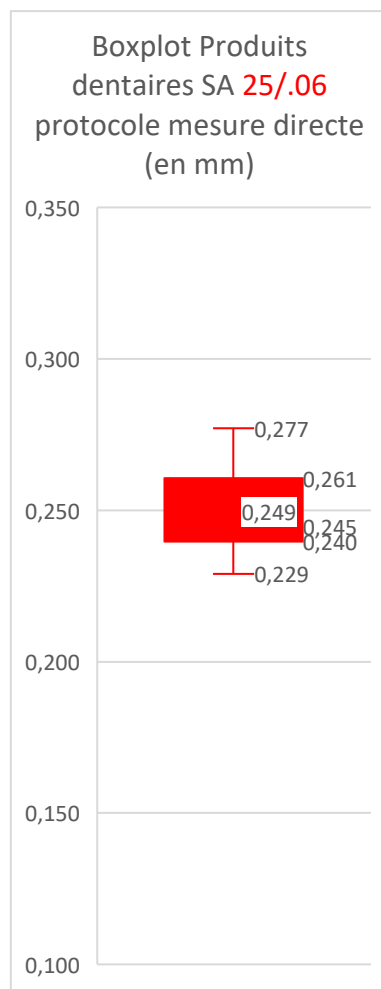


Figure 51 : Boxplot produits dentaires SA 25/.06 selon le protocole de mesure directe (en mm).

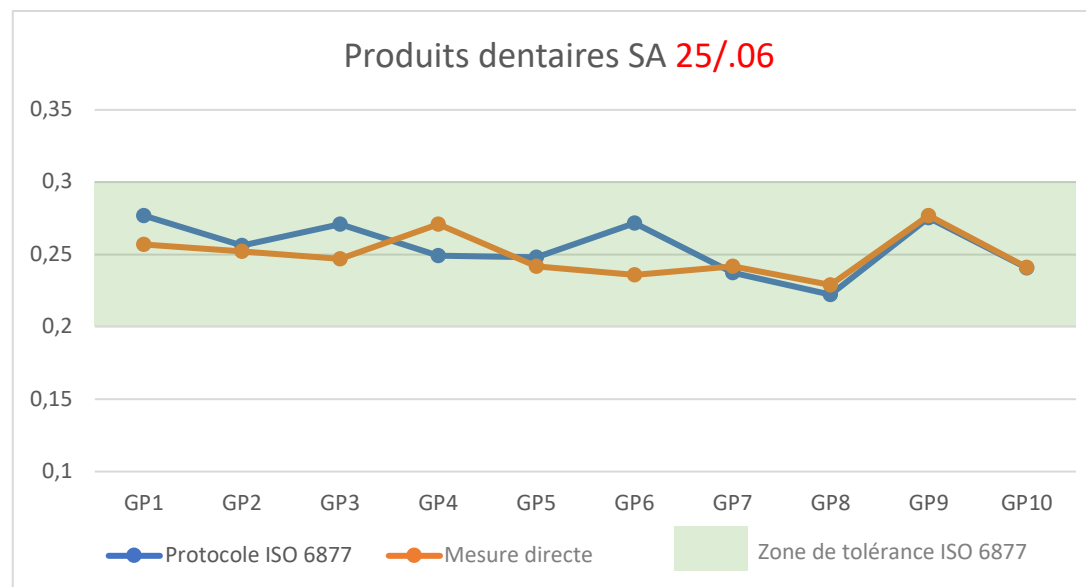


Figure 52 : Graphique des résultats pour les produits dentaires SA 25/.06 de D0 en mm en fonction de chaque cône étudié.

- D'après les mesures réalisées selon le **protocole ISO 6877**, les diamètres calculés **correspondent** à la plage de tolérance de cette norme.
- D'après les mesures réalisées selon le protocole de **mesure directe**, les diamètres mesurés **correspondent** à la plage de tolérance de la norme ISO 6877.
- La distribution des valeurs de **D0** est plus condensée avec le protocole de **mesure directe**.
- La médiane la plus proche de la valeur nominale est celle du protocole de **mesure directe**.
- D'après les tests statistiques non paramétriques de Mann-Whitney, les résultats obtenus selon le protocole ISO 6877 ne **sont pas statistiquement différents** à ceux obtenus avec la méthode de mesure directe.

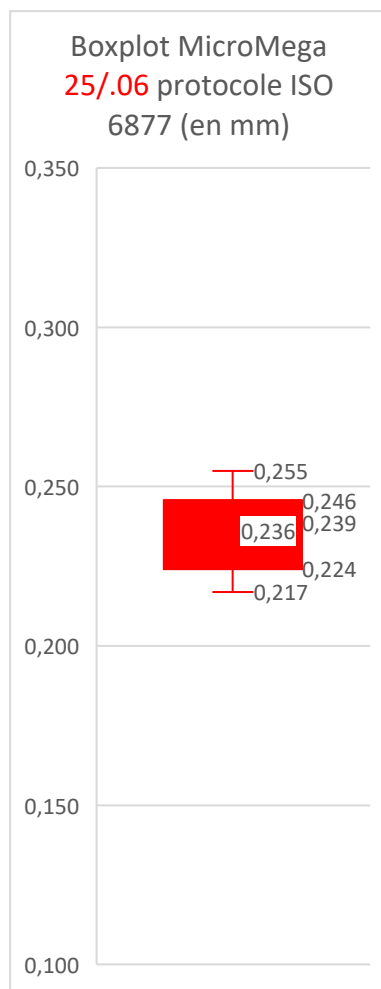


Figure 53 : Boxplot MicroMega 25/.06 selon le protocole ISO 6877 (en mm).

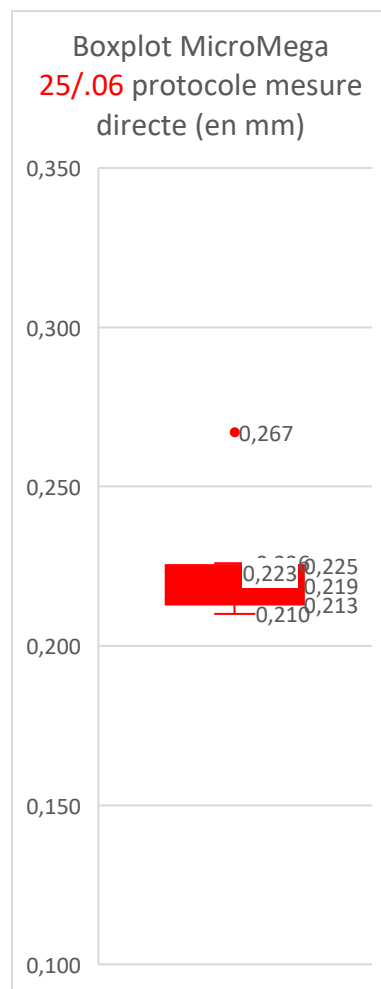


Figure 54 : Boxplot MicroMega 25/.06 selon le protocole de mesure directe (en mm).

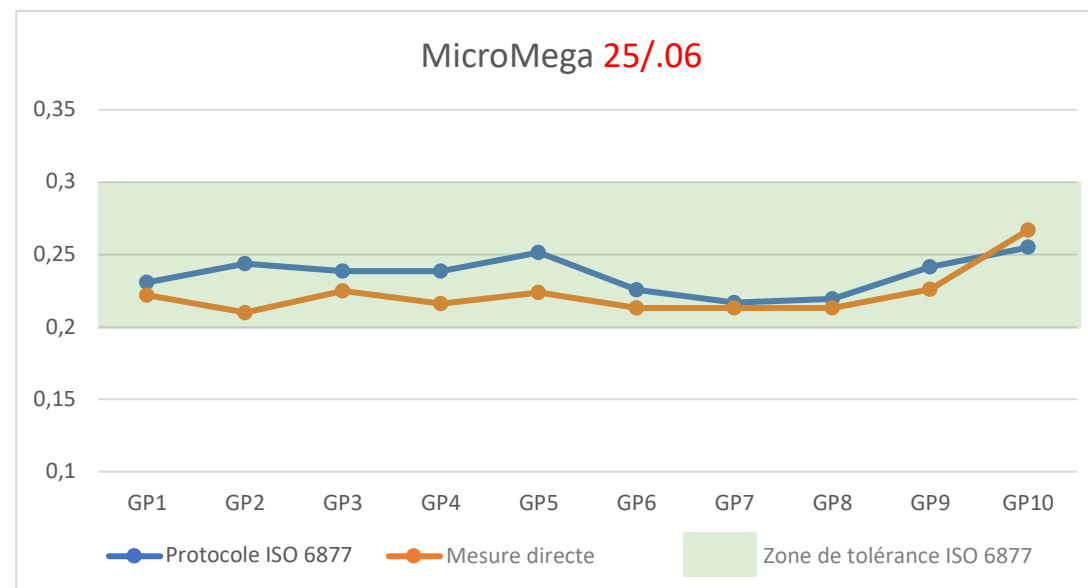


Figure 55 : Graphique des résultats pour MicroMega 25/.06 de D0 en mm en fonction de chaque cône étudié.

- D'après les mesures réalisées selon le **protocole ISO 6877**, les diamètres calculés **correspondent** à la plage de tolérance de cette norme.
- D'après les mesures réalisées selon le protocole de **mesure directe**, les diamètres mesurés **correspondent** à la plage de tolérance de la norme ISO 6877.
- La distribution des valeurs de **D0** est plus condensée avec le protocole de **mesure directe**.
- La médiane la plus proche de la valeur nominale est celle du protocole **ISO 6877**.
- D'après les tests statistiques non paramétriques de Mann-Whitney, les résultats obtenus selon le protocole ISO 6877 **sont statistiquement différents** à ceux obtenus avec la méthode de mesure directe ( $P < 0,5$ ).

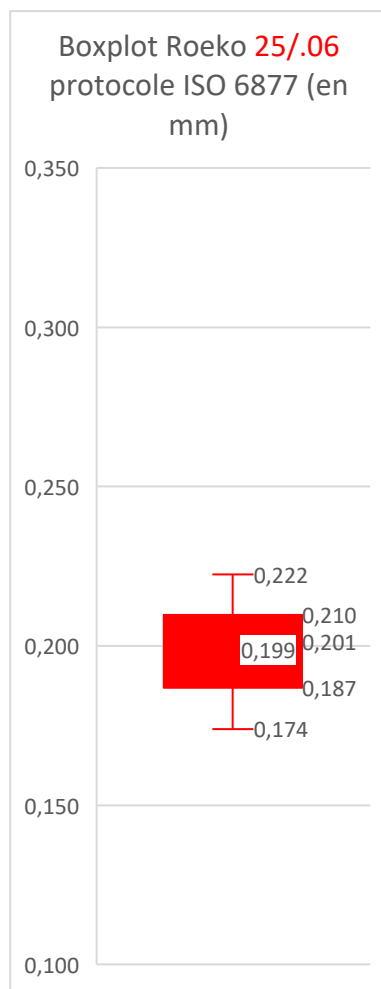


Figure 56 : Boxplot Roeko 25/.06 selon le protocole ISO 6877 (en mm).

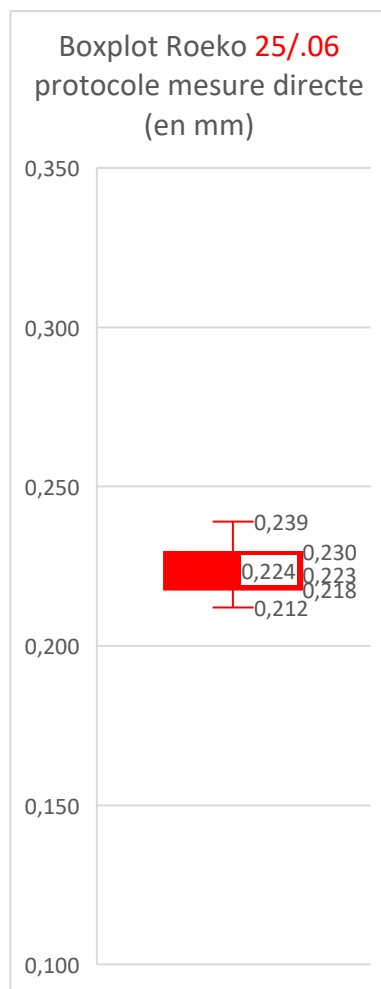


Figure 57 : Boxplot Roeko 25/.06 selon le protocole de mesure directe (en mm).

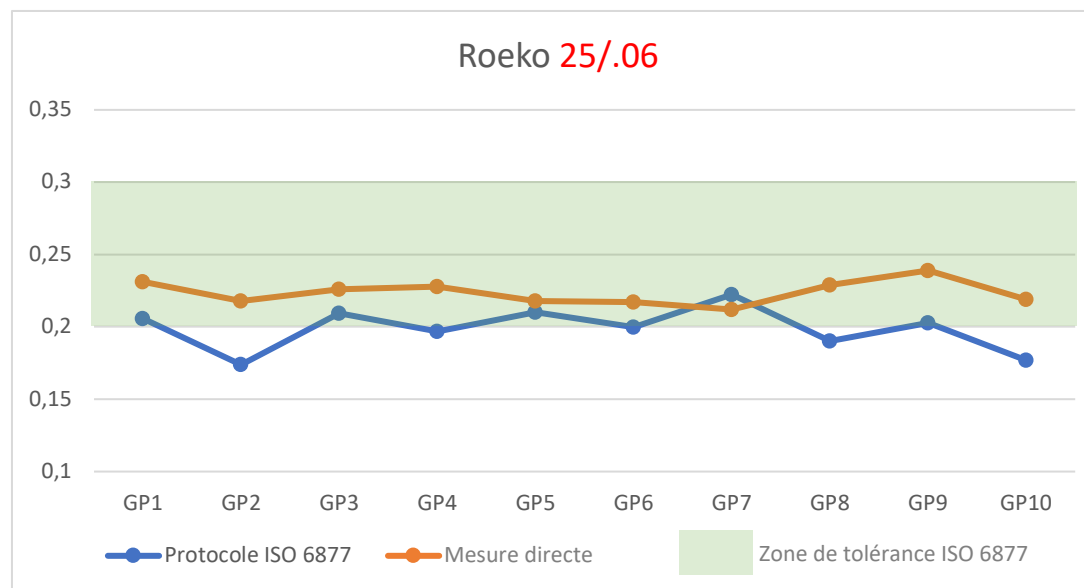


Figure 58 : Graphique des résultats de Roeko 25/.06 de D0 en mm en fonction de chaque cône étudié.

- D'après les mesures réalisées selon le **protocole ISO 6877**, les diamètres calculés **ne correspondent pas** à la plage de tolérance de cette norme.
- D'après les mesures réalisées selon le protocole de **mesure directe**, les diamètres mesurés **correspondent** à la plage de tolérance de la norme ISO 6877.
- La distribution des valeurs de **D0** est plus condensée avec le protocole de **mesure directe**.
- La médiane la plus proche de la valeur nominale est celle du protocole de **mesure directe**.
- D'après les tests statistiques non paramétriques de Mann-Whitney, les résultats obtenus selon le protocole ISO 6877 **sont statistiquement différents** à ceux obtenus avec la méthode de mesure directe ( $P < 0,001$ ).

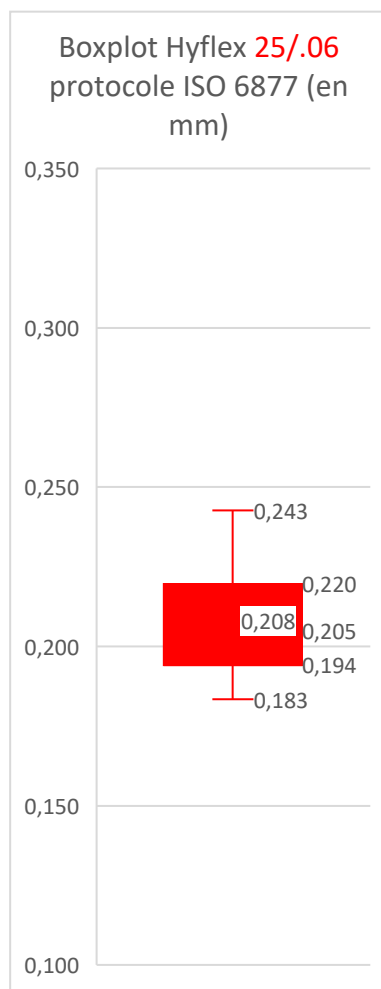


Figure 59 : Boxplot Hyflex 25/.06 selon le protocole ISO 6877 (en mm).

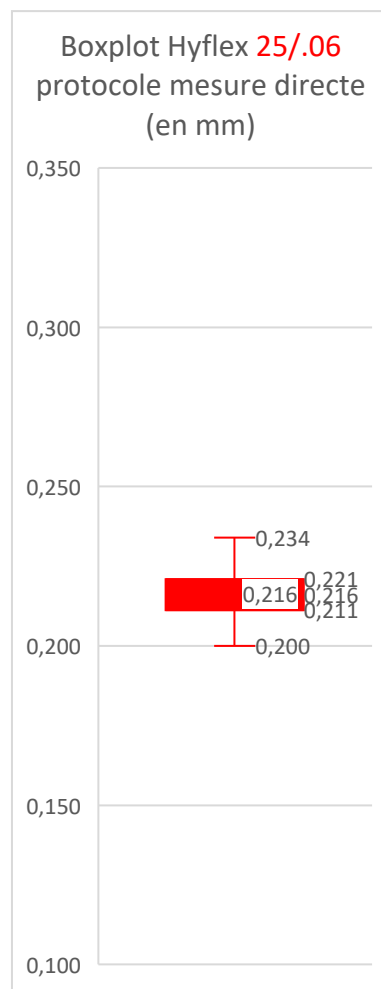


Figure 60 : Boxplot Hyflex 25/.06 selon le protocole de mesure directe (en mm).

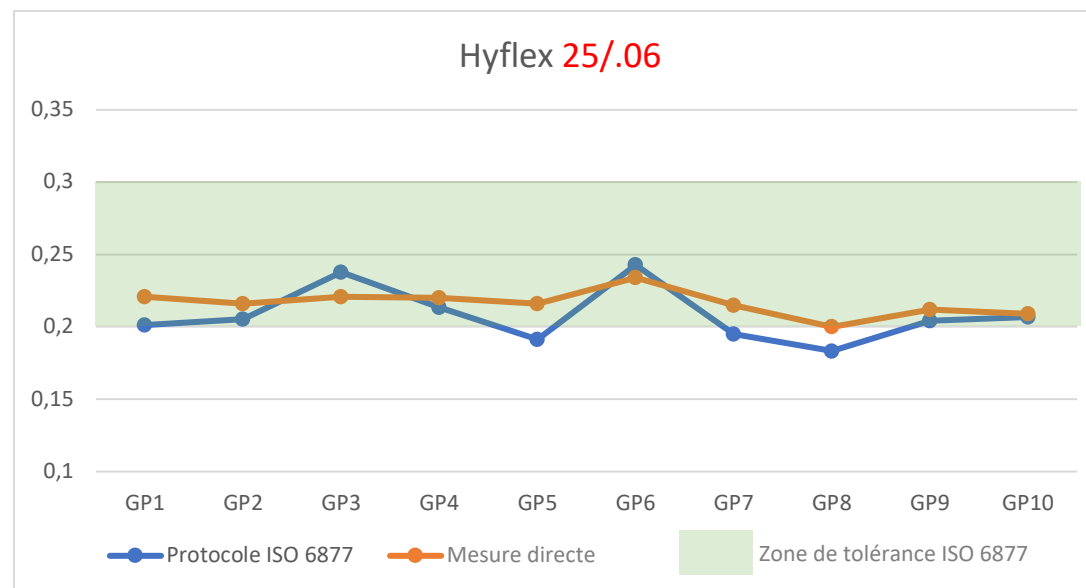


Figure 61 : Graphique des résultats de Hyflex 25/.06 de D0 en mm en fonction de chaque cône étudié.

- D'après les mesures réalisées selon le **protocole ISO 6877**, les diamètres calculés **ne correspondent pas** à la plage de tolérance de cette norme.
- D'après les mesures réalisées selon le protocole de **mesure directe**, les diamètres mesurés **correspondent** à la plage de tolérance de la norme ISO 6877.
- La distribution des valeurs de **D0** est plus condensée avec le protocole de **mesure directe**.
- La médiane la plus proche de la valeur nominale est celle du protocole de **mesure directe**.
- D'après les tests statistiques non paramétriques de Mann-Whitney, les résultats obtenus selon le protocole ISO 6877 **ne sont pas statistiquement différents** à ceux obtenus avec la méthode de mesure directe.

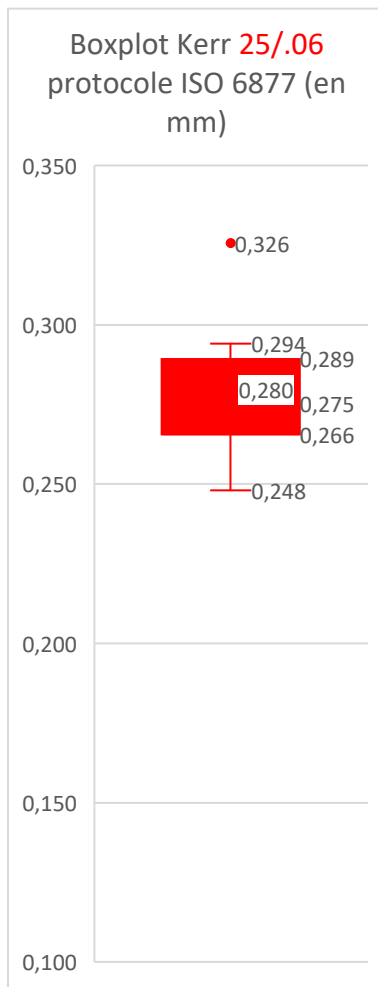


Figure 62 : Boxplot Kerr 25/.06 selon le protocole ISO 6877 (en mm).

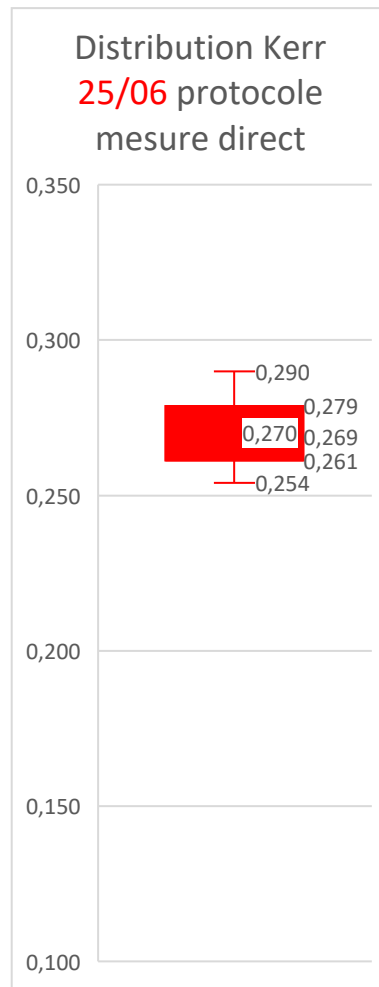


Figure 63 : Boxplot Kerr 25/.06 selon le protocole de mesure directe (en mm).

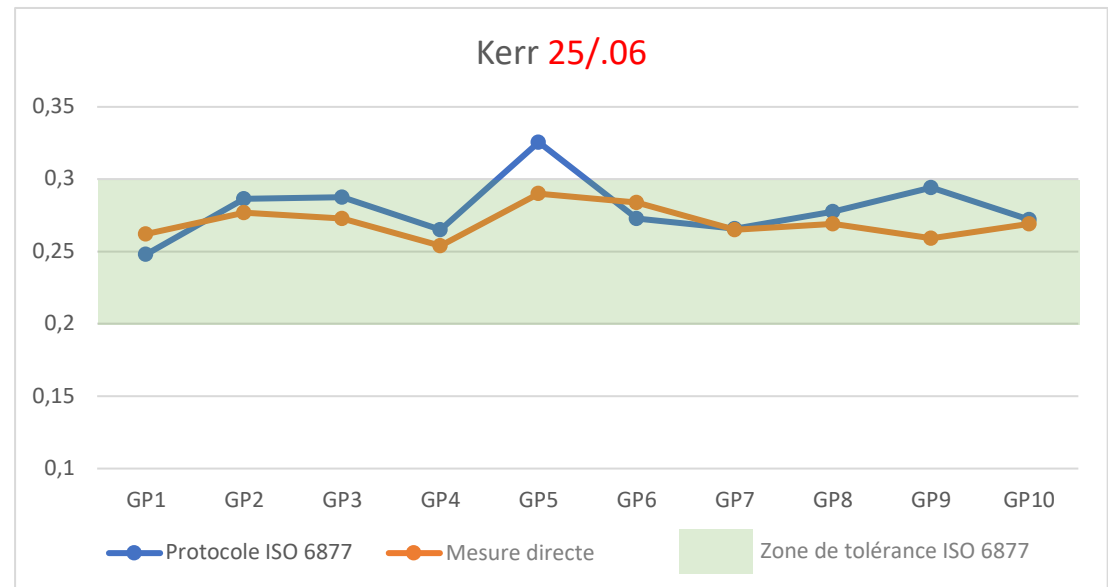


Figure 64 : Graphique des résultats de Kerr 25/.06 de D0 en mm en fonction de chaque cône étudié.

- D'après les mesures réalisées selon le **protocole ISO 6877**, les diamètres calculés **ne correspondent pas** à la plage de tolérance de cette norme.
- D'après les mesures réalisées selon le protocole de **mesure directe**, les diamètres mesurés **correspondent** à la plage de tolérance de la norme ISO 6877.
- La distribution des valeurs de **D0** est plus condensée avec le protocole de **mesure directe**.
- La médiane la plus proche de la valeur nominale est celle du protocole de **mesure directe**.
- D'après les tests statistiques non paramétriques de Mann-Whitney, les résultats obtenus selon le protocole ISO 6877 **ne sont pas statistiquement différents** à ceux obtenus avec la méthode de mesure directe.

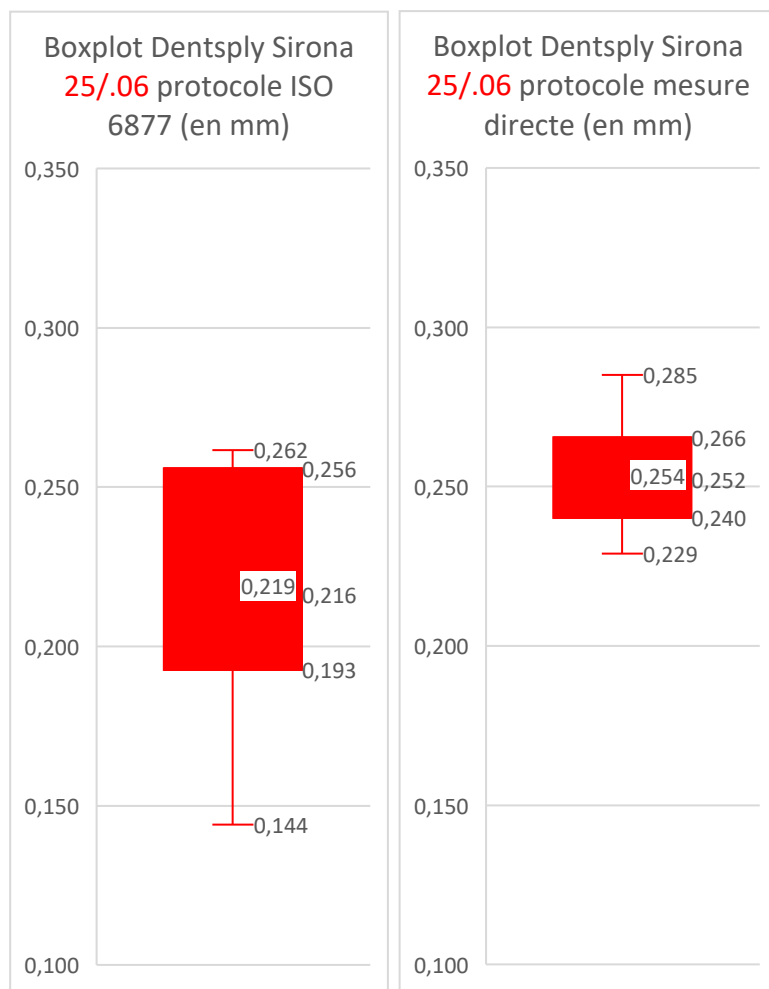


Figure 65 : Boxplot Dentsply Sirona 25/.06 selon le protocole ISO 6877 (en mm).

Figure 66 : Boxplot Dentsply Sirona 25/.06 selon le protocole de mesure directe (en mm).

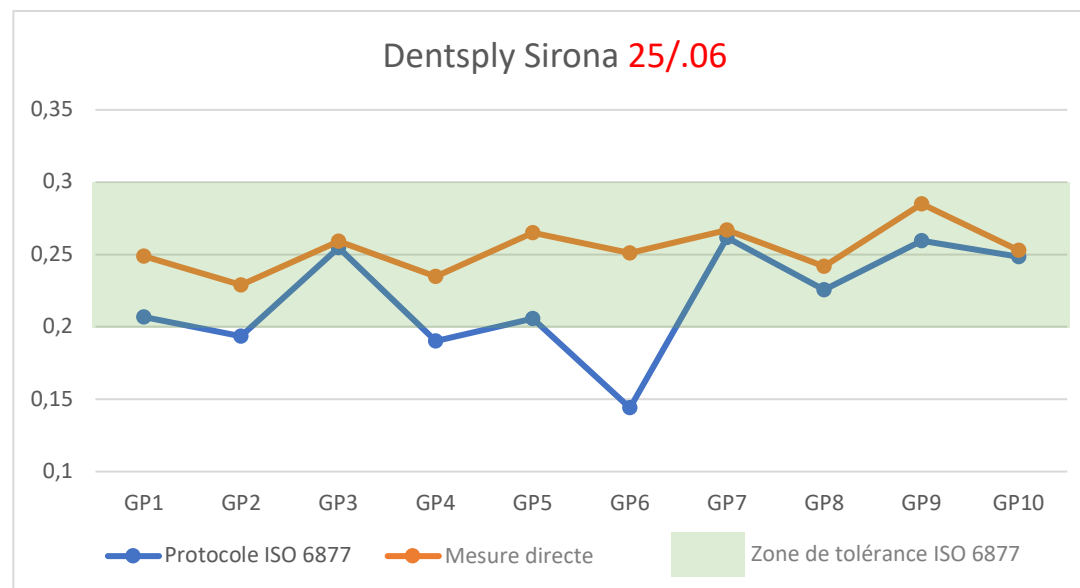


Figure 67 : Graphique des résultats de Dentsply Sirona 25/.06 de D0 en mm en fonction de chaque cône

- D'après les mesures réalisées selon le **protocole ISO 6877**, les diamètres calculés **ne correspondent pas** à la plage de tolérance de cette norme.
- D'après les mesures réalisées selon le protocole de **mesure directe**, les diamètres mesurés **correspondent** à la plage de tolérance de la norme ISO 6877.
- La distribution des valeurs de **D0** est plus condensée avec le protocole de **mesure directe**.
- La médiane la plus proche de la valeur nominale est celle du protocole de **mesure directe**.
- D'après les tests statistiques non paramétriques de Mann-Whitney, les résultats obtenus selon le protocole ISO 6877 **sont statistiquement différents** à ceux obtenus avec la méthode de mesure directe ( $P < 0,5$ ).



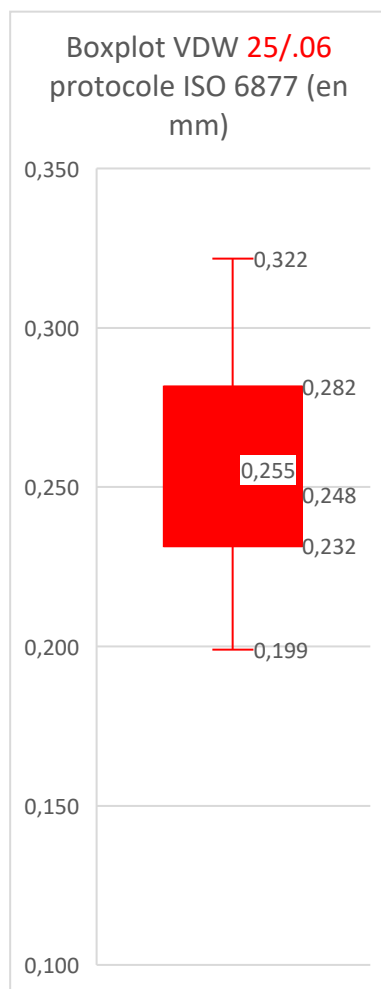


Figure 68 : Boxplot VDW 25/.06 selon le protocole ISO 6877 (en mm).

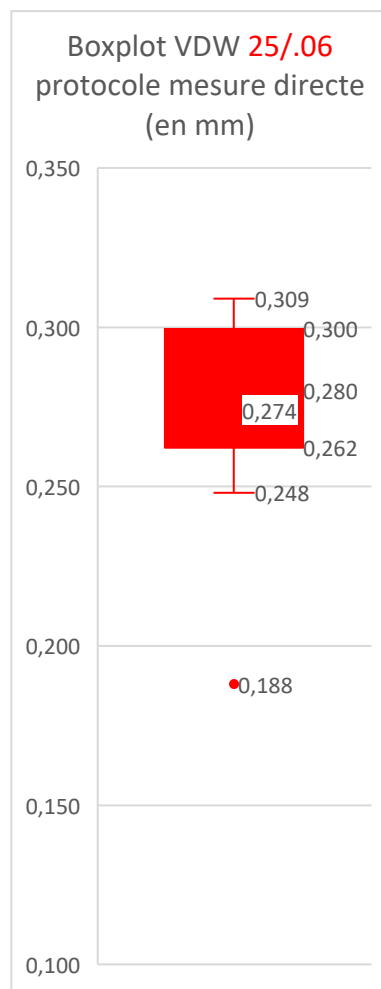


Figure 69 : Boxplot VDW 25/.06 selon le protocole de mesure directe (en mm).

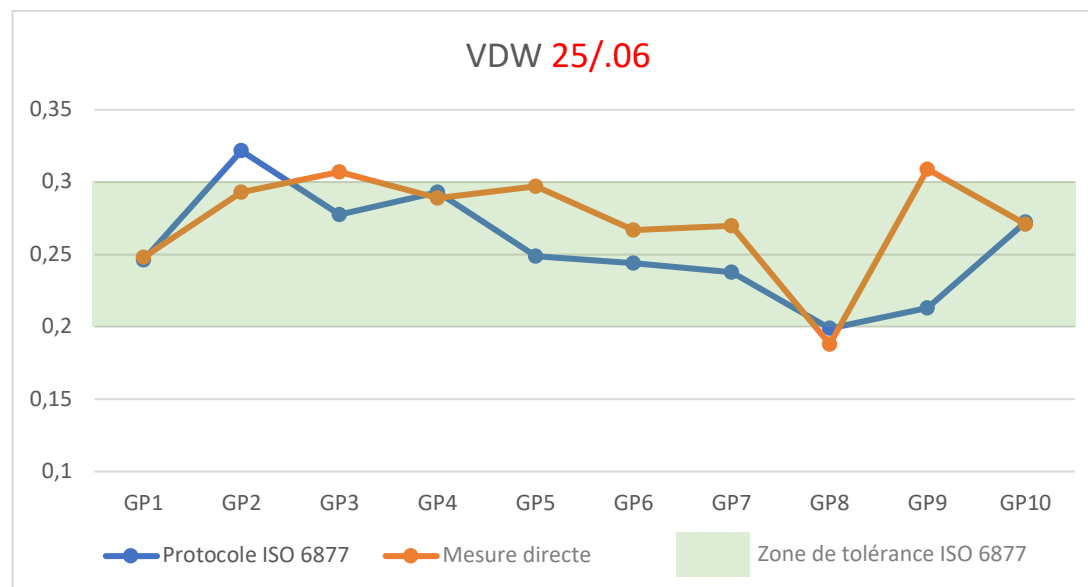


Figure 70 : Graphique des résultats de VDW 25/.06 de D0 en mm en fonction de chaque cône.

- D'après les mesures réalisées selon le **protocole ISO 6877**, les diamètres calculés **ne correspondent pas** à la plage de tolérance de cette norme.
- D'après les mesures réalisées selon le protocole de **mesure directe**, les diamètres mesurés **ne correspondent pas** à la plage de tolérance de la norme ISO 6877.
- La distribution des valeurs de **D0** est plus condensée avec le protocole de **mesure directe**.
- La médiane la plus proche de la valeur nominale est celle du protocole **ISO 6877**.
- D'après les tests statistiques non paramétriques de Mann-Whitney, les résultats obtenus selon le protocole ISO 6877 **ne sont pas statistiquement différents** à ceux obtenus avec la méthode de mesure directe.

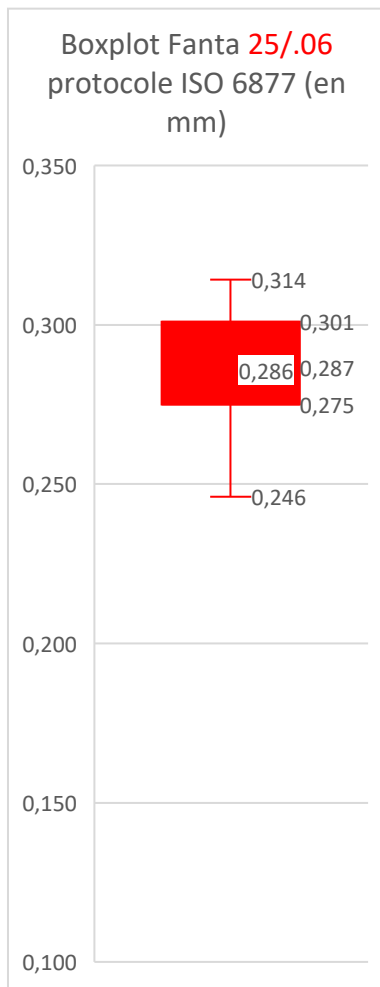


Figure 71 : Boxplot Fanta 25/.06 selon le protocole ISO 6877 (en mm).

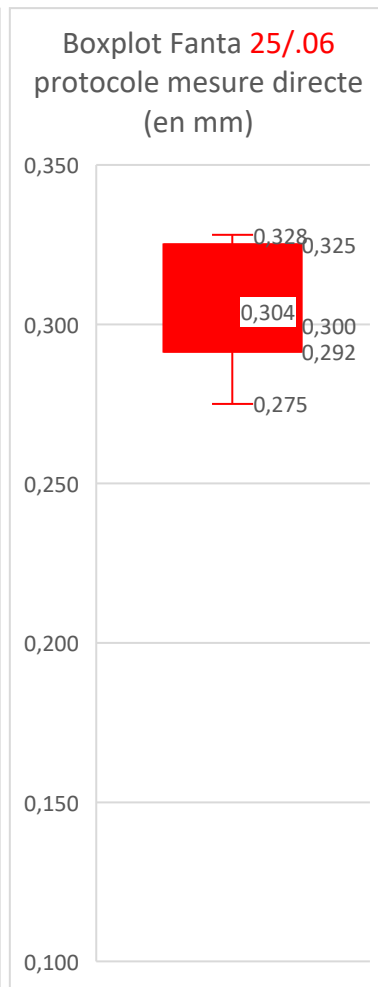


Figure 72 : Boxplot Fanta 25/.06 selon le protocole de mesure directe (en mm).

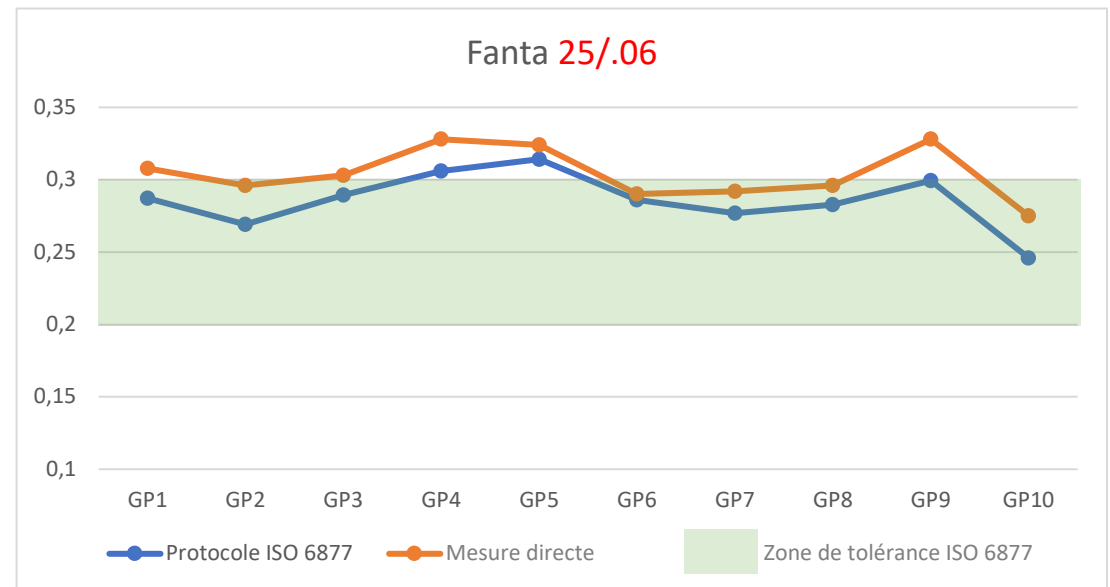


Figure 73 : Graphique des résultats de Fanta 25/.06 de D0 en mm en fonction de chaque cône.

- D'après les mesures réalisées selon le **protocole ISO 6877**, les diamètres calculés **ne correspondent pas** à la plage de tolérance de cette norme.
- D'après les mesures réalisées selon le protocole de **mesure directe**, les diamètres mesurés **ne correspondent pas** à la plage de tolérance de la norme ISO 6877.
- La distribution des valeurs de **D0** est plus condensée avec le protocole de **mesure directe**.
- La médiane la plus proche de la valeur nominale est celle du protocole **ISO 6877**.
- D'après les tests statistiques non paramétriques de Mann-Whitney, les résultats obtenus selon le protocole ISO 6877 **sont statistiquement différents** à ceux obtenus avec la méthode de mesure directe ( $P < 0,5$ ).

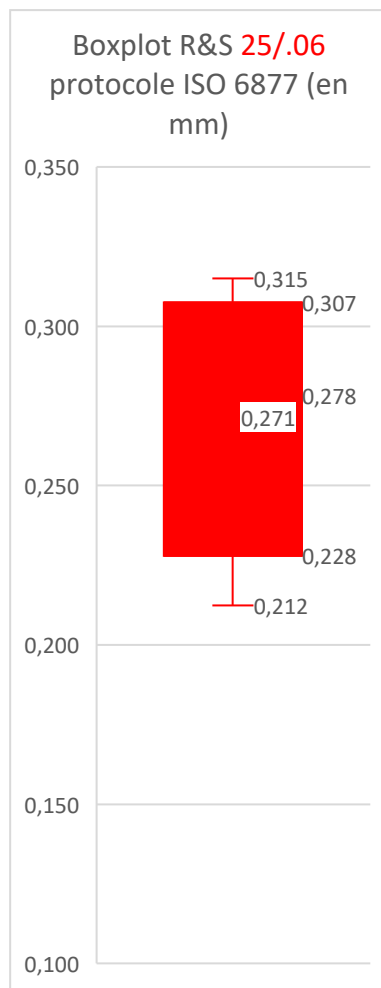


Figure 74 : Boxplot R&S 25/.06 selon le protocole ISO 6877 (en mm).

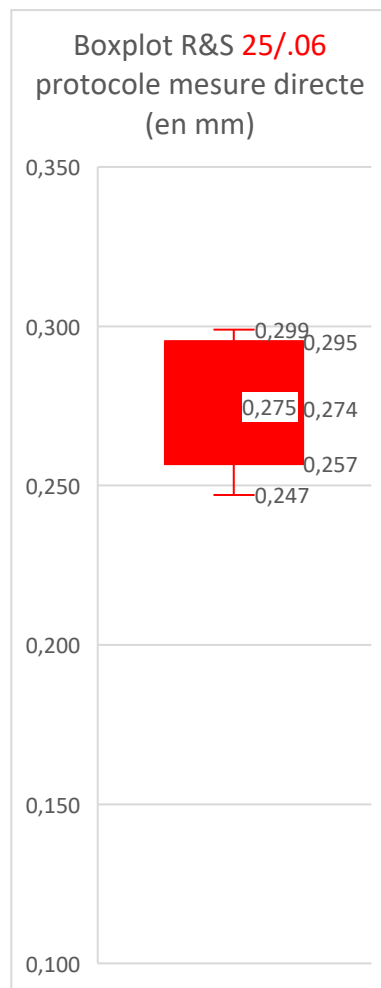


Figure 75 : Boxplot R&S 25/.06 selon le protocole de mesure directe (en mm).

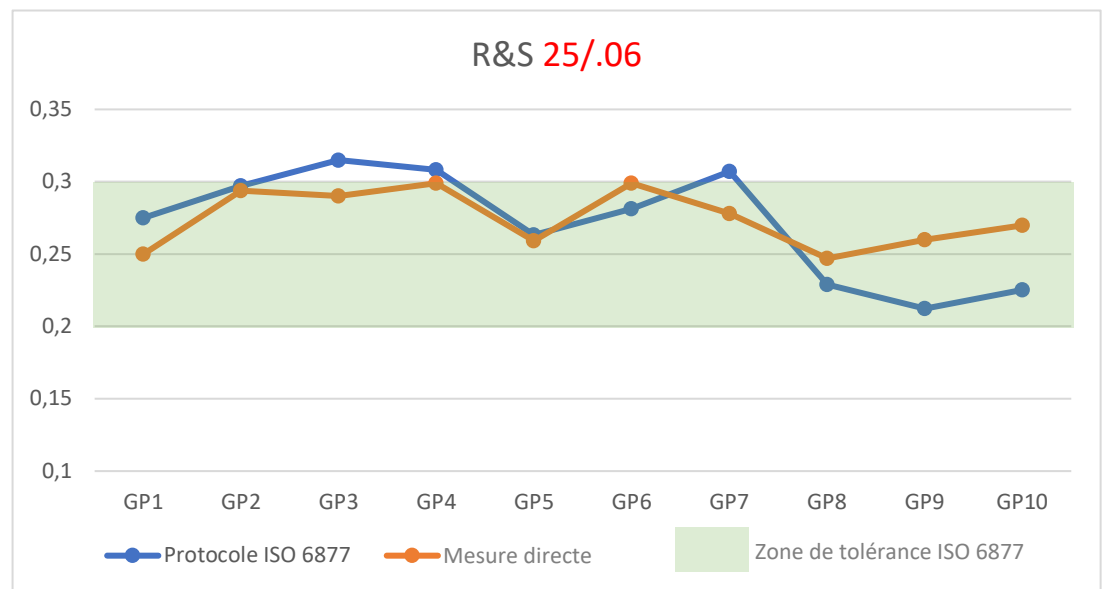


Figure 76 : Graphique des résultats de R&S 25/.06 de D0 en mm en fonction de chaque cône.

- D'après les mesures réalisées selon le **protocole ISO 6877**, les diamètres calculés **ne correspondent pas** à la plage de tolérance de cette norme.
- D'après les mesures réalisées selon le protocole de **mesure directe**, les diamètres mesurés **correspondent** à la plage de tolérance de la norme ISO 6877.
- La distribution des valeurs de **D0** est plus condensée avec le protocole de **mesure directe**.
- La médiane la plus proche de la valeur nominale est celle du protocole de **mesure directe**.
- D'après les tests statistiques non paramétriques de Mann-Whitney, les résultats obtenus selon le protocole ISO 6877 **ne sont pas statistiquement différents** à ceux obtenus avec la méthode de mesure directe.

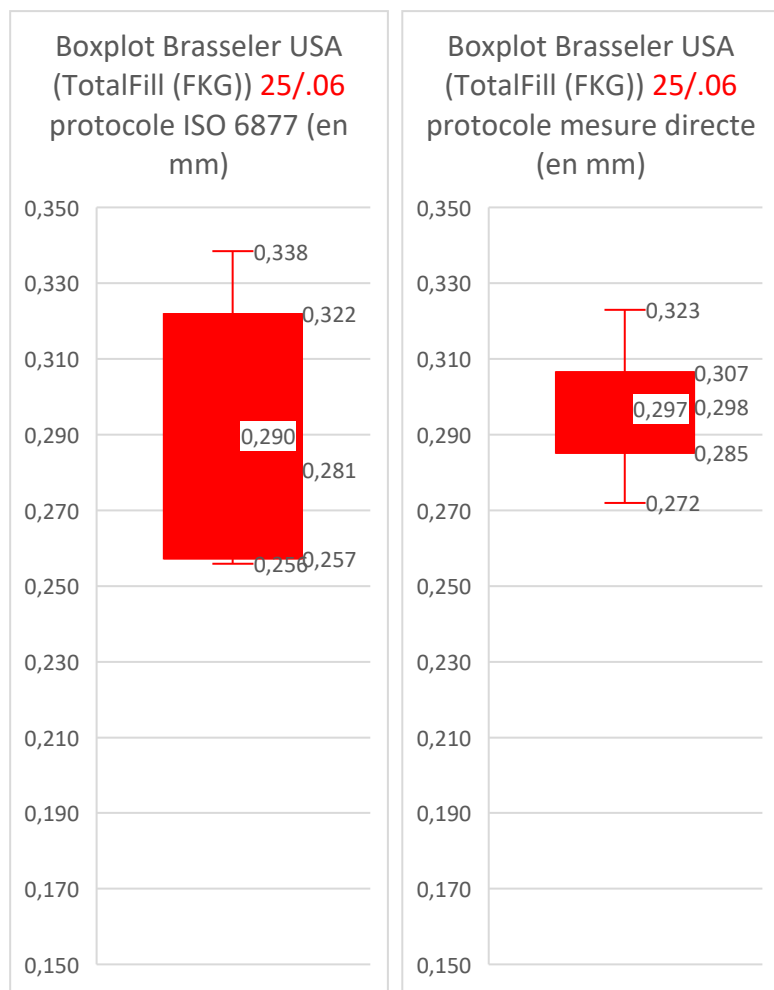


Figure 77 : Boxplot Brasseler USA (TotalFill (FKG)) 25/.06 selon le protocole ISO 6877 (en mm).  
 Figure 78 : Boxplot Brasseler USA (TotalFill (FKG)) 25/.06 selon le protocole de mesure directe (en mm).

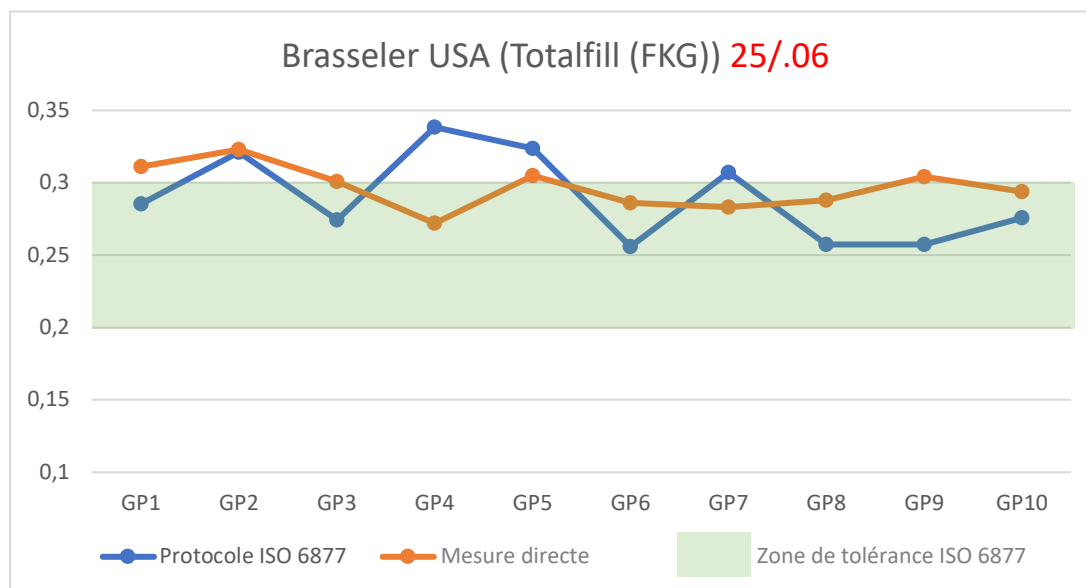


Figure 79 : Graphique des résultats de Brasseler USA (Totalfill (FKG)) 25/.06 de D0 en mm en fonction de chaque cône.

- D'après les mesures réalisées selon le **protocole ISO 6877**, les diamètres calculés **ne correspondent pas** à la plage de tolérance de cette norme.
- D'après les mesures réalisées selon le protocole de **mesure directe**, les diamètres mesurés **ne correspondent pas** à la plage de tolérance de la norme ISO 6877.
- La distribution des valeurs de **D0** est plus condensée avec le protocole de **mesure directe**.
- La médiane la plus proche de la valeur nominale est celle du protocole **ISO 6877**.
- D'après les tests statistiques non paramétriques de Mann-Whitney, les résultats obtenus selon le protocole ISO 6877 **ne sont pas statistiquement différents** à ceux obtenus avec la méthode de mesure directe.

#### 4.3.4.2. Cônes en 30/.04

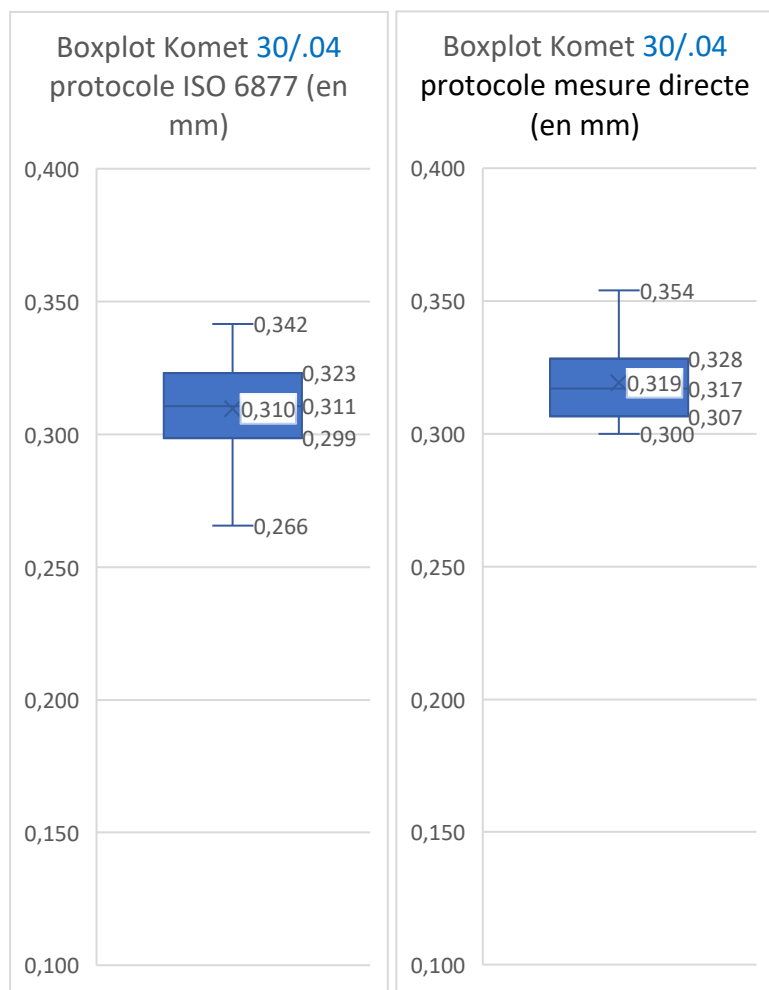


Figure 80 : Boxplot Komet 30/.04 selon le protocole ISO 6877 (en mm).

Figure 81 : Boxplot Komet 30/.04 selon le protocole de mesure directe (en mm).

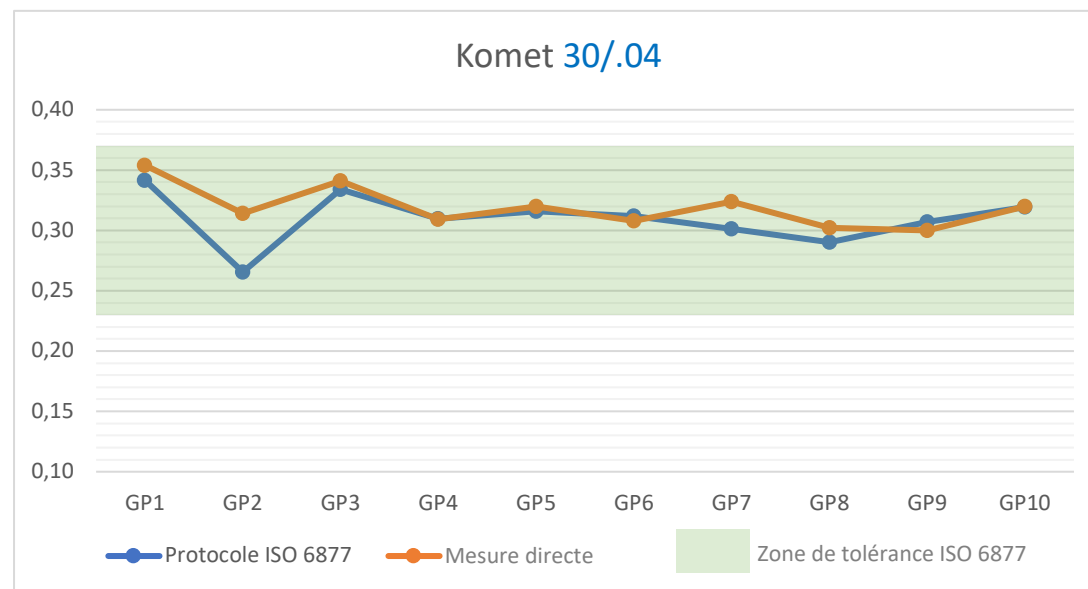


Figure 82 : Graphique des résultats de Komet 30/.04 de D0 en mm en fonction de chaque cône.

- D'après les mesures réalisées selon le **protocole ISO 6877**, les diamètres calculés **correspondent** à la plage de tolérance de cette norme.
- D'après les mesures réalisées selon le protocole de **mesure direct**, les diamètres mesurés **correspondent** à la plage de tolérance de la norme ISO 6877.
- La distribution des valeurs de **D0** est plus condensée avec le protocole de **mesure directe**.
- La médiane la plus proche de la valeur nominale est celle du protocole **ISO 6877**.
- D'après les tests statistiques non paramétriques de Mann-Whitney, les résultats obtenus selon le protocole ISO 6877 **ne sont pas statistiquement différents** à ceux obtenus avec la méthode de mesure directe.

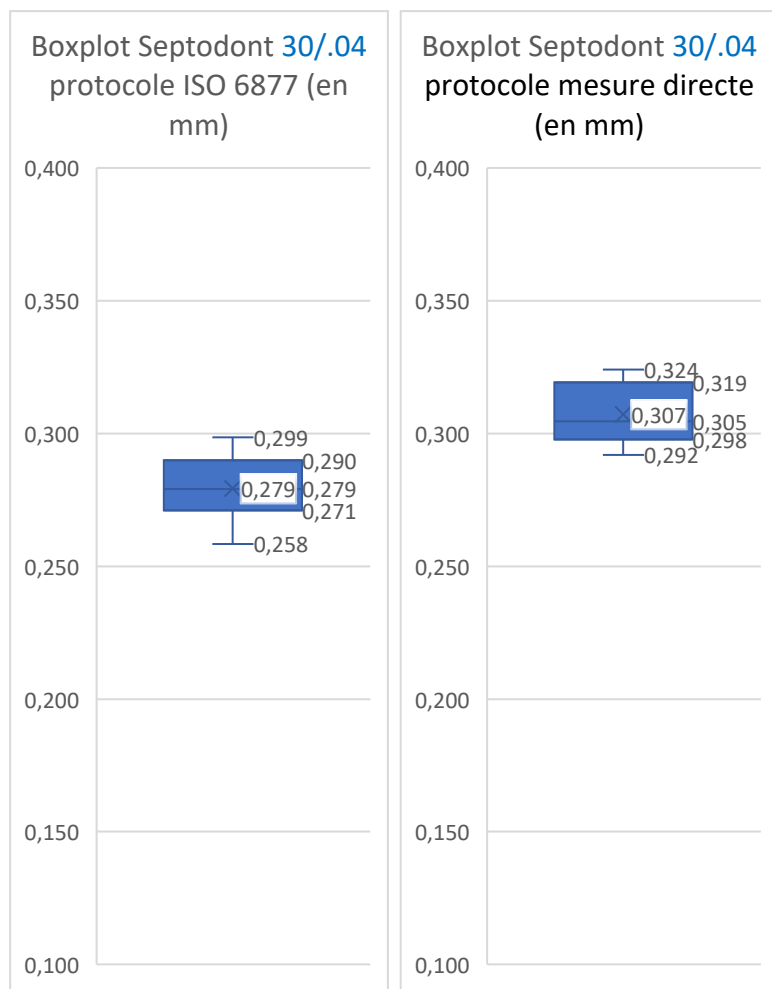


Figure 83 : Boxplot Septodont 30/.04 selon le protocole ISO 6877 (en mm).

Figure 84 : Boxplot Septodont 30/.04 selon le protocole de mesure directe (en mm).

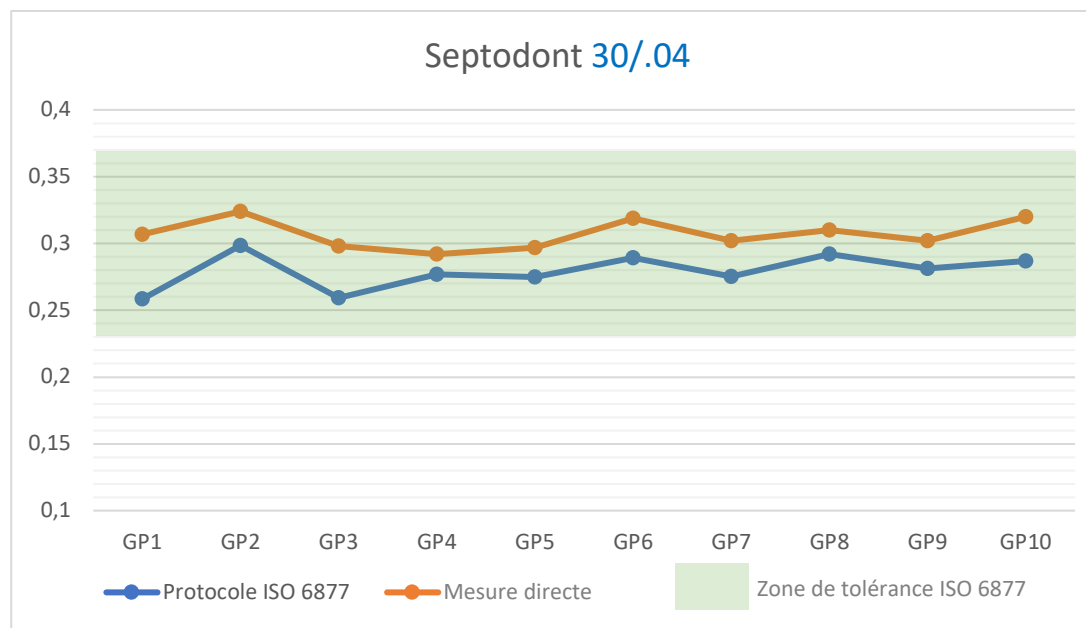


Figure 85 : Graphique des résultats de Septodont 30/.04 de D0 en mm en fonction de chaque cône.

- D'après les mesures réalisées selon le **protocole ISO 6877**, les diamètres calculés **correspondent** à la plage de tolérance de cette norme.
- D'après les mesures réalisées selon le protocole de **mesure directe**, les diamètres mesurés **correspondent** à la plage de tolérance de la norme ISO 6877.
- La distribution des valeurs de **D0** est plus condensée avec le protocole **de mesure directe**.
- La médiane la plus proche de la valeur nominale est celle du protocole **de mesure directe**.
- D'après les tests statistiques non paramétriques de Mann-Whitney, les résultats obtenus selon le protocole ISO 6877 **sont statistiquement différents** à ceux obtenus avec la méthode de mesure directe ( $P < 0,001$ ).

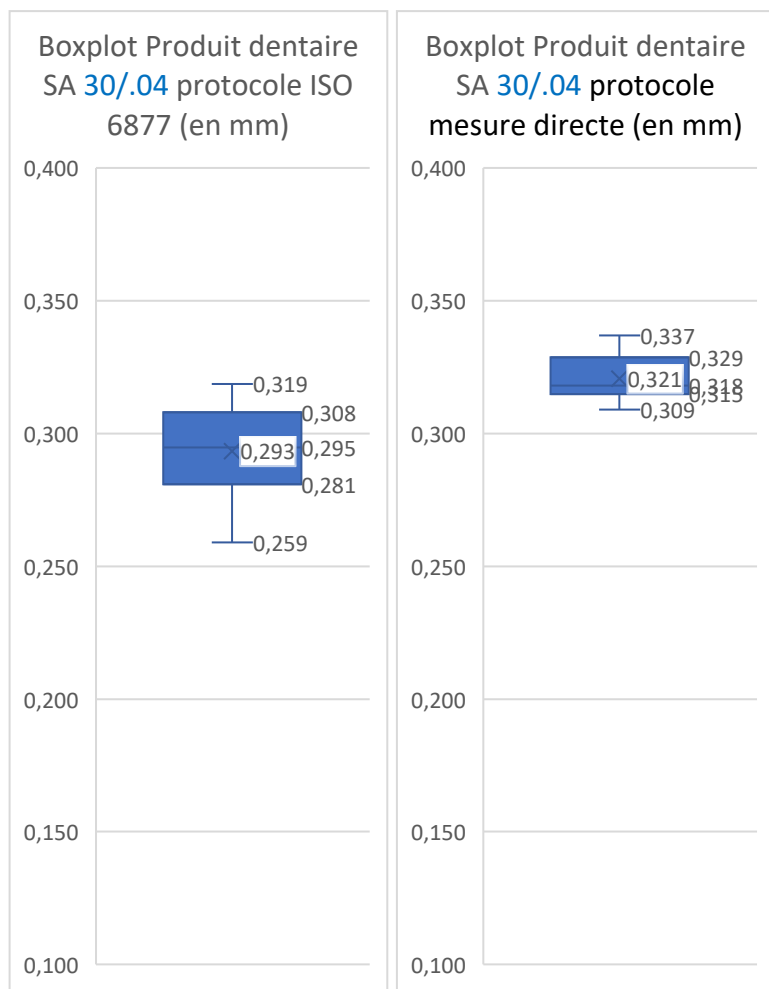


Figure 86 : Boxplot Produit dentaire SA 30/.04 selon le protocole ISO 6877 (en mm).  
 Figure 87 : Boxplot Produit dentaire SA 30/.04 selon le protocole de mesure directe (en mm).

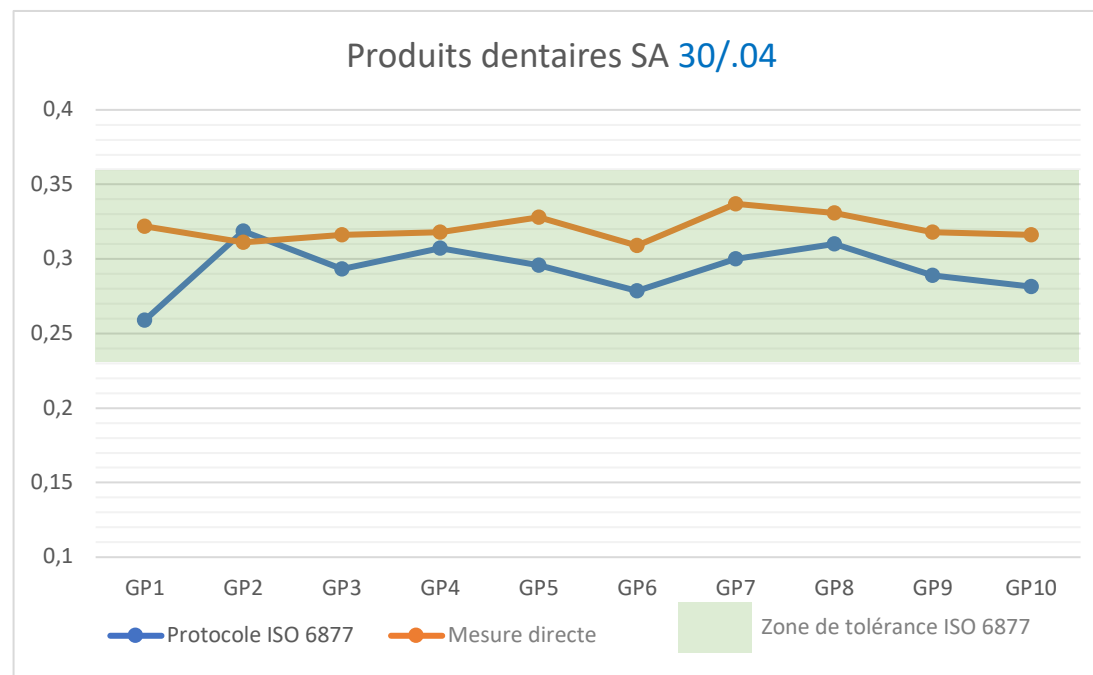


Figure 88 : Graphique des résultats de Produits Dentaires SA 30/.04 de D0 en mm en fonction de chaque cône.

- D'après les mesures réalisées selon le **protocole ISO 6877**, les diamètres calculés **correspondent** à la plage de tolérance de cette norme.
- D'après les mesures réalisées selon le protocole de **mesure directe**, les diamètres mesurés **correspondent** à la plage de tolérance de la norme ISO 6877.
- La distribution des valeurs de **D0** est plus condensée avec le protocole de **mesure directe**.
- La médiane la plus proche de la valeur nominale est celle du protocole **ISO 6877**.
- D'après les tests statistiques non paramétriques de Mann-Whitney, les résultats obtenus selon le protocole ISO 6877 **sont statistiquement différents** à ceux obtenus avec la méthode de mesure directe ( $P < 0,001$ ).

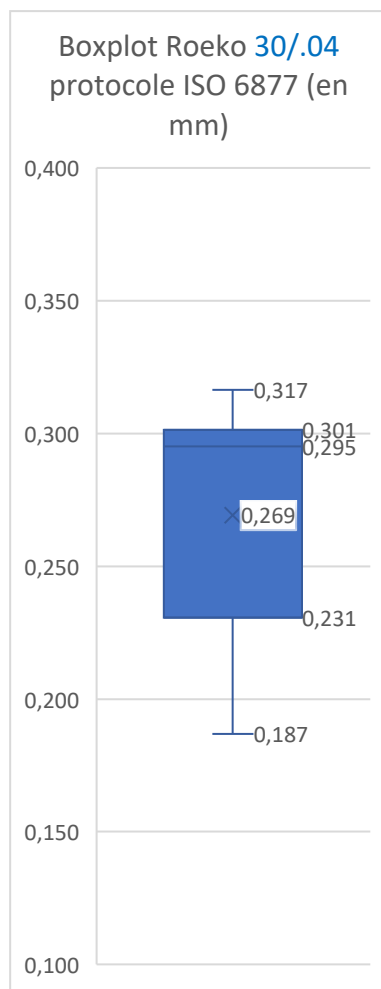


Figure 89 : Boxplot Roeko 30/.04 selon le protocole ISO 6877 (en mm).

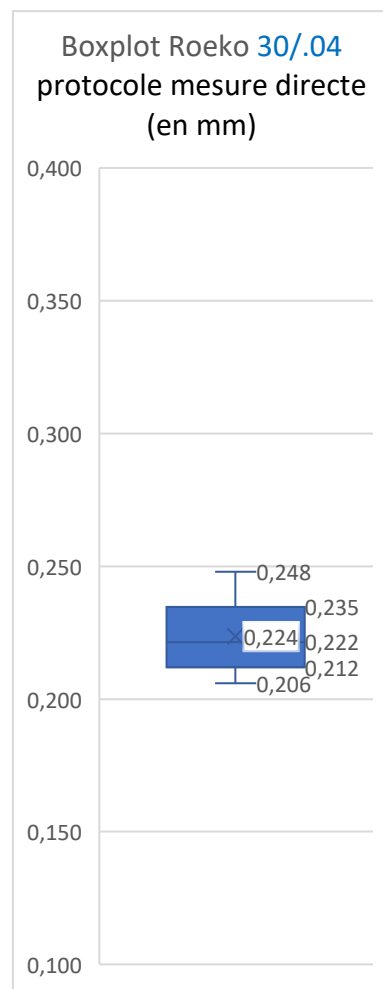


Figure 90 : Boxplot Roeko 30/.04 selon le protocole de mesure directe (en mm).

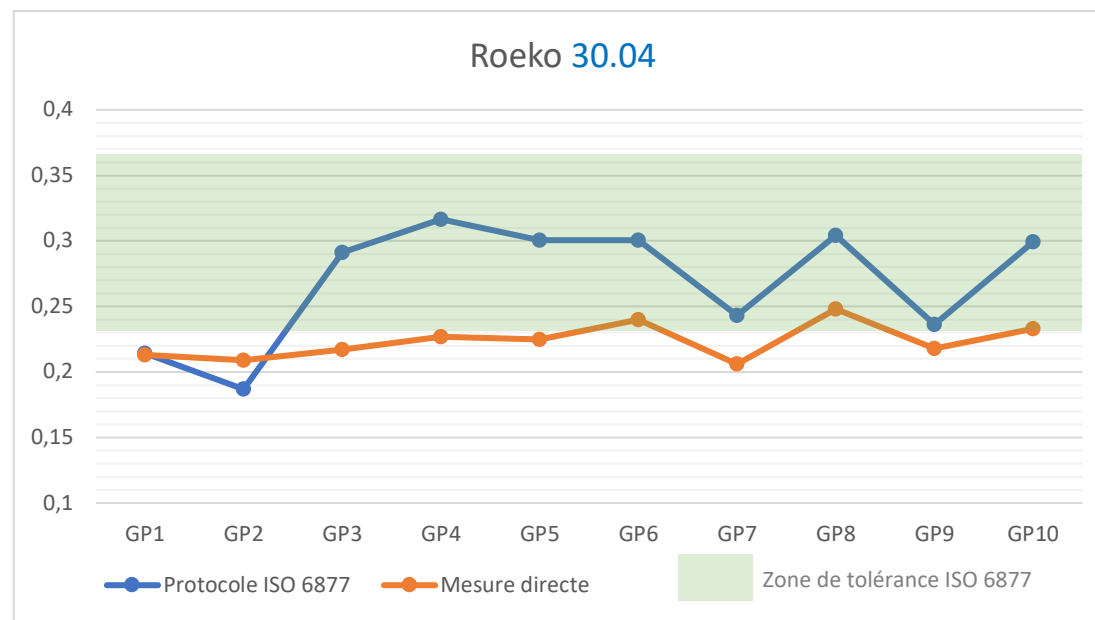


Figure 91 : Graphique des résultats de Roeko 30/.04 de D0 en mm en fonction de chaque cône.

- D'après les mesures réalisées selon le **protocole ISO 6877**, les diamètres calculés **ne correspondent pas** à la plage de tolérance de cette norme.
- D'après les mesures réalisées selon le protocole de **mesure direct**, les diamètres mesurés **ne correspondent pas** à la plage de tolérance de la norme ISO 6877.
- La distribution des valeurs de **D0** est plus condensée avec le protocole de **mesure directe**.
- La médiane la plus proche de la valeur nominale est celle du protocole **ISO 6877**.
- D'après les tests statistiques non paramétriques de Mann-Whitney, les résultats obtenus selon le protocole ISO 6877 **sont statistiquement différents** à ceux obtenus avec la méthode de mesure directe ( $P < 0,5$ ).



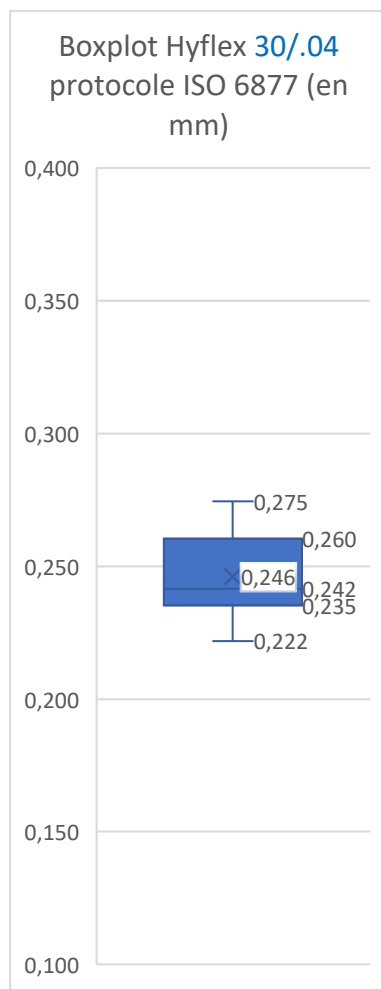


Figure 92 : Boxplot Hyflex 30/.04 selon le protocole ISO 6877 (en mm).

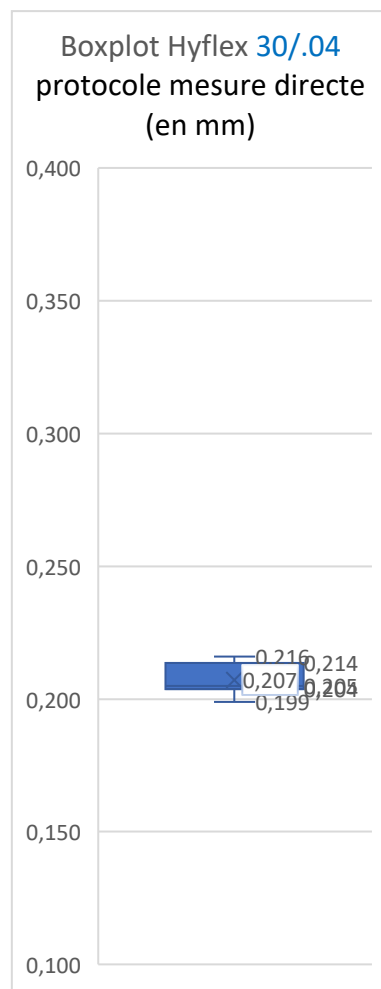


Figure 93 : Boxplot Hyflex 30/.04 selon le protocole de mesure directe (en mm).

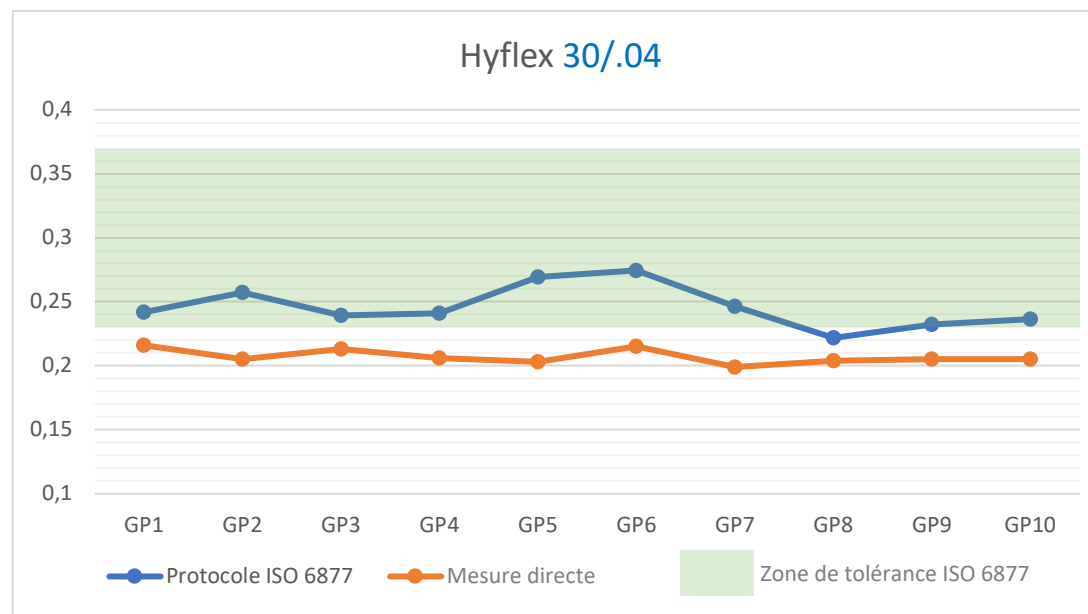


Figure 94 : Graphique des résultats de Hyflex 30/.04 de D0 en mm en fonction de chaque cône.

- D'après les mesures réalisées selon le **protocole ISO 6877**, les diamètres calculés **ne correspondent pas** à la plage de tolérance de cette norme.
- D'après les mesures réalisées selon le protocole de **mesure directe**, les diamètres mesurés **ne correspondent pas** à la plage de tolérance de la norme ISO 6877.
- La distribution des valeurs de **D0** est plus condensée avec le protocole de **mesure directe**.
- La médiane la plus proche de la valeur nominale est celle du protocole **ISO 6877**.
- D'après les tests statistiques non paramétriques de Mann-Whitney, les résultats obtenus selon le protocole ISO 6877 **sont statistiquement différents** à ceux obtenus avec la méthode de mesure directe ( $P < 0,0001$ ).

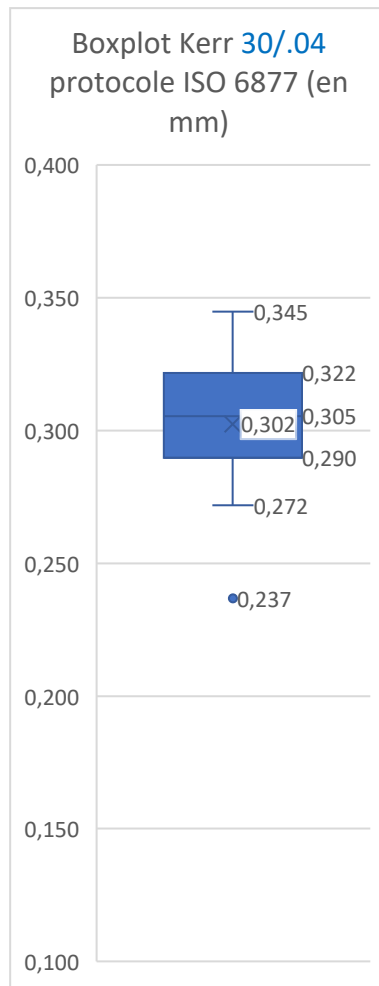


Figure 95 : Boxplot Kerr 30/.04 selon le protocole ISO 6877 (en mm).

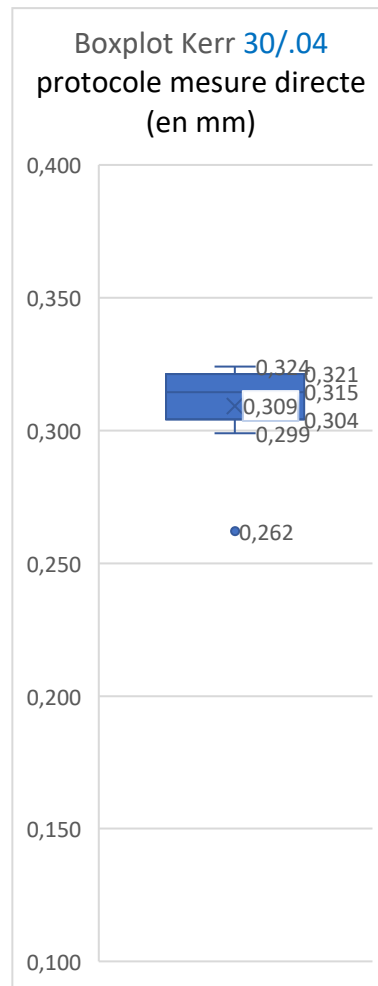


Figure 96 : Boxplot Kerr 30/.04 selon le protocole de mesure directe (en mm).

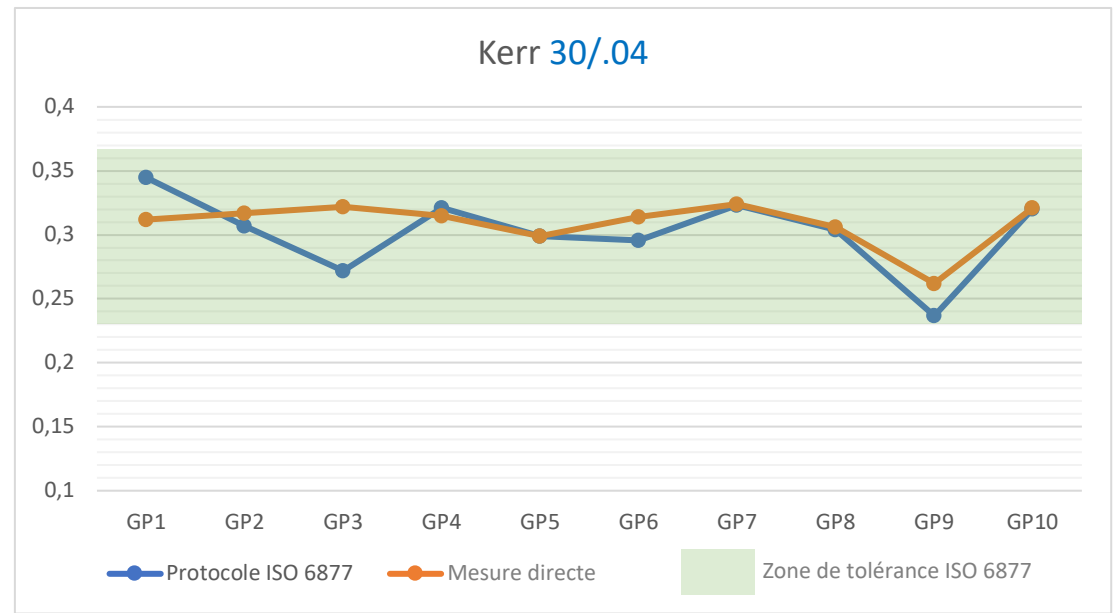


Figure 97 : Graphique des résultats de Kerr 30/.04 de D0 en mm en fonction de chaque cône.

- D'après les mesures réalisées selon le **protocole ISO 6877**, les diamètres calculés **correspondent** à la plage de tolérance de cette norme.
- D'après les mesures réalisées selon le protocole de **mesure directe**, les diamètres mesurés **correspondent** à la plage de tolérance de la norme ISO 6877.
- La distribution des valeurs de **D0** est plus condensée avec le protocole **de mesure directe**.
- La médiane la plus proche de la valeur nominale est celle du protocole **ISO 6877**.
- D'après les tests statistiques non paramétriques de Mann-Whitney, les résultats obtenus selon le protocole ISO 6877 **ne sont pas statistiquement différents** à ceux obtenus avec la méthode de mesure directe.

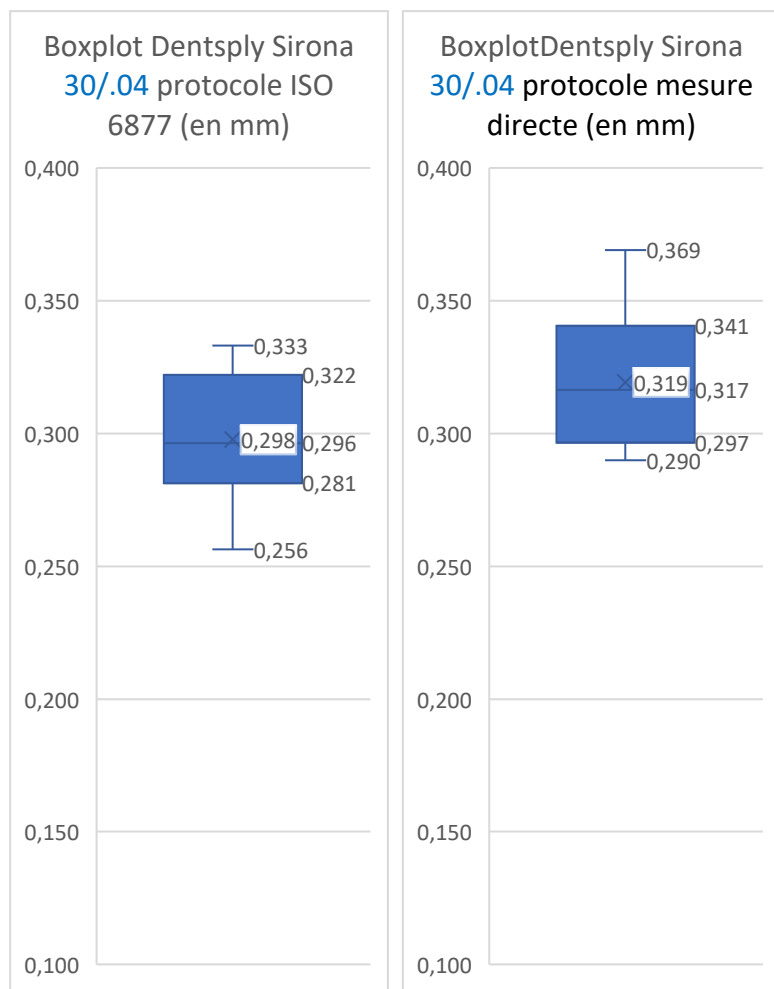


Figure 98 : Boxplot Dentsply Sirona 30/.04 selon le protocole ISO 6877 (en mm).  
 Figure 99 : Boxplot Dentsply Sirona 30/.04 selon le protocole de mesure directe (en mm).

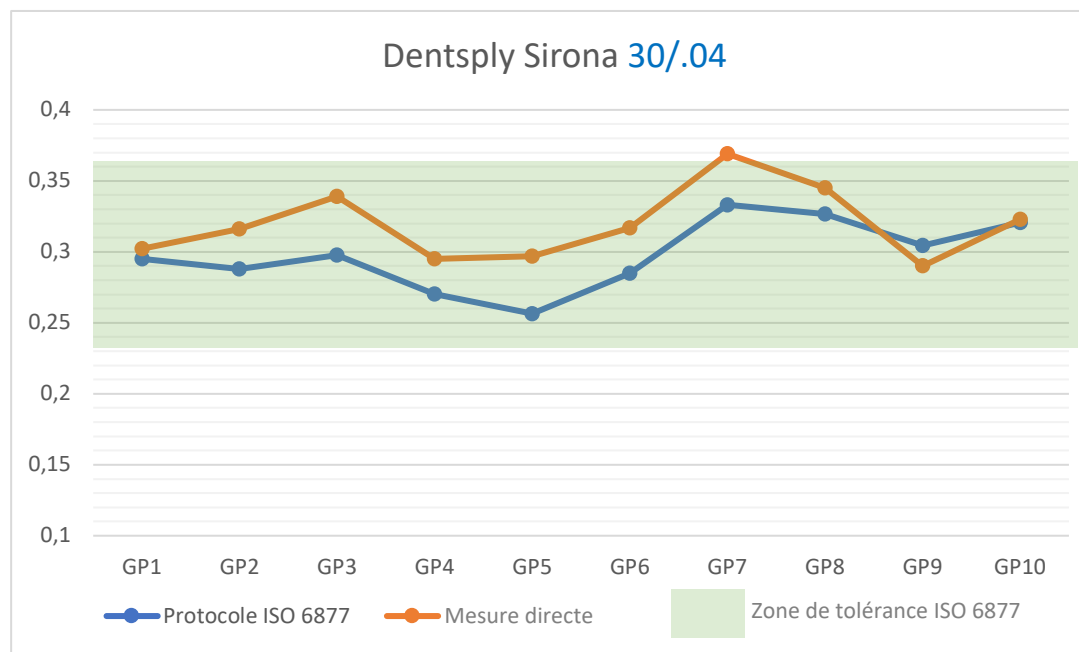


Figure 100 : Graphique des résultats de Dentsply Sirona 30/.04 de D0 en mm en fonction de chaque cône.

- D'après les mesures réalisées selon le **protocole ISO 6877**, les diamètres calculés **correspondent** à la plage de tolérance de cette norme.
- D'après les mesures réalisées selon le protocole de **mesure directe**, les diamètres mesurés **ne correspondent pas** à la plage de tolérance de la norme ISO 6877.
- La distribution des valeurs de **D0** est plus condensée avec le protocole **ISO 6877**.
- La médiane la plus proche de la valeur nominale est celle du protocole **ISO 6877**.
- D'après les tests statistiques non paramétriques de Mann-Whitney, les résultats obtenus selon le protocole ISO 6877 **ne sont pas statistiquement différents** à ceux obtenus avec la méthode de mesure directe.

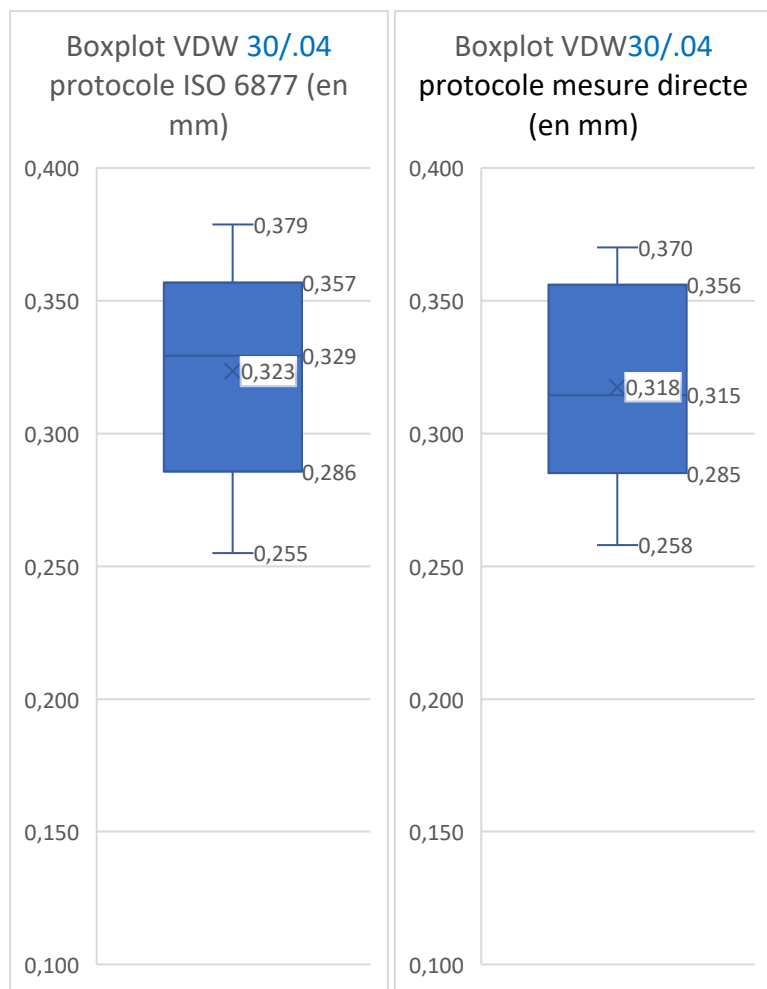


Figure 101 : Boxplot VDW 30/.04 selon le protocole ISO 6877 (en mm).

Figure 102 : Boxplot VDW 30/.04 selon le protocole de mesure directe (en mm).

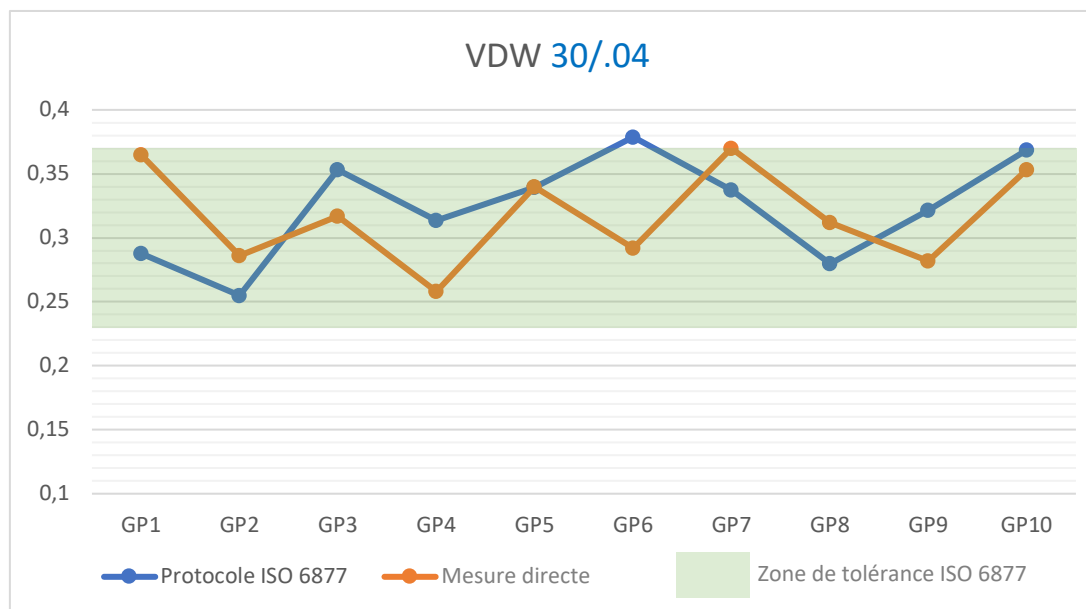


Figure 103 : Graphique des résultats de VDW 30/.04 de D0 en mm en fonction de chaque cône.

- D'après les mesures réalisées selon le **protocole ISO 6877**, les diamètres calculés **ne correspondent pas** à la plage de tolérance de cette norme.
- D'après les mesures réalisées selon le protocole de **mesure directe**, les diamètres mesurés **correspondent** à la plage de tolérance de la norme ISO 6877.
- La distribution des valeurs de **D0** est plus condensée avec le protocole **de mesure directe**.
- La médiane la plus proche de la valeur nominale est celle du protocole **de mesure directe**.
- D'après les tests statistiques non paramétriques de Mann-Whitney, les résultats obtenus selon le protocole ISO 6877 **ne sont pas statistiquement différents** à ceux obtenus avec la méthode de mesure directe.

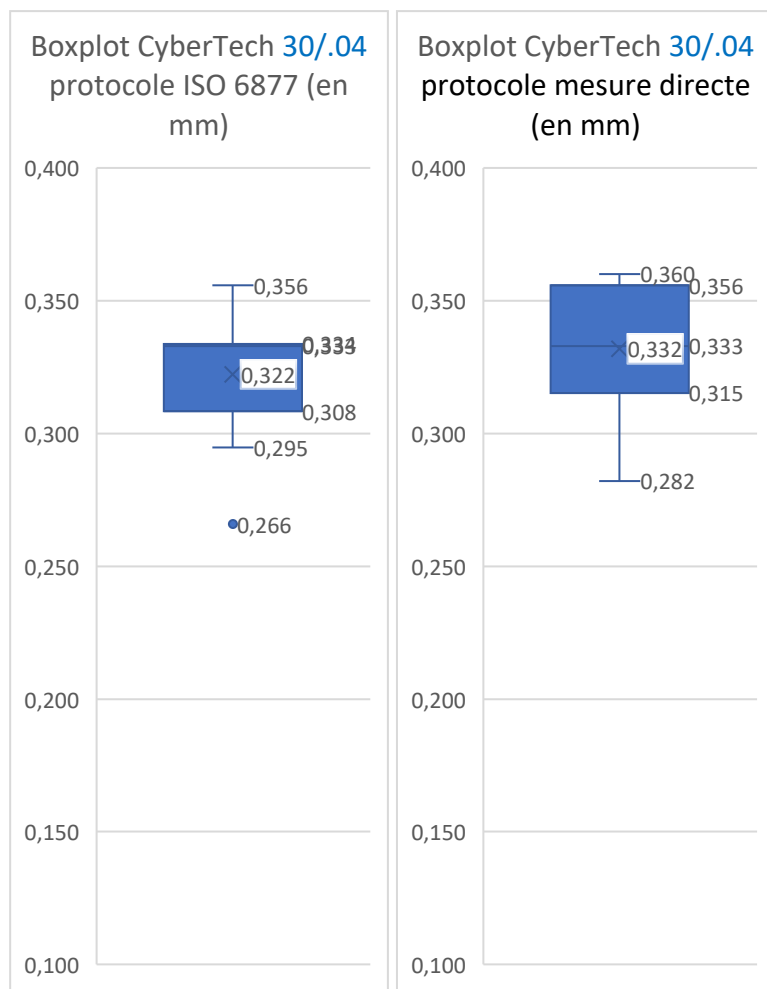


Figure 104 : Boxplot CyberTech 30/.04 selon le protocole ISO 6877 (en mm).

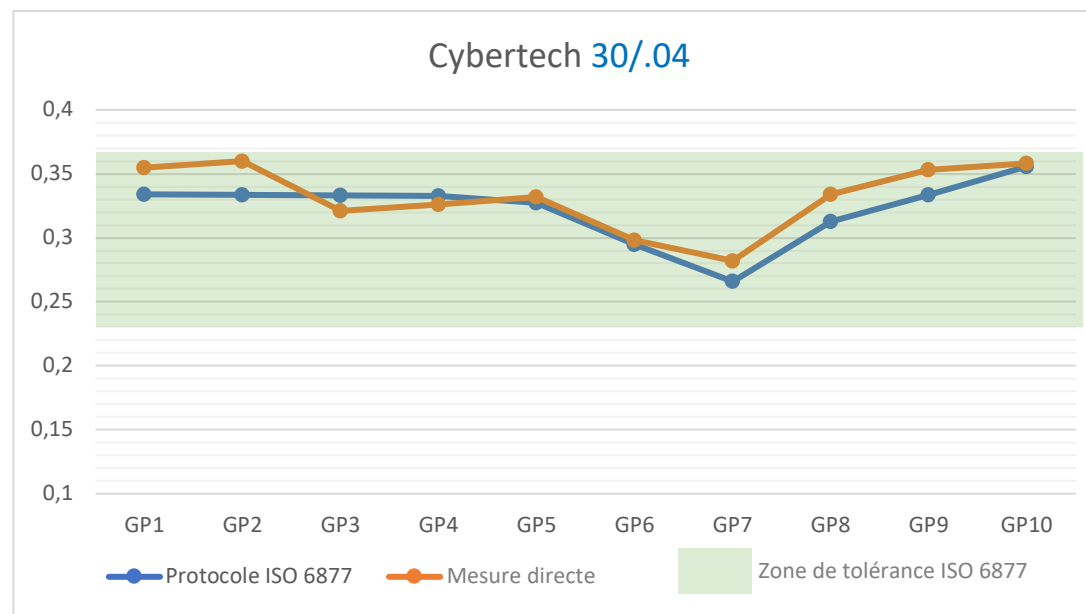


Figure 106 : Graphique des résultats de Cybertech 30/.04 de D0 en mm en fonction de chaque cône.

- D'après les mesures réalisées selon le **protocole ISO 6877**, les diamètres calculés **correspondent** à la plage de tolérance de cette norme.
- D'après les mesures réalisées selon le protocole de **mesure directe**, les diamètres mesurés **correspondent** à la plage de tolérance de la norme ISO 6877.
- La distribution des valeurs de **D0** est plus condensée avec le protocole **ISO 6877**.
- La médiane est **égale** à 0,333 dans les 2 protocoles.
- D'après les tests statistiques non paramétriques de Mann-Whitney, les résultats obtenus selon le protocole ISO 6877 **ne sont pas statistiquement différents** à ceux obtenus avec la méthode de mesure directe.

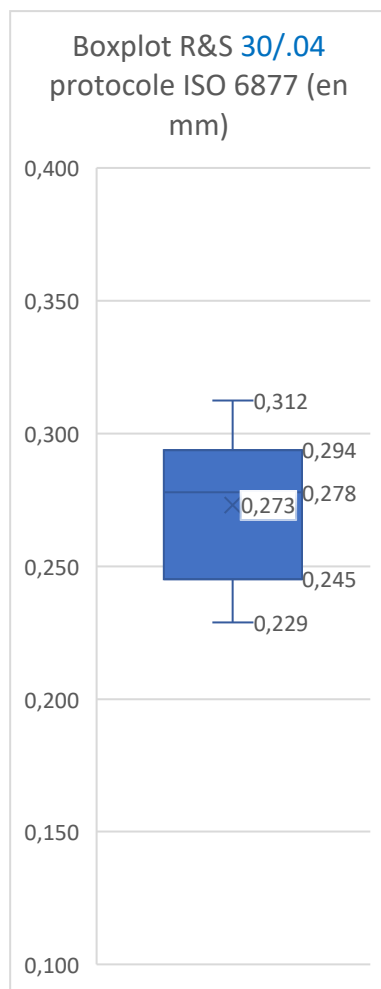


Figure 107 : Boxplot R&S 30/.04 selon le protocole ISO 6877 (en mm).

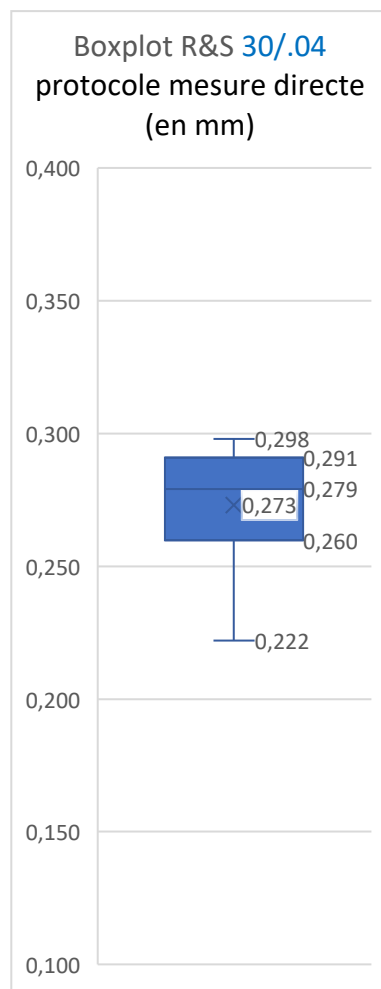


Figure 108 : Boxplot R&S 30/.04 selon le protocole de mesure directe (en mm).

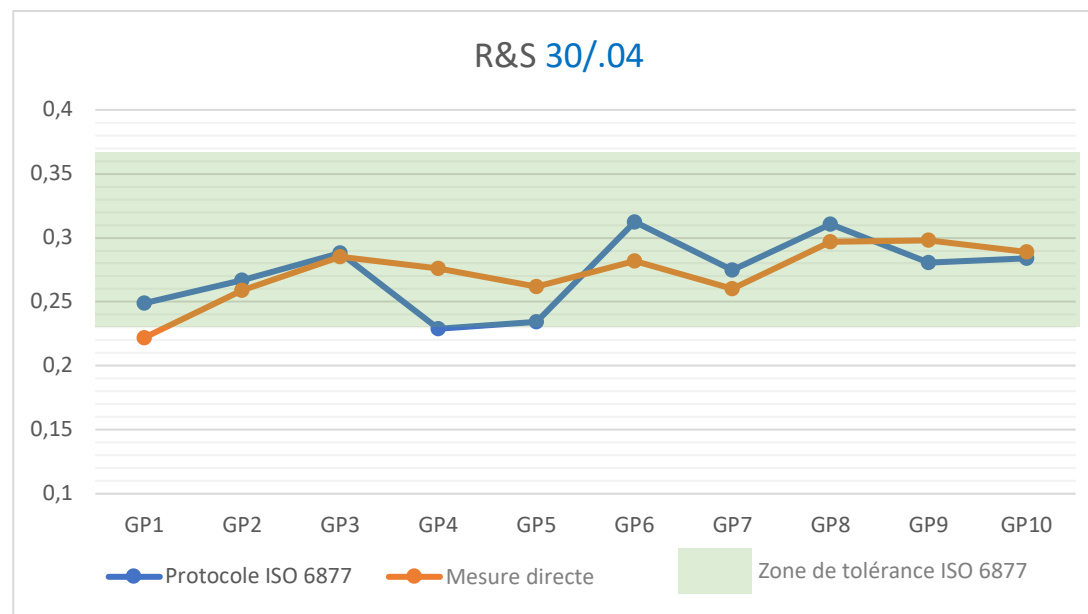


Figure 109 : Graphique des résultats de R&S 30/.04 de D0 en mm en fonction de chaque cône.

- D'après les mesures réalisées selon le **protocole ISO 6877**, les diamètres calculés **ne correspondent pas** à la plage de tolérance de cette norme.
- D'après les mesures réalisées selon le protocole de **mesure directe**, les diamètres mesurés **ne correspondent pas** à la plage de tolérance de la norme ISO 6877.
- La distribution des valeurs de **D0** est plus condensée avec le protocole de **mesure directe**.
- La médiane la plus proche de la valeur nominale est celle du protocole de **mesure directe**.
- D'après les tests statistiques non paramétriques de Mann-Whitney, les résultats obtenus selon le protocole ISO 6877 **ne sont pas statistiquement différents** à ceux obtenus avec la méthode de mesure directe.

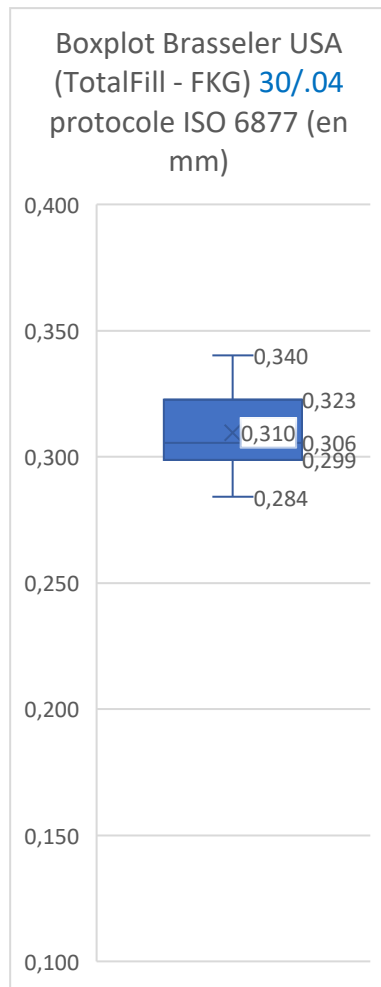


Figure 110 : Boxplot Brasseler USA (TotalFill (FKG)) 30/.04 selon le protocole ISO 6877 (en mm).

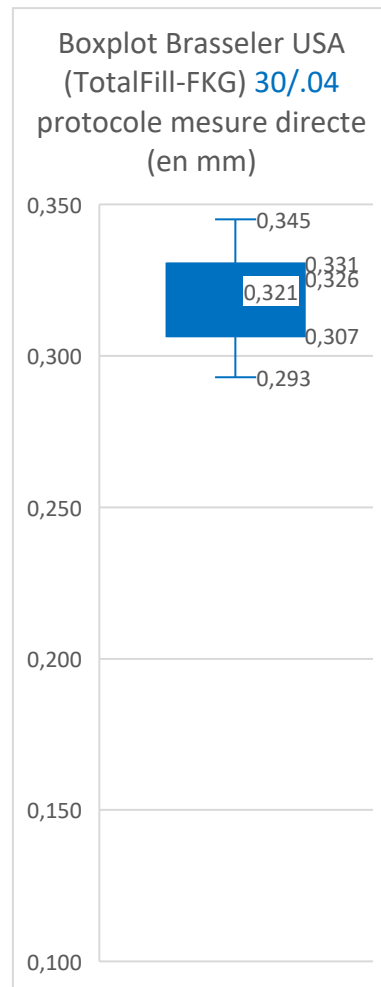


Figure 111 : Boxplot Brasseler USA (TotalFill (FKG)) 30/.04 selon le protocole de mesure directe (en mm).

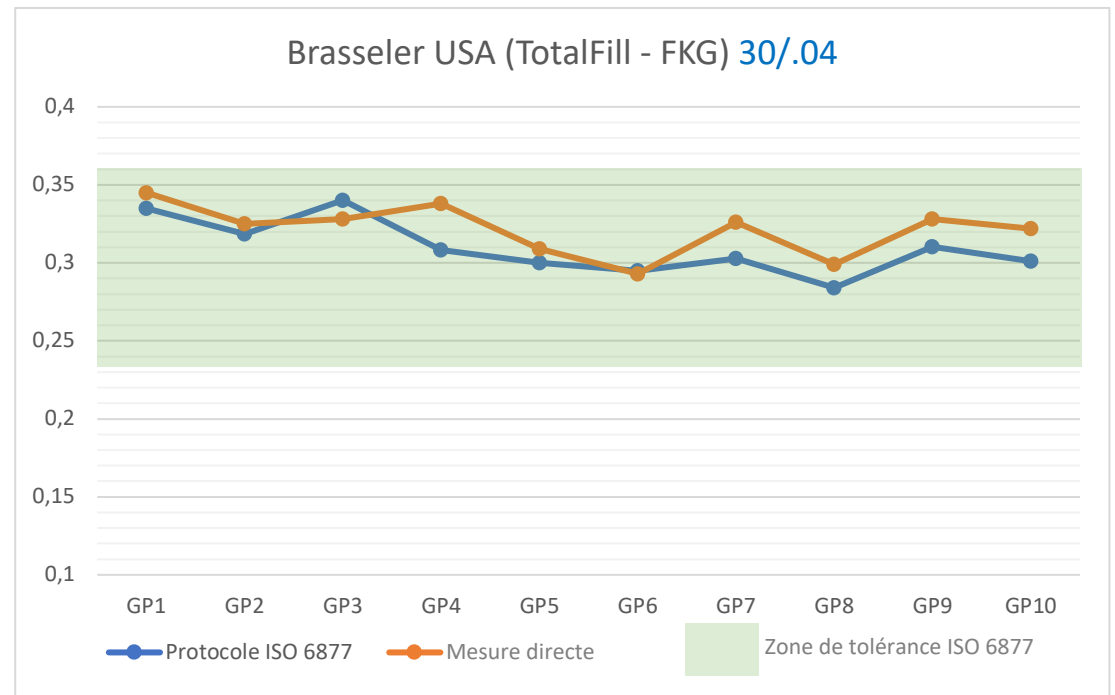


Figure 112 : Graphique des résultats de Brasseler USA (TotalFill (FKG)) 30/.04 de D0 en mm en fonction de chaque cône.

- D'après les mesures réalisées selon le **protocole ISO 6877**, les diamètres calculés **correspondent** à la plage de tolérance de cette norme.
- D'après les mesures réalisées selon le protocole de **mesure directe**, les diamètres mesurés **correspondent** à la plage de tolérance de la norme ISO 6877.
- La distribution des valeurs de **D0** est plus condensée avec le protocole **ISO 6877**.
- La médiane la plus proche de la valeur nominale est celle du protocole **ISO 6877**.
- D'après les tests statistiques non paramétriques de Mann-Whitney, les résultats obtenus selon le protocole ISO 6877 **ne sont pas statistiquement différents** à ceux obtenus avec la méthode de mesure directe.

#### 4.3.4.3. Cônes à conicité variable

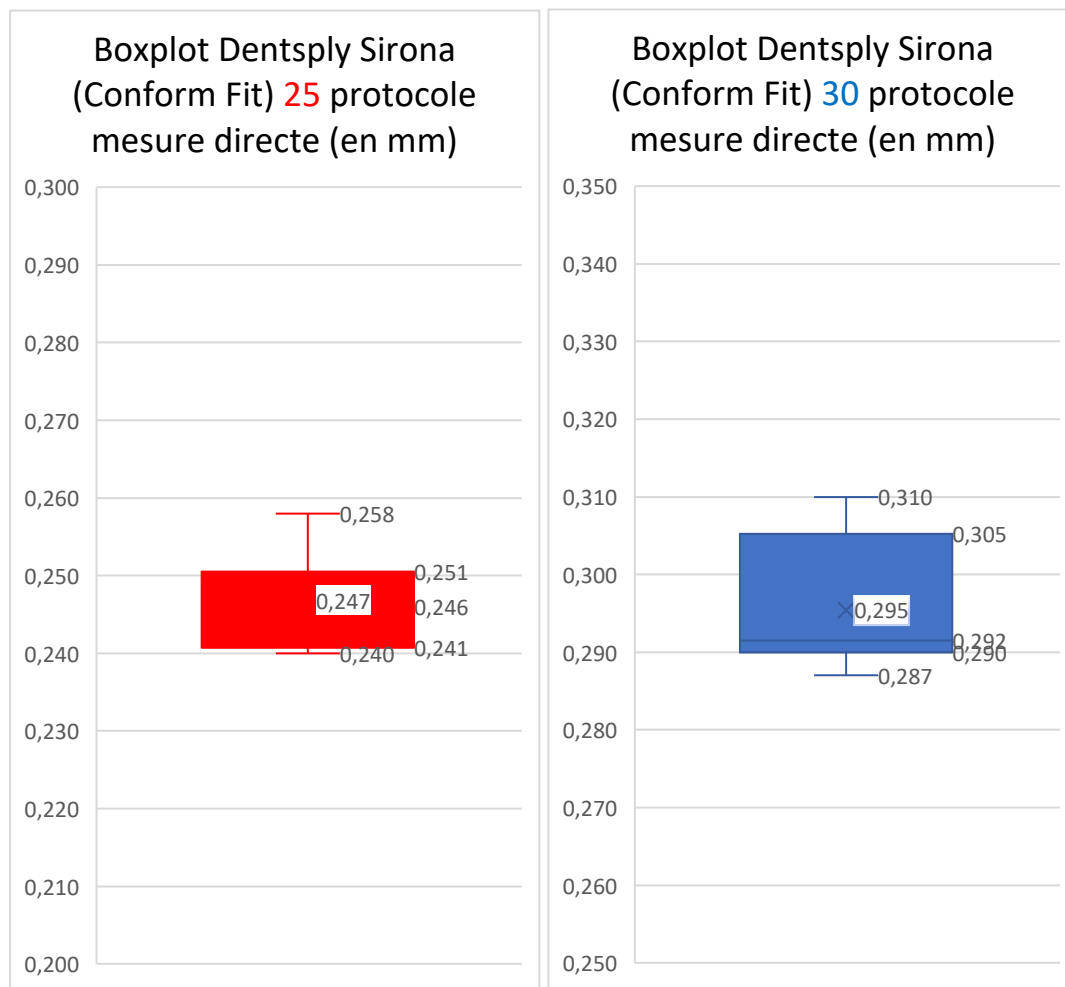


Figure 113 : Boxplot Dentsply Sirona (Conform Fit) 25 selon le protocole de mesure directe.

Figure 114 : Boxplot Dentsply Sirona (Conform Fit) 30 selon le protocole de mesure directe.

Cas spécifique des cônes Conform Fit® de chez Dentsply Sirona® (Figures 113 et 114). Ils n'ont pas été étudiés avec le protocole ISO 6877 car ils présentent une conicité variable. Cependant ils ont été mesurés avec le protocole de mesure directe.

Concernant la médiane des cônes en 0,25mm de diamètre de pointe, elle est à 0,246, soit seulement à 4 microns du 0,25mm annoncé. Avec un diamètre **D0** à  $\pm 0,011$ mm maximum.

Concernant la médiane des cônes en 0,30mm de diamètre de pointe, elle est à 0,295, soit seulement à 5 microns du 0,30mm annoncé. Avec un diamètre **D0** à  $\pm 0,015$ mm maximum.

Il est question ici des séries de cônes les plus précis et les plus justes qu'il a été possible de mesurer. Dentsply Sirona® les annonce à une précision de  $\pm 0,03$ mm (Mefti, 2023). Il semble, dans les mesures effectuées dans cette étude, que les diamètres de pointes de ces cônes sont même plus précis que l'amplitude de  $\pm 0,03$ mm annoncée par l'industriel.



#### 4.3.5. Proposition d'un score de confiance aux protocoles

Pour comparer les résultats obtenus précédemment et améliorer la lisibilité des résultats, 1 point est attribué à chaque fois que le protocole remplit la condition donnée pour chaque colonne ou si un type de mesure a montré une supériorité par rapport à l'autre. Le tableau se rapporte aux données exprimées dans les parties 4.3.4.1 et du 4.3.4.2.

|                  | Protocole ISO 6877                                                   |                                                  |                                                    | Protocole mesure direct                                              |                                                                  |                                                    |
|------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
|                  | Valeurs D0 des cônes respectant l'intervalle requis par la norme ISO | Distribution plus condensée qu'en mesure directe | Médiane plus proche de la valeur nominale annoncée | Valeurs D0 des cônes respectant l'intervalle requis par la norme ISO | Distribution plus condensée que dans le protocole norme ISO 6877 | Médiane plus proche de la valeur nominale annoncée |
| Points attribués | 9                                                                    | 2                                                | 13                                                 | 15                                                                   | 21                                                               | 11                                                 |
| Total de points  | 24                                                                   |                                                  |                                                    | 47                                                                   |                                                                  |                                                    |

Tableau 6 : Proposition de score de confiance aux protocoles.

#### 4.3.6. Comparaison inter-marques

Après avoir effectué une comparaison intra-marques des protocoles ISO 6877 et de mesure directe, il est intéressant de pouvoir comparer les marques de cônes entre elles. Quatre histogrammes (Figures 115, 116, 117, 118) présentent les moyennes et les écarts-types obtenus pour chaque marque de cône et selon les 2 protocoles.

Les données de comparaison inter-marques ont été analysées à l'aide des tests statistiques non-paramétriques de type Kruskal-Wallis comme mentionné en (4.2.5.2). Des différences statistiquement significatives entre les marques ont été trouvées pour une valeur nominale et un protocole donné.

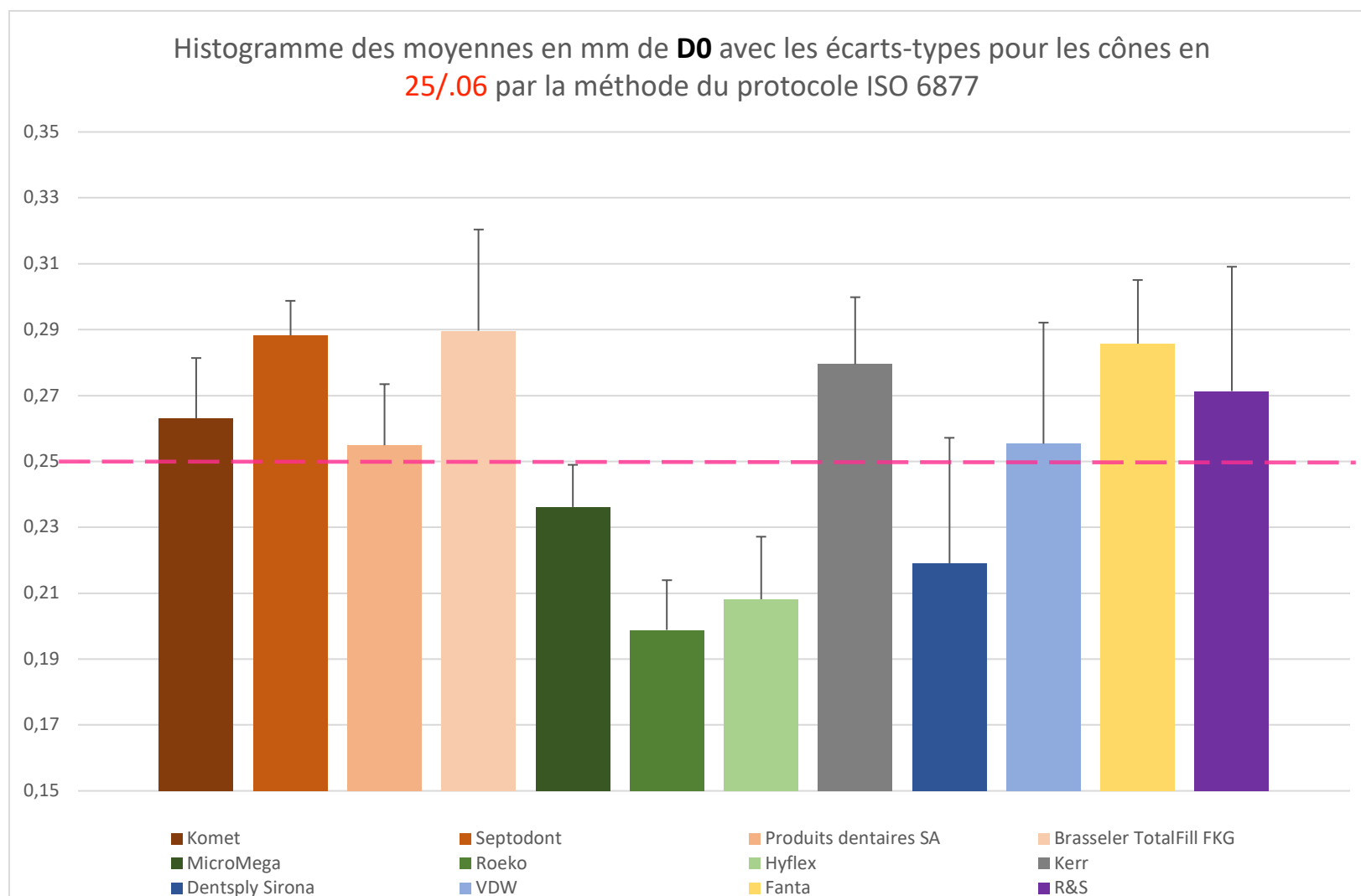


Figure 115 : Histogramme des moyennes en mm de **D0** avec les écart-types pour les cônes en 25/.06 par la méthode du protocole ISO 6877.

Pour les cônes en **25/.06** dont le diamètre de pointe D0 a été étudié sous l'angle du protocole ISO 6877, les marques ayant obtenu la moyenne la plus proche de la valeur nominale sont : 1. Produits dentaires SA, 2. VDW, 3. Komet.

Les tests statistiques sur les résultats obtenus concernant les cônes en 25/.06 étudiés sous l'angle du protocole ISO 6877 montrent des différences significatives inter-marques (Figure 115) :

- Komet > Roeko ( $P < 0,05$ )
- MicroMega < Septodont ( $P < 0,05$ )
- Roeko < Septodont ( $P < 0,0001$ )
- HyFlex < Septodont ( $P < 0,0001$ )
- Dentsply Sirona < Septodont ( $P < 0,01$ ) Roeko < Kerr ( $P < 0,001$ )
- Roeko < Fanta ( $P < 0,0001$ )
- Roeko < R&S ( $P < 0,01$ )
- Roeko < Brasseler USA TotalFill FKG ( $P < 0,0001$ )
- HyFlex < Kerr ( $P < 0,01$ )
- HyFlex < Fanta ( $P < 0,001$ )
- HyFlex < R&S ( $P < 0,05$ )
- HyFlex < Brasseler USA TotalFill FKG ( $P < 0,001$ )
- Dentsply Sirona < Fanta ( $P < 0,01$ )
- Dentsply Sirona < Brasseler USA TotalFill FKG ( $P < 0,05$ )

→ absence de différence significative entre les 3 « meilleures marques ».

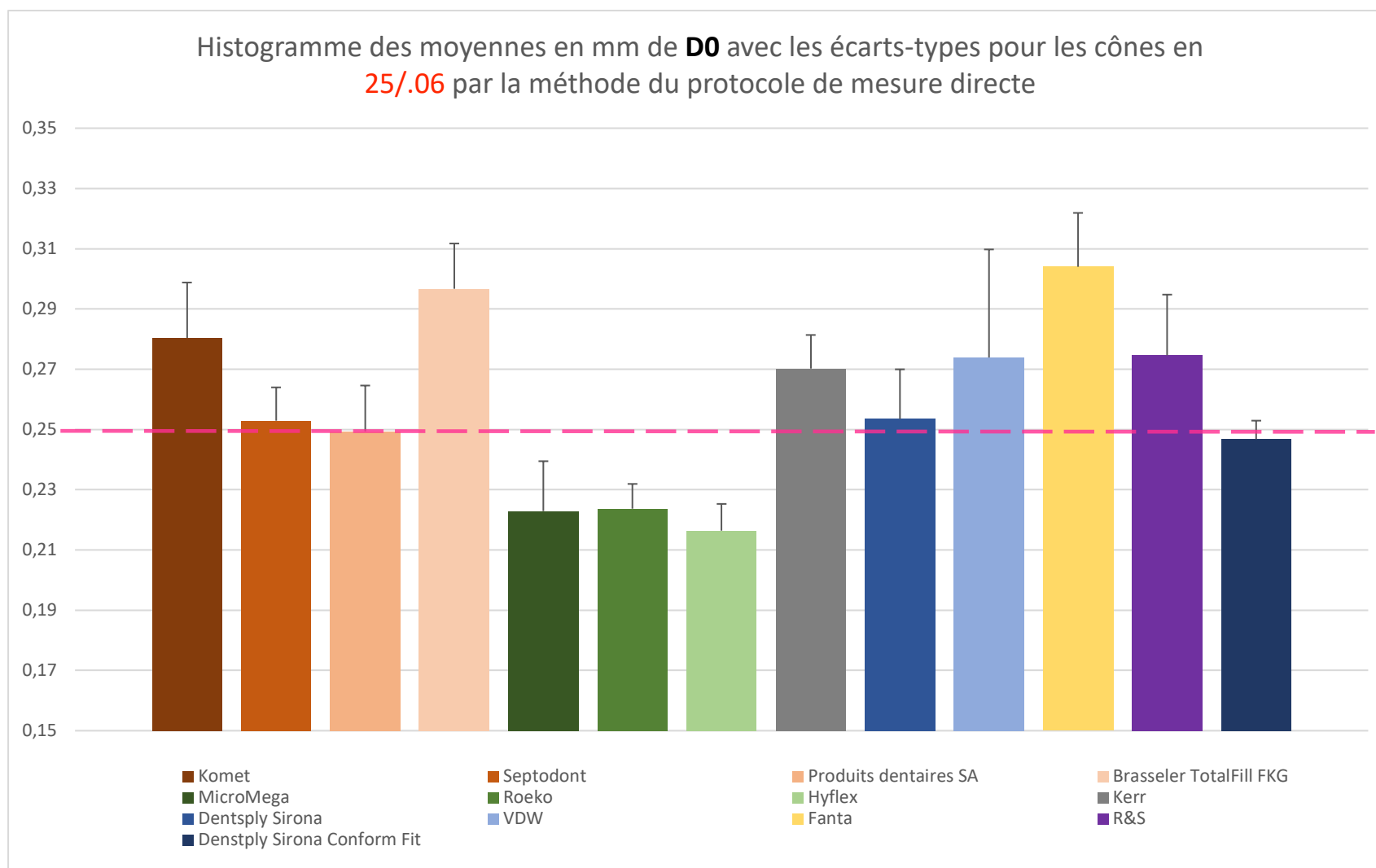


Figure 116 : Histogramme des moyennes en mm de D0 avec les écart-types pour les cônes en 25/.06 par la méthode du protocole directe.

Pour les cônes en **25/.06** dont le diamètre de pointe D0 a été étudié sous l'angle du protocole de mesure directe, les marques ayant obtenu la moyenne la plus proche de la valeur nominale sont : 1. Septodont, 2. Dentsply Sirona, 3. Produits dentaires SA.

Les tests statistiques sur les résultats obtenus concernant les cônes en 25/.06 étudiés sous l'angle du protocole de mesure directe montrent des différences significatives inter-marques (Figure 116) :

- MicroMega < Komet ( $P < 0,01$ )
- Roeko < Komet ( $P < 0,01$ )
- HyFlex < Komet ( $P < 0,001$ )
- Produits dentaire SA < Fanta ( $P < 0,05$ )
- MicroMega < Kerr ( $P < 0,05$ )
- MicroMega < VDW ( $P < 0,01$ )
- MicroMega < Fanta ( $P < 0,0001$ )
- MicroMega < R&S ( $P < 0,01$ )
- MicroMega < Brasseler USA TotalFill FKG ( $P < 0,0001$ )
- Roeko < Kerr ( $P < 0,05$ )
- Roeko < VDW ( $P < 0,01$ )
- Roeko < Fanta ( $P < 0,0001$ )
- Roeko < R&S ( $P < 0,01$ )
- Roeko < Brasseler USA TotalFill FKG ( $P < 0,0001$ )
- HyFlex < Kerr ( $P < 0,01$ )
- HyFlex < VDW ( $P < 0,001$ )

→ Absence de différence significative entre les 3 « meilleures marques ».

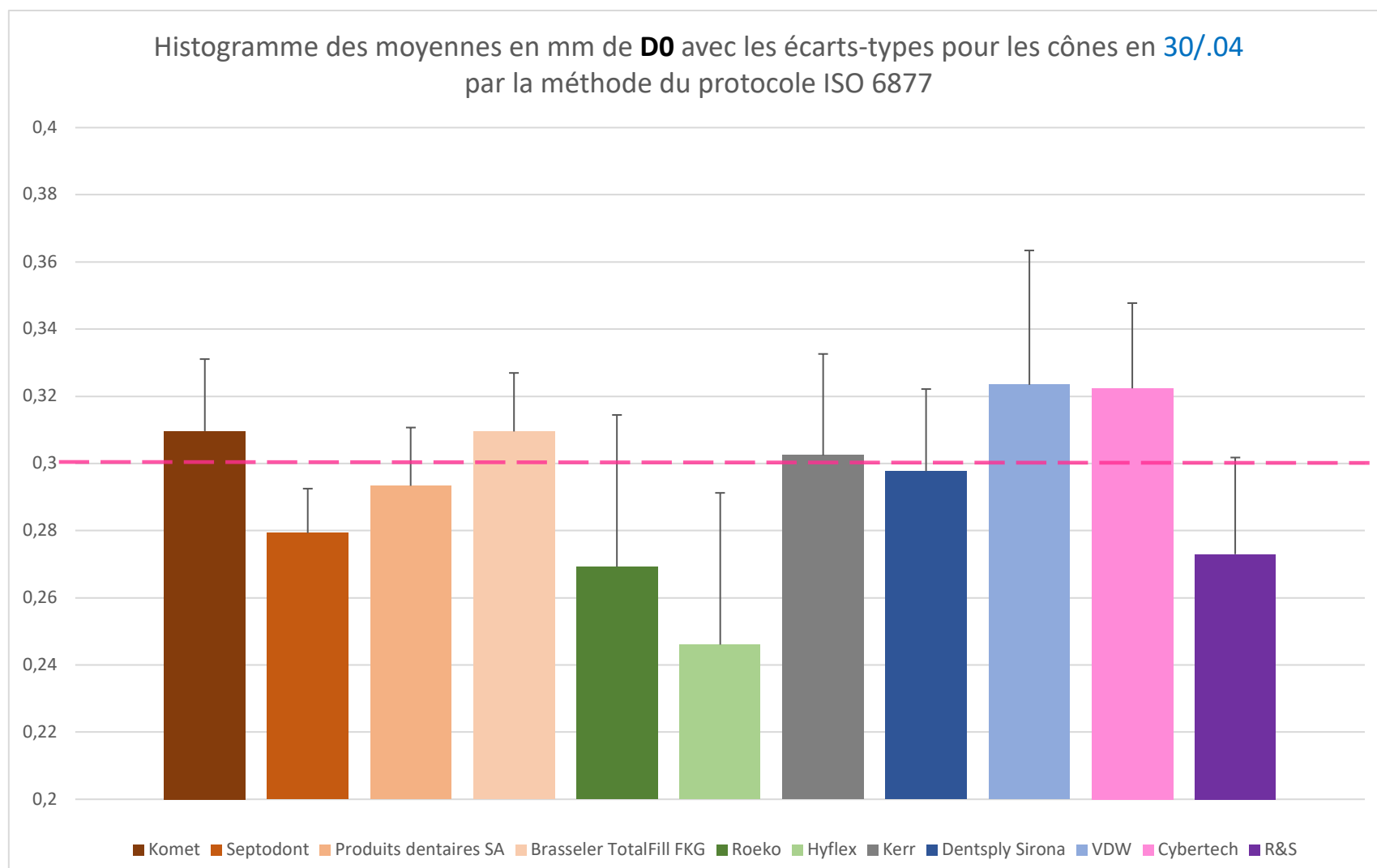


Figure 117 Histogramme des moyennes en mm de D0 avec les écart-types pour les cônes en 30/.04 par la méthode du protocole ISO 6877

Pour les cônes en 30/.04 dont le diamètre de pointe D0 a été étudié sous l'angle du protocole ISO 6877, les marques ayant obtenu la moyenne la plus proche de la valeur nominale sont : 1. Dentsply Sirona, 2. Kerr, 3. Produits dentaires SA.

Les tests statistiques sur les résultats obtenus concernant les cônes en 30/.04 étudiés sous l'angle du protocole ISO 6877 montrent des différences significatives inter-marques (Figure 117) :

- HyFlex < Komet ( $P < 0,01$ )
- Septodont < CyberTech ( $P < 0,05$ )
- HyFlex < Brasseler USA TotalFill FKG ( $P < 0,01$ )
- HyFlex < Kerr ( $P < 0,05$ )
- HyFlex < VDW ( $P < 0,001$ )
- HyFlex < CyberTech ( $P < 0,0001$ )
- R&S < CyberTech ( $P < 0,05$ )

→ Absence de différence significative entre les 3 « meilleures marques ».

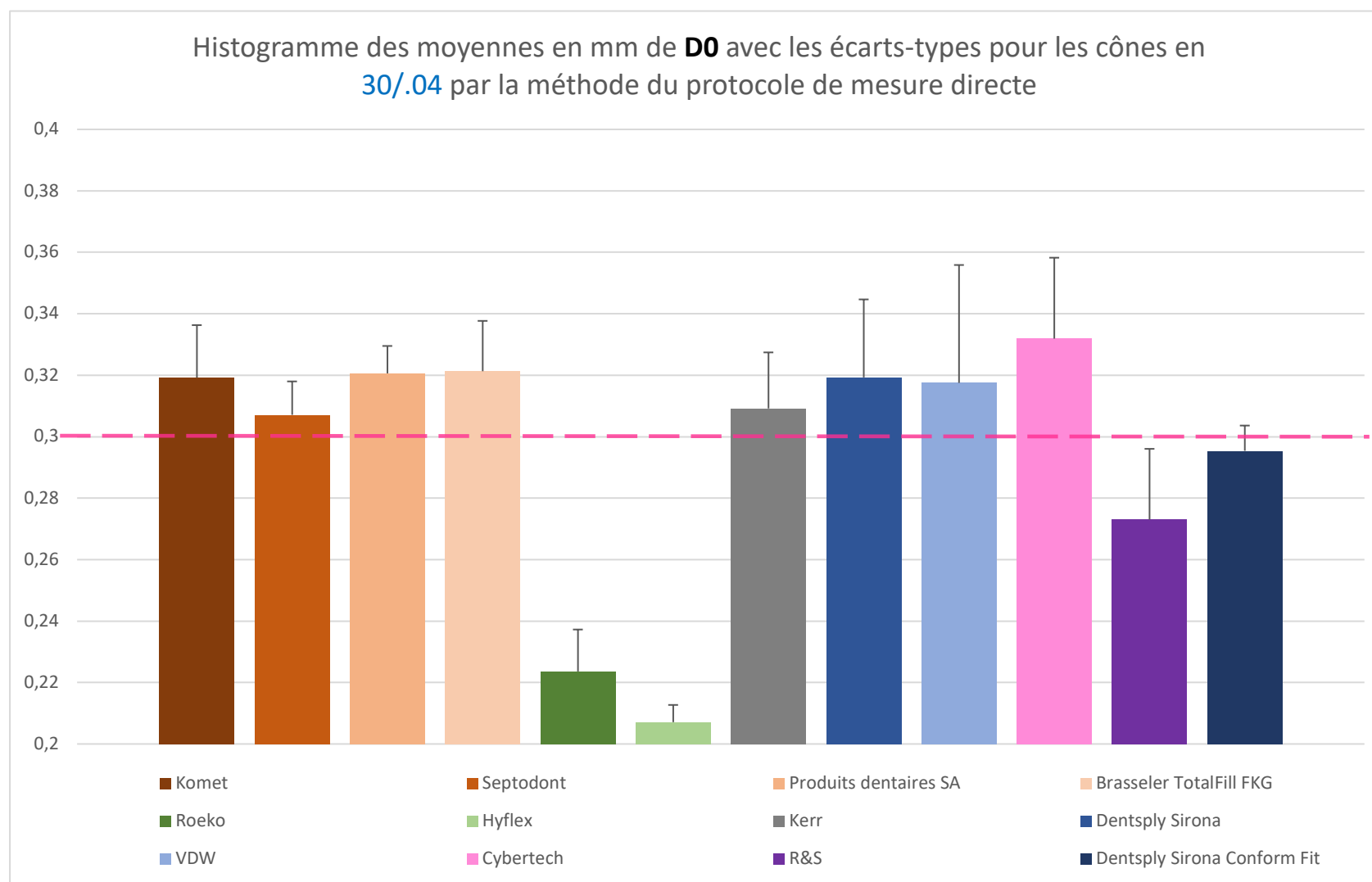


Figure 118 : Histogramme des moyennes en mm de D0 avec les écart-types pour les cônes en 30/.04 par la méthode du protocole de mesure directe.

Pour les cônes en **30/.04** dont le diamètre de pointe D0 a été étudié sous l'angle du protocole ISO 6877, les marques ayant obtenu la moyenne la plus proche de la valeur nominale sont : 1. Septodont, 2. Kerr, 3. VDW.



Les tests statistiques sur les résultats obtenus concernant les cônes en 30/.04 étudiés sous l'angle du protocole de mesure directe montrent des différences significatives inter-marques (Figure 118) :

- Roeko < Komet ( $P < 0,01$ )
- HyFlex < Komet ( $P < 0,001$ )
- HyFlex < Septodont ( $P < 0,05$ )
- Roeko < Produits dentaires SA ( $P < 0,001$ )
- HyFlex < Produits dentaires SA ( $P < 0,0001$ )
- R&S < Produits dentaires SA ( $P < 0,05$ )
- Roeko < Brasseler USA TotalFill FKG ( $P < 0,001$ )
- HyFlex < Brasseler USA TotalFill FKG ( $P < 0,0001$ )
- R&S < Brasseler USA TotalFill FKG ( $P < 0,05$ )
- Roeko < Kerr ( $P < 0,05$ )
- Roeko < Dentsply Sirona ( $P < 0,01$ )
- Roeko < VDW ( $P < 0,05$ )
- Roeko < CyberTech ( $P < 0,0001$ )
- HyFlex < Kerr ( $P < 0,01$ )
- HyFlex < Dentsply Sirona ( $P < 0,001$ )
- HyFlex < VDW ( $P < 0,01$ )
- HyFlex < CyberTech ( $P < 0,0001$ )
- R&S < CyberTech ( $P < 0,01$ )

→ Absence de différence significative entre les 3 « meilleures marques ».

A partir des figures 115, 116, 117, 118, il a été possible de produire un classement des 3 meilleures marques de cônes, dont la moyenne se rapproche le plus de la valeur nominale. Les cônes Conform Fit® de chez Dentsply Sirona® ne figurent pas dans le classement car ils sont à conicité variable et donc non étudiables avec le protocole ISO 6877. Cependant, la mesure directe démontre chez eux une précision (écart-type faible) et une justesse de mesure (médiane de distribution proche de la valeur nominale) qui dépasse toutes les autres marques (Figures 113 et 114).

| Top 3 des marques de cônes<br>selon leur moyenne                                                          | 25/06<br>Protocole ISO<br>6877        | 25/06 Protocole de<br>mesure directe  | 30/04<br>Protocole ISO<br>6877        | 30/04 Protocole de<br>mesure directe |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| 1                                                                                                         | Produits<br>dentaires SA <sup>a</sup> | Septodont <sup>a</sup>                | Dentsply<br>Sirona <sup>a</sup>       | Septodont <sup>a</sup>               |
| 2                                                                                                         | VDW <sup>a</sup>                      | Dentsply Sirona <sup>a</sup>          | Kerr <sup>a</sup>                     | Kerr <sup>a</sup>                    |
| 3                                                                                                         | Komet <sup>a</sup>                    | Produits dentaires<br>SA <sup>a</sup> | Produits<br>dentaires SA <sup>a</sup> | VDW <sup>a</sup>                     |
| <i>Dans une même colonne, la même lettre en exposant indique une absence de différence significative.</i> |                                       |                                       |                                       |                                      |

Tableau 7 : Top 3 des marques de cônes concernant l'exactitude du diamètre de pointe.

#### 4.4. Discussion

La méthode de détermination du diamètre de pointe des cônes de GP selon le protocole ISO 6877 est couramment utilisée pour contrôler le diamètre de pointe des cônes de GP. Toutefois, comme nous avons pu le constater, celle-ci n'apparaît pas comme infaillible. La méthode de calcul selon le protocole ISO 6877 présente le défaut de supposer une conicité constante entre 3mm et 16mm et d'utiliser cette conicité théorique pour déterminer D0 à partir de D3. De plus, elle présente aussi le défaut d'utiliser des mesures obtenues dans un seul plan du cône et donc de ne pas considérer l'aspect tri-dimensionnel des cônes. La morphologie de ces derniers étant irrégulière comme le montre les figures 27, 28, 29, 33, 34 et 39, il est certain que les mesures diffèrent lorsque le plan de mesure change. La mesure directe, bien qu'elle souffre de la profondeur de champ du profilomètre, s'affranchit des données de conicité comparé à la norme en place. L'erreur de mesure pour la méthode ISO 6877 est de  $\pm 0,01\text{mm}$  contre  $\pm 0,02\text{mm}$  en mesure directe. Ce biais de mesure plus élevé en méthode directe est sans doute lié à l'opérateur et à sa difficulté à choisir où mesurer les diamètres de pointe sur le logiciel. Malgré une erreur de mesure légèrement plus élevée, la méthode de mesure directe propose, dans la majorité des cas, des résultats plus condensés autour de la médiane (Tableau 6) ; signe d'une très bonne précision et d'une bonne reproductibilité de la mesure.

Il est intéressant de noter que pour une même série de cônes les mesures obtenues peuvent totalement différer selon le protocole de mesure utilisé. (Figures 46, 67, 70, 79, 91, 94, 103). Ce résultat peut être imputé aux défauts des méthodes cités ci-dessus. D'ailleurs nous avons éliminé, lors de nos tests, un facteur d'irrégularité existant sur les cônes injectés/moulés (Figures 24 et 25). Un plan de joint est présent dans un plan unique du cône sur lequel nous avons évité de prendre les mesures.

Pour départager les deux protocoles nous avons essayé de proposer un « score de confiance » (Tableau 6). Ainsi, le protocole de mesure directe remporte 47 points contre 24 pour la méthode calculatoire. On peut conclure, selon ce score, à une meilleure pertinence du protocole de mesure directe quant à la mesure de **D0**.

Les études récentes concluent presque unanimement au respect de la norme ISO 6877 des cônes du marché (Haupt et coll., 2018 ; Cunningham et coll., 2006 ; Moule et coll., 2002). Ce n'est pas le cas dans notre étude, et ce indépendamment de la méthode de détermination. Beaucoup de références ne respectent pas les plages de tolérance ISO 6877 selon le protocole de cette norme ; on retrouve :

- Septodont® 25/.06
- Roeko® 25/.06 et 30/.04
- Hyflex® 25/.06 et 30/.04
- Kerr® 25/.06
- Dentsply Sirona® 25/.06
- VDW® 25/.06 et 30/.04
- Fanta® 25/.06
- R&S® 25/.06 et 30/.04
- Brasseler USA TotalFill FKG® 25/.06

Il en est de même avec le protocole de mesure directe. Les références ne respectant pas les plages de tolérances ISO sont :

- Komet® 25/.06
- VDW® 25/.06
- Fanta® 25/.06
- Brasseler USA TotalFill FKG® 25/.06
- Roeko® 30/.04
- Hyflex® 30/.04
- Dentsply Sirona® 30/.04
- R&S® 30/.04

Dans notre étude, 40% des marques selon le protocole ISO 6877 et 65% selon le protocole de mesure directe respectent la tolérance de la norme ISO. Il est intrigant de constater que la mesure directe permet de mieux inclure les références dans les plages de tolérances ISO 6877. Il est probable que les industriels ne s'arrêtent pas aux contrôles dictés par la norme ISO dans le développement de leurs cônes et qu'ils effectuent d'autres tests en interne en vue d'obtenir les « meilleures » pointes possibles.

D'après les tests statistiques non paramétriques de Mann-Whitney (cf. 4.2.6.1), pour environ 40% des cas (9/23) il y a une différence statistiquement significative entre la méthode de mesure ISO 6877 et la mesure directe. La distribution des résultats plus condensée pour la mesure directe (tableau 6) révèle les difficultés du protocole ISO 6877 à déterminer avec précision le diamètre de la pointe des cônes. Nous pouvons ainsi penser qu'un des facteurs justifiant l'absence d'homogénéité pour **D0** est la mauvaise gestion par certains industriels de la conicité de leurs cônes. Lors de l'insertion des cônes de GP au sein des blocs supports, tous ne dépassaient pas de la même longueur. Si cela peut s'expliquer par une différence de diamètre de pointe, certains cônes dépassaient plus que d'autres alors que leurs diamètres déterminés étaient similaires.

Parmi les séries de cônes qui obtiennent des résultats statistiquement différents entre les 2 méthodes, il y a autant de séries en 4% qu'en 6%. La différence de conicité ne semble pas avoir d'incidence sur la discordance entre les deux protocoles d'obtention de **D0**.

D'après les tests statistiques non-paramétriques de type Kruskal-Wallis associés à une correction de Dunn ( $\alpha = 0,05$ ) (cf. 4.2.6.1), il existe de nombreuses différences significatives entre les séries de cônes d'un même diamètre (pour un protocole donné) entre les marques. L'obtention des différences statistiquement significatives ( $P < 0,05$ ) entre les marques est surprenante sachant que les différents industriels sont censés proposer un produit équivalent, avec un diamètre de pointe calibré sur une référence précise. Un des facteurs pouvant cependant expliquer ce résultat réside dans les difficultés qu'ont les industriels à obtenir une reproductibilité constante au sein de leurs unités de production. Ceci remet grandement en question la capacité de certains industriels à obtenir des cônes avec un diamètre de pointe précis.

Les marques Roeko®, Hyflex® et Micro-Mega® montrent des résultats significativement différents avec les autres marques. L'unité de production de Coltene® d'où proviennent les cônes de ces marques propose des diamètres de pointe généralement bien inférieurs aux valeurs nominales annoncées (Figures 115, 116, 117, 118). Les moyennes de l'industriel se situent entre 0,198 et 0,246 et ce, quelle que soit la taille nominale annoncée 0,25 ou 0,30mm. Le manque d'information concernant la fabrication de ces cônes ne nous permet pas d'avancer dans la

compréhension de ce résultat. Les autres marques présentent de manière plus ponctuelle des diamètres de pointe avec des différences significatives (Figures 115, 116, 117, 118).

Les tendances observées dans les graphiques (Figures 115, 116, 117, 118) et l'absence de différences significatives entre certaines marques semblent confirmer notre hypothèse selon laquelle ces marques proviendraient des mêmes unités de production.

Les résultats de notre étude tendent à mettre en doute le respect de la norme ISO 6877 pour certains industriels. Parfois certaines marques apposant « ISO » sur leurs boîtes de cônes semblent ne pas respecter la norme, d'autres fois, au contraire, certains industriels n'apposent pas la marque « ISO » sur leurs boîtes alors qu'ils semblent respecter cette norme.

Au-delà des aspects de mesure et de calculs qui tendent à montrer une grande variabilité de **D0**, il a été possible d'observer de nombreux défauts sur les cônes de GP lors de leur analyse sous le profilomètre. Des défauts de conicité, des irrégularités de pointe, des défauts de morphologie, des impuretés ou encore des taches de colorant étaient présents sur certains cônes de GP (figures 26, 27, 28, 31, 32, 33, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 43).

Dentsply Sirona® se distingue en produisant les cônes les plus précis avec sa gamme Conform Fit®, considérée comme le haut de gamme de la marque. Ces cônes sont injectés au sein de moules. La marque affirme une précision autour de la valeur nominale de  $\pm 0,03\text{mm}$  (Mefti, 2023). Cependant, dans notre étude, les mesures directes suggèrent une précision encore meilleure, avoisinant  $\pm 0,015\text{ mm}$  autour de la valeur nominale.

L'injection/moulage est probablement la piste à privilégier pour un produit d'une plus grande précision.

Les cônes Fanta® sont aussi fabriqués par injection, mais il semblerait que ceux-ci souffrent pour l'instant de défauts constitutionnels majeurs (Figure 25).

Les cônes de gutta des marques Produits Dentaires SA®, Septodont®, Komet®, Brasseler USA® Total Fill® FKG® sont retrouvés de manière récurrente dans le « Top 3 » (Tableau 7). Ces quatre marques ont le même fabricant de cônes gutta-percha :

l'entreprise Sure Dent Corporation® située en Corée du Sud. Dans notre étude, Sure Dent Corporation® se classe donc deuxième en termes de précision et de justesse par rapport à ses concurrents. Leur site internet (<https://www.suredent.com/>) indique que les cônes sont roulés à la main. Il est étonnant d'obtenir une telle précision avec une méthode manuelle de production. De plus, leurs cônes sont plus droits que ceux de la concurrence et ne présentent presque aucun défaut lorsqu'ils sont observés au profilomètre.

## Conclusion de l'étude

Les cônes de GP retrouvés dans le commerce ne semblent pas tous parfaitement calibrés mais nous remarquons toutefois dans notre étude que certaines marques se distinguent par une meilleure précision. Nous avons pu constater des résultats significativement différents entre les marques et entre les cônes d'une même marque. Il existe ainsi une grande variabilité entre les cônes alors que les fabricants sont censés proposer le même dispositif médical. La norme ISO 6877 a le mérite d'exister mais qu'en est-il de son respect au vu des résultats obtenus dans notre étude ?

La technique de mesure directe semble appropriée pour déterminer le diamètre de pointe des cônes testés, d'autant plus si le design de la pointe du cône est un méplat. Notre protocole semble donc tout à fait approprié et pourrait sans doute, a minima, compléter la méthode de détermination actuelle.

## Conclusion de la thèse

Les résultats de l'étude menée dans cette thèse démontrent une large variabilité des diamètres de pointe des cônes de GP à l'origine de possibles mauvaises adaptations canalaires aux conséquences potentiellement délétères pour les patients.

L'erreur de mesure de la méthode directe est légèrement supérieure à celle du protocole ISO 6877 ( $\pm 0,02$  mm contre  $\pm 0,01$  mm) en raison du design des pointes des cônes. Malgré cela, la méthode directe semble être plus pertinente que la méthode ISO 6877 pour mesurer **D0**. Elle le serait d'autant plus si les industriels évoluaient pour développer des pointes en méplat.

Ces méplats peuvent s'obtenir industriellement de deux manières :

- fabriquer des cônes avec un diamètre de pointe inférieur à la valeur finale souhaitée puis les couper, toujours de manière industrielle, afin d'obtenir la valeur nominale exacte (Lopes et coll., 2000)
- favoriser une méthode de production par « injection/moulage » de la gutta-percha

Le design de pointe en méplat permet un contrôle facilité avec des outils de mesure microscopiques. Ce style de morphologie, lorsqu'il est maîtrisé, offre également une plus grande précision en termes de diamètre et est déjà calibré correctement, lorsque les cônes sont finis, en sortie de moule.

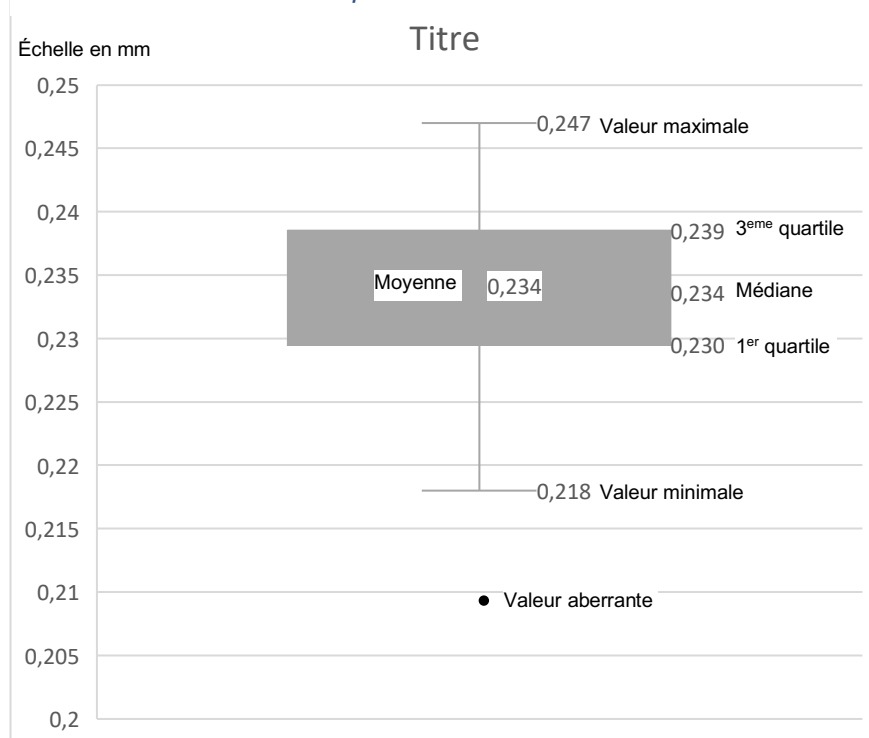
Toutefois, des modifications industrielles concernant la fabrication des cônes de GP pourraient engendrer un surcoût pour les praticiens.

En attendant la généralisation de cette évolution, les praticiens ont la possibilité de prendre des cônes d'un diamètre inférieur au diamètre final de la préparation canalair et de les couper au diamètre voulu à l'aide de réglettes calibrantes. De plus cette technique pousse le praticien à la réflexion quant à la gestion apicale de son obturation.



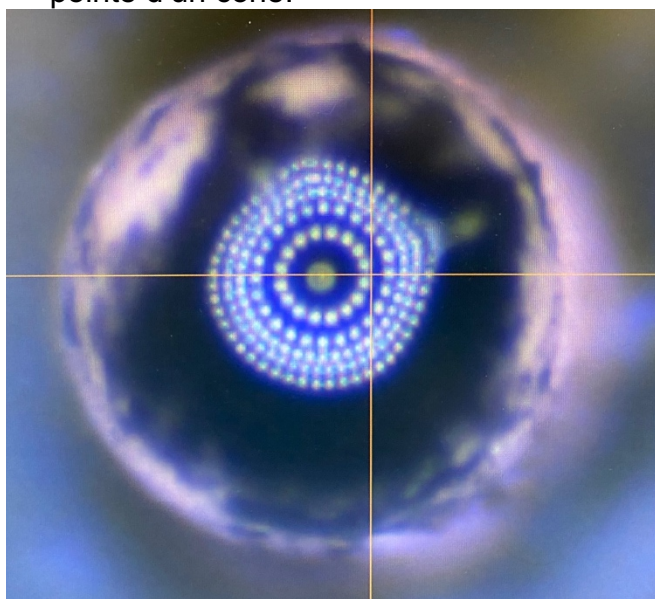
## ANNEXES

*Annexe 1 : Notice des boxplots contenus dans la thèse.*

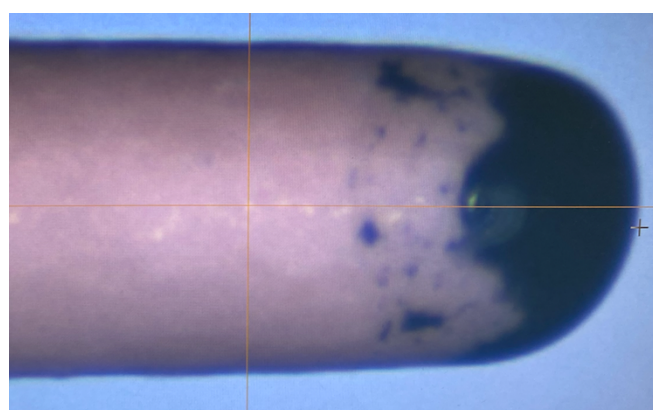


*Annexe 2 : Méthode de positionnement du cercle à l'origine de la mesure du diamètre de pointe sur le logiciel Calc®.*

Encreur la pointe du cône permet (sans aide optique) de discriminer précisément la pointe-d'un cône.



*Annexe 3 : Capture d'écran d'une pointe de gutta-percha encrée vu de face au Sol 161®, G=x153.*



*Annexe 4 : Capture d'écran d'une pointe de gutta-percha encrée vu de profil au Sol 161®,*

Annexe 5 : tableau des résultats visant à évaluer l'erreur de mesure concernant le protocole ISO 6877.

| Cône en 25/06 | GP1      | GP2      | GP3      | GP4      | GP5      | GP6      | GP7      | GP8      | GP9      | GP10     | GP11     | GP12     | GP13     | GP14     | GP15        |             |
|---------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------------|-------------|
| D3            | 0,472    | 0,475    | 0,472    | 0,475    | 0,475    | 0,472    | 0,475    | 0,468    | 0,468    | 0,477    | 0,475    | 0,473    | 0,475    | 0,472    | 0,475       |             |
| D16           | 1,265    | 1,251    | 1,245    | 1,239    | 1,252    | 1,243    | 1,245    | 1,245    | 1,24     | 1,247    | 1,247    | 1,24     | 1,247    | 1,244    | 1,245       |             |
| D0            | 0,289    | 0,295923 | 0,293615 | 0,298692 | 0,295692 | 0,294077 | 0,297308 | 0,288692 | 0,289846 | 0,299308 | 0,296846 | 0,296    | 0,296846 | 0,293846 | 0,297308    |             |
| Cône en 30/04 | GP1      | GP2      | GP3      | GP4      | GP5      | GP6      | GP7      | GP8      | GP9      | GP10     | GP11     | GP12     | GP13     | GP14     | GP15        |             |
| D3            | 0,435    | 0,438    | 0,432    | 0,439    | 0,433    | 0,441    | 0,44     | 0,435    | 0,436    | 0,435    | 0,44     | 0,438    | 0,435    | 0,44     | 0,433       |             |
| D16           | 0,968    | 0,972    | 0,972    | 0,959    | 0,963    | 0,961    | 0,963    | 0,961    | 0,965    | 0,964    | 0,956    | 0,965    | 0,963    | 0,963    | 0,965       |             |
| D0            | 0,312    | 0,314769 | 0,307385 | 0,319    | 0,310692 | 0,321    | 0,319308 | 0,313615 | 0,313923 | 0,312923 | 0,320923 | 0,316385 | 0,313154 | 0,319308 | 0,310231    |             |
| GP16          | GP17     | GP18     | GP19     | GP20     | GP21     | GP22     | GP23     | GP24     | GP25     | GP26     | GP27     | GP28     | GP29     | GP30     | Moyenne     | Ecart-T     |
| 0,473         | 0,473    | 0,476    | 0,466    | 0,472    | 0,476    | 0,477    | 0,476    | 0,476    | 0,475    | 0,473    | 0,473    | 0,474    | 0,476    | 0,475    | 0,47366667  | 0,00265659  |
| 1,243         | 1,249    | 1,243    | 1,241    | 1,244    | 1,246    | 1,24     | 1,247    | 1,247    | 1,249    | 1,248    | 1,254    | 1,252    | 1,251    | 1,249    | 1,2466      | 0,00529888  |
| 0,295308      | 0,293923 | 0,299    | 0,287154 | 0,293846 | 0,298308 | 0,300923 | 0,298077 | 0,298077 | 0,296385 | 0,294154 | 0,292769 | 0,294462 | 0,297154 | 0,296385 | 0,295297436 | 0,003297575 |
| GP16          | GP17     | GP18     | GP19     | GP20     | GP21     | GP22     | GP23     | GP24     | GP25     | GP26     | GP27     | GP28     | GP29     | GP30     | Moyenne     | Ecart-T     |
| 0,435         | 0,44     | 0,439    | 0,437    | 0,434    | 0,44     | 0,435    | 0,439    | 0,435    | 0,436    | 0,438    | 0,437    | 0,434    | 0,433    | 0,44     | 0,43673333  | 0,002651393 |
| 0,963         | 0,963    | 0,962    | 0,959    | 0,965    | 0,963    | 0,963    | 0,963    | 0,963    | 0,963    | 0,963    | 0,963    | 0,965    | 0,963    | 0,961    | 0,9634      | 0,003201293 |
| 0,313154      | 0,319308 | 0,318308 | 0,316538 | 0,311462 | 0,319308 | 0,313154 | 0,318077 | 0,313154 | 0,314385 | 0,316846 | 0,315615 | 0,311462 | 0,310692 | 0,319769 | 0,315194872 | 0,003642387 |

Annexe 6 : tableau des résultats visant à évaluer l'erreur de mesure, concernant le protocole de mesure directe de D0.

|                |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |       |       |             |             |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------------|-------------|
| Cônes en 25/06 | GP1   | GP2   | GP3   | GP4   | GP5   | GP6   | GP7   | GP8   | GP9   | GP10  | GP11  | GP12  | GP13   | GP14  | GP15  |             |             |
| D0             | 0,228 | 0,224 | 0,231 | 0,228 | 0,236 | 0,24  | 0,232 | 0,245 | 0,23  | 0,228 | 0,235 | 0,241 | 0,247  | 0,228 | 0,232 |             |             |
| Cônes en 30/06 | GP1   | GP2   | GP3   | GP4   | GP5   | GP6   | GP7   | GP8   | GP9   | GP10  | GP11  | GP12  | GP13   | GP14  | GP15  |             |             |
| D0             | 0,309 | 0,309 | 0,302 | 0,313 | 0,309 | 0,305 | 0,32  | 0,301 | 0,302 | 0,306 | 0,314 | 0,304 | 0,305  | 0,31  | 0,312 |             |             |
| GP15           | GP16  | GP17  | GP18  | GP19  | GP20  | GP21  | GP22  | GP23  | GP24  | GP25  | GP26  | GP27  | GP28   | GP29  | GP30  | Moyenne     | Ecart-T     |
| 0,232          | 0,245 | 0,24  | 0,218 | 0,228 | 0,242 | 0,234 | 0,234 | 0,235 | 0,238 | 0,238 | 0,236 | 0,233 | 0,2332 | 0,233 | 0,233 | 0,234173333 | 0,006458725 |
| GP15           | GP16  | GP17  | GP18  | GP19  | GP20  | GP21  | GP22  | GP23  | GP24  | GP25  | GP26  | GP27  | GP28   | GP29  | GP30  | Moyenne     | Ecart-T     |
| 0,312          | 0,304 | 0,309 | 0,304 | 0,304 | 0,306 | 0,301 | 0,305 | 0,317 | 0,312 | 0,314 | 0,3   | 0,31  | 0,306  | 0,309 | 0,3   | 0,3074      | 0,005109828 |

*Annexe 7 : Tableaux des résultats de mesure de d3, d16 et de calcul de D0 selon le protocole de la norme ISO 6877.*

|                       |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |             |             |
|-----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------------|-------------|
| Fanta (made in china) | GP1      | GP2      | GP3      | GP4      | GP5      | GP6      | GP7      | GP8      | GP9      | GP10     | Moyenne     | Ecart-T     |
| <b>25/6%</b>          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |             |             |
| D3                    | 0,462    | 0,444    | 0,455    | 0,475    | 0,485    | 0,46     | 0,451    | 0,462    | 0,462    | 0,42     | 0,4576      | 0,017532193 |
| D16                   | 1,22     | 1,201    | 1,172    | 1,207    | 1,225    | 1,214    | 1,205    | 1,238    | 1,167    | 1,174    | 1,2023      | 0,0241203   |
| Tgen                  | 0,058308 | 0,058231 | 0,055154 | 0,056308 | 0,056923 | 0,058    | 0,058    | 0,059692 | 0,054231 | 0,058    | 0,057284615 | 0,001640645 |
| D0                    | 0,287077 | 0,269308 | 0,289538 | 0,306077 | 0,314231 | 0,286    | 0,277    | 0,282923 | 0,299308 | 0,246    | 0,285746154 | 0,019319796 |
| CyberTech             | GP1      | GP2      | GP3      | GP4      | GP5      | GP6      | GP7      | GP8      | GP9      | GP10     | Moyenne     | Ecart-T     |
| <b>30/4%</b>          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |             |             |
| D3                    | 0,459    | 0,455    | 0,448    | 0,457    | 0,453    | 0,42     | 0,399    | 0,434    | 0,459    | 0,47     | 0,4454      | 0,021588063 |
| D16                   | 1        | 0,981    | 0,946    | 0,996    | 0,997    | 0,963    | 0,976    | 0,959    | 1,003    | 0,965    | 0,9786      | 0,019951051 |
| Tgen                  | 0,041615 | 0,040462 | 0,038308 | 0,041462 | 0,041846 | 0,041769 | 0,044385 | 0,040385 | 0,041846 | 0,038077 | 0,041015385 | 0,001841804 |
| D0                    | 0,334154 | 0,333615 | 0,333077 | 0,332615 | 0,327462 | 0,294692 | 0,265846 | 0,312846 | 0,333462 | 0,355769 | 0,322353846 | 0,025388272 |
| R&S                   | GP1      | GP2      | GP3      | GP4      | GP5      | GP6      | GP7      | GP8      | GP9      | GP10     | Moyenne     | Ecart-T     |
| <b>25/6%</b>          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |             |             |
| D3                    | 0,45     | 0,477    | 0,486    | 0,462    | 0,444    | 0,454    | 0,48     | 0,42     | 0,405    | 0,414    | 0,4492      | 0,028549372 |
| D16                   | 1,208    | 1,256    | 1,227    | 1,128    | 1,227    | 1,203    | 1,229    | 1,248    | 1,24     | 1,232    | 1,2198      | 0,036054896 |
| Tgen                  | 0,058308 | 0,059923 | 0,057    | 0,051231 | 0,060231 | 0,057615 | 0,057615 | 0,063692 | 0,064231 | 0,062923 | 0,059276923 | 0,003873611 |
| D0                    | 0,275077 | 0,297231 | 0,315    | 0,308308 | 0,263308 | 0,281154 | 0,307154 | 0,228923 | 0,212308 | 0,225231 | 0,271369231 | 0,03772801  |
| <b>30/4%</b>          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |             |             |
| D3                    | 0,375    | 0,399    | 0,414    | 0,369    | 0,369    | 0,435    | 0,393    | 0,432    | 0,403    | 0,417    | 0,4006      | 0,024350222 |
| D16                   | 0,922    | 0,972    | 0,96     | 0,976    | 0,952    | 0,966    | 0,905    | 0,937    | 0,933    | 0,993    | 0,9536      | 0,026638318 |
| Tgen                  | 0,042077 | 0,044077 | 0,042    | 0,046692 | 0,044846 | 0,040846 | 0,039385 | 0,040385 | 0,040769 | 0,044308 | 0,042538462 | 0,002337134 |
| D0                    | 0,248769 | 0,266769 | 0,288    | 0,228923 | 0,234462 | 0,312462 | 0,274846 | 0,310846 | 0,280692 | 0,284077 | 0,272984615 | 0,028778389 |
| MicroMega             | GP1      | GP2      | GP3      | GP4      | GP5      | GP6      | GP7      | GP8      | GP9      | GP10     | Moyenne     | Ecart-T     |
| <b>25/6%</b>          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |             |             |
| D3                    | 0,404    | 0,422    | 0,411    | 0,415    | 0,429    | 0,399    | 0,395    | 0,393    | 0,417    | 0,426    | 0,4111      | 0,012887979 |
| D16                   | 1,154    | 1,194    | 1,159    | 1,179    | 1,199    | 1,15     | 1,167    | 1,145    | 1,177    | 1,167    | 1,1691      | 0,018131924 |
| Tgen                  | 0,057692 | 0,059385 | 0,057538 | 0,058769 | 0,059231 | 0,057769 | 0,059385 | 0,057846 | 0,058462 | 0,057    | 0,058307692 | 0,000855811 |
| D0                    | 0,230923 | 0,243846 | 0,238385 | 0,238692 | 0,251308 | 0,225692 | 0,216846 | 0,219462 | 0,241615 | 0,255    | 0,236176923 | 0,012795208 |
| roeko                 | GP1      | GP2      | GP3      | GP4      | GP5      | GP6      | GP7      | GP8      | GP9      | GP10     | Moyenne     | Ecart-T     |
| <b>25/6%</b>          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |             |             |
| D3                    | 0,384    | 0,364    | 0,39     | 0,375    | 0,391    | 0,377    | 0,395    | 0,373    | 0,388    | 0,353    | 0,379       | 0,013266499 |
| D16                   | 1,156    | 1,188    | 1,172    | 1,147    | 1,174    | 1,145    | 1,143    | 1,165    | 1,19     | 1,116    | 1,1596      | 0,022809355 |
| Tgen                  | 0,059385 | 0,063385 | 0,060154 | 0,059385 | 0,060231 | 0,059077 | 0,057538 | 0,060923 | 0,061692 | 0,058692 | 0,060046154 | 0,001653478 |
| D0                    | 0,205846 | 0,173846 | 0,209538 | 0,196846 | 0,210308 | 0,199769 | 0,222385 | 0,190231 | 0,202923 | 0,176923 | 0,198861538 | 0,015092561 |
| <b>30/4%</b>          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |             |             |
| D3                    | 0,342    | 0,317    | 0,4      | 0,419    | 0,408    | 0,409    | 0,366    | 0,411    | 0,36     | 0,406    | 0,3838      | 0,035035855 |
| D16                   | 0,895    | 0,881    | 0,872    | 0,863    | 0,874    | 0,879    | 0,899    | 0,874    | 0,897    | 0,868    | 0,8802      | 0,012673682 |
| Tgen                  | 0,042538 | 0,043385 | 0,036308 | 0,034154 | 0,035846 | 0,036154 | 0,041    | 0,035615 | 0,041308 | 0,035538 | 0,038184615 | 0,003442244 |
| D0                    | 0,214385 | 0,186846 | 0,291077 | 0,316538 | 0,300462 | 0,300538 | 0,243    | 0,304154 | 0,236077 | 0,299385 | 0,269246154 | 0,0451937   |
| HyFlex                | GP1      | GP2      | GP3      | GP4      | GP5      | GP6      | GP7      | GP8      | GP9      | GP10     | Moyenne     | Ecart-T     |
| <b>25/6%</b>          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |             |             |
| D3                    | 0,38     | 0,385    | 0,415    | 0,395    | 0,373    | 0,42     | 0,377    | 0,365    | 0,384    | 0,389    | 0,3883      | 0,017531242 |
| D16                   | 1,154    | 1,163    | 1,183    | 1,181    | 1,161    | 1,188    | 1,165    | 1,152    | 1,163    | 1,179    | 1,1689      | 0,01276671  |
| Tgen                  | 0,059538 | 0,059846 | 0,059077 | 0,060462 | 0,060615 | 0,059077 | 0,060615 | 0,060538 | 0,059923 | 0,060769 | 0,060046154 | 0,000647861 |
| D0                    | 0,201385 | 0,205462 | 0,237769 | 0,213615 | 0,191154 | 0,242769 | 0,195154 | 0,183385 | 0,204231 | 0,206692 | 0,208161538 | 0,018994842 |
| <b>30/4%</b>          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |             |             |
| D3                    | 0,362    | 0,373    | 0,355    | 0,357    | 0,382    | 0,395    | 0,365    | 0,342    | 0,351    | 0,353    | 0,3635      | 0,015890249 |
| D16                   | 0,882    | 0,874    | 0,857    | 0,859    | 0,87     | 0,917    | 0,879    | 0,863    | 0,865    | 0,859    | 0,8725      | 0,017865236 |
| Tgen                  | 0,04     | 0,038538 | 0,038615 | 0,038615 | 0,037538 | 0,040154 | 0,039538 | 0,040077 | 0,039538 | 0,038923 | 0,039153846 | 0,000848869 |
| D0                    | 0,242    | 0,257385 | 0,239154 | 0,241154 | 0,269385 | 0,274538 | 0,246385 | 0,221769 | 0,232385 | 0,236231 | 0,246038462 | 0,016483421 |
| Kerr                  | GP1      | GP2      | GP3      | GP4      | GP5      | GP6      | GP7      | GP8      | GP9      | GP10     | Moyenne     | Ecart-T     |
| <b>25/6%</b>          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |             |             |
| D3                    | 0,423    | 0,455    | 0,47     | 0,445    | 0,498    | 0,464    | 0,446    | 0,451    | 0,47     | 0,448    | 0,457       | 0,020027759 |
| D16                   | 1,181    | 1,185    | 1,26     | 1,225    | 1,245    | 1,292    | 1,227    | 1,203    | 1,232    | 1,211    | 1,2261      | 0,033945872 |
| Tgen                  | 0,058308 | 0,056154 | 0,060769 | 0,06     | 0,057462 | 0,063692 | 0,060077 | 0,057846 | 0,058615 | 0,058692 | 0,059161538 | 0,002096756 |
| D0                    | 0,248077 | 0,286538 | 0,287692 | 0,265    | 0,325615 | 0,272923 | 0,265769 | 0,277462 | 0,294154 | 0,271923 | 0,279515385 | 0,020947103 |
| <b>30/4%</b>          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |             |             |
| D3                    | 0,459    | 0,432    | 0,4      | 0,439    | 0,424    | 0,422    | 0,446    | 0,424    | 0,368    | 0,436    | 0,425       | 0,025490739 |
| D16                   | 0,954    | 0,974    | 0,955    | 0,95     | 0,965    | 0,97     | 0,978    | 0,944    | 0,937    | 0,937    | 0,9564      | 0,0148713   |
| Tgen                  | 0,038077 | 0,041692 | 0,042692 | 0,039308 | 0,041615 | 0,042154 | 0,040923 | 0,04     | 0,043769 | 0,038538 | 0,040876923 | 0,001857232 |
| D0                    | 0,344769 | 0,306923 | 0,271923 | 0,321077 | 0,299154 | 0,295538 | 0,323231 | 0,304    | 0,236692 | 0,320385 | 0,302369231 | 0,030236691 |

| R&S             | GP1      | GP2      | GP3      | GP4      | GP5      | GP6      | GP7      | GP8      | GP9      | GP10     | Moyenne     | Ecart-T     |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------------|-------------|
| <b>25/6%</b>    |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |             |             |
| D3              | 0,45     | 0,477    | 0,486    | 0,462    | 0,444    | 0,454    | 0,48     | 0,42     | 0,405    | 0,414    | 0,4492      | 0,028549372 |
| D16             | 1,208    | 1,256    | 1,227    | 1,128    | 1,227    | 1,203    | 1,229    | 1,248    | 1,24     | 1,232    | 1,2198      | 0,036054896 |
| Tgen            | 0,058308 | 0,059923 | 0,057    | 0,051231 | 0,060231 | 0,057615 | 0,057615 | 0,063692 | 0,064231 | 0,062923 | 0,059276923 | 0,003873611 |
| D0              | 0,275077 | 0,297231 | 0,315    | 0,308308 | 0,263308 | 0,281154 | 0,307154 | 0,228923 | 0,212308 | 0,225231 | 0,271369231 | 0,03772801  |
| <b>30/4%</b>    |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |             |             |
| D3              | 0,375    | 0,399    | 0,414    | 0,369    | 0,369    | 0,435    | 0,393    | 0,432    | 0,403    | 0,417    | 0,4006      | 0,024350222 |
| D16             | 0,922    | 0,972    | 0,96     | 0,976    | 0,952    | 0,966    | 0,905    | 0,957    | 0,933    | 0,993    | 0,9536      | 0,026638318 |
| Tgen            | 0,042077 | 0,044077 | 0,042    | 0,046692 | 0,044846 | 0,040846 | 0,039385 | 0,040385 | 0,040769 | 0,044308 | 0,042538462 | 0,002337134 |
| D0              | 0,248769 | 0,266769 | 0,288    | 0,228923 | 0,234462 | 0,312462 | 0,274846 | 0,310846 | 0,280692 | 0,284077 | 0,272984615 | 0,028778389 |
| TotalFill (FKG) | GP1      | GP2      | GP3      | GP4      | GP5      | GP6      | GP7      | GP8      | GP9      | GP10     | Moyenne     | Ecart-T     |
| <b>25/6%</b>    |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |             |             |
| D3              | 0,463    | 0,487    | 0,457    | 0,508    | 0,504    | 0,438    | 0,476    | 0,438    | 0,447    | 0,454    | 0,4672      | 0,025598611 |
| D16             | 1,232    | 1,205    | 1,248    | 1,243    | 1,286    | 1,227    | 1,208    | 1,221    | 1,269    | 1,226    | 1,2365      | 0,025704518 |
| Tgen            | 0,059154 | 0,055231 | 0,060846 | 0,056538 | 0,060154 | 0,060692 | 0,056308 | 0,060231 | 0,063231 | 0,059385 | 0,059176923 | 0,002458345 |
| D0              | 0,285538 | 0,321308 | 0,274462 | 0,338385 | 0,323538 | 0,255923 | 0,307077 | 0,257308 | 0,257308 | 0,275846 | 0,289669231 | 0,030726553 |
| <b>30/4%</b>    |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |             |             |
| D3              | 0,442    | 0,433    | 0,465    | 0,429    | 0,42     | 0,412    | 0,424    | 0,417    | 0,426    | 0,423    | 0,4291      | 0,015147057 |
| D16             | 0,906    | 0,929    | 1,006    | 0,952    | 0,94     | 0,919    | 0,949    | 0,993    | 0,927    | 0,952    | 0,9473      | 0,031425573 |
| Tgen            | 0,035692 | 0,038154 | 0,041615 | 0,040231 | 0,04     | 0,039    | 0,040385 | 0,044308 | 0,038538 | 0,040692 | 0,039861538 | 0,002279255 |
| D0              | 0,334923 | 0,318538 | 0,340154 | 0,308308 | 0,3      | 0,295    | 0,302846 | 0,284077 | 0,310385 | 0,300923 | 0,309515385 | 0,017430997 |

| Komet                              | GP1      | GP2      | GP3      | GP4      | GP5      | GP6      | GP7      | GP8      | GP9      | GP10     | Moyenne     | Ecart-T     |
|------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------------|-------------|
| <b>25/6%</b>                       |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |             |             |
| D3                                 | 0,449    | 0,458    | 0,429    | 0,441    | 0,418    | 0,445    | 0,459    | 0,436    | 0,464    | 0,42     | 0,4419      | 0,0161689   |
| D16                                | 1,2      | 1,194    | 1,218    | 1,241    | 1,203    | 1,201    | 1,27     | 1,181    | 1,247    | 1,216    | 1,2171      | 0,027594081 |
| Tgen                               | 0,057769 | 0,056615 | 0,060692 | 0,061538 | 0,060385 | 0,058154 | 0,062385 | 0,057308 | 0,060231 | 0,061231 | 0,059630769 | 0,001999277 |
| D0                                 | 0,275692 | 0,288154 | 0,246923 | 0,256385 | 0,236846 | 0,270538 | 0,271846 | 0,264077 | 0,283308 | 0,236308 | 0,263007692 | 0,018382325 |
| <b>30/4%</b>                       |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |             |             |
| D3                                 | 0,456    | 0,386    | 0,447    | 0,423    | 0,438    | 0,428    | 0,422    | 0,412    | 0,421    | 0,434    | 0,4267      | 0,019419635 |
| D16                                | 0,952    | 0,908    | 0,937    | 0,914    | 0,968    | 0,932    | 0,945    | 0,939    | 0,915    | 0,93     | 0,934       | 0,018535252 |
| Tgen                               | 0,038154 | 0,040154 | 0,037692 | 0,037769 | 0,040769 | 0,038769 | 0,040231 | 0,040538 | 0,038    | 0,038154 | 0,039023077 | 0,001249352 |
| D0                                 | 0,341538 | 0,265538 | 0,333923 | 0,309692 | 0,315692 | 0,311692 | 0,301308 | 0,290385 | 0,307    | 0,319538 | 0,309630769 | 0,02144273  |
| Septodont                          | GP1      | GP2      | GP3      | GP4      | GP5      | GP6      | GP7      | GP8      | GP9      | GP10     | Moyenne     | Ecart-T     |
| <b>25/6%</b>                       |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |             |             |
| D3                                 | 0,486    | 0,453    | 0,475    | 0,448    | 0,475    | 0,458    | 0,466    | 0,47     | 0,457    | 0,467    | 0,4655      | 0,011616559 |
| D16                                | 1,268    | 1,216    | 1,261    | 1,198    | 1,25     | 1,241    | 1,234    | 1,21     | 1,218    | 1,238    | 1,2334      | 0,022741054 |
| Tgen                               | 0,060154 | 0,058692 | 0,060462 | 0,057692 | 0,059615 | 0,060231 | 0,059077 | 0,056923 | 0,058538 | 0,059308 | 0,059069231 | 0,001142365 |
| D0                                 | 0,305538 | 0,276923 | 0,293615 | 0,274923 | 0,296154 | 0,277308 | 0,288769 | 0,299231 | 0,281385 | 0,289077 | 0,288292308 | 0,010458572 |
| <b>30/4%</b>                       |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |             |             |
| D3                                 | 0,381    | 0,416    | 0,385    | 0,399    | 0,399    | 0,407    | 0,395    | 0,413    | 0,402    | 0,407    | 0,4004      | 0,011246728 |
| D16                                | 0,912    | 0,925    | 0,93     | 0,928    | 0,937    | 0,917    | 0,914    | 0,937    | 0,926    | 0,927    | 0,9253      | 0,008692909 |
| Tgen                               | 0,040846 | 0,039154 | 0,041923 | 0,040692 | 0,041385 | 0,039231 | 0,039923 | 0,040308 | 0,040308 | 0,04     | 0,040376923 | 0,000875144 |
| D0                                 | 0,258462 | 0,298538 | 0,259231 | 0,276923 | 0,274846 | 0,289308 | 0,275231 | 0,292077 | 0,281077 | 0,287    | 0,279269231 | 0,013228844 |
| Produits Dentaires SA              | GP1      | GP2      | GP3      | GP4      | GP5      | GP6      | GP7      | GP8      | GP9      | GP10     | Moyenne     | Ecart-T     |
| <b>25/6%</b>                       |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |             |             |
| D3                                 | 0,453    | 0,437    | 0,45     | 0,436    | 0,429    | 0,455    | 0,423    | 0,397    | 0,454    | 0,42     | 0,4354      | 0,018745073 |
| D16                                | 1,216    | 1,22     | 1,226    | 1,245    | 1,213    | 1,249    | 1,227    | 1,154    | 1,228    | 1,197    | 1,2175      | 0,02687936  |
| Tgen                               | 0,058692 | 0,060231 | 0,059692 | 0,062231 | 0,060308 | 0,061077 | 0,061846 | 0,058231 | 0,059538 | 0,059769 | 0,060161538 | 0,001275084 |
| D0                                 | 0,276923 | 0,256308 | 0,270923 | 0,249308 | 0,248077 | 0,271769 | 0,237462 | 0,222308 | 0,275385 | 0,240692 | 0,254915385 | 0,018541155 |
| <b>30/4%</b>                       |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |             |             |
| D3                                 | 0,388    | 0,434    | 0,412    | 0,427    | 0,421    | 0,394    | 0,423    | 0,429    | 0,41     | 0,408    | 0,4146      | 0,015101141 |
| D16                                | 0,947    | 0,934    | 0,926    | 0,946    | 0,963    | 0,894    | 0,956    | 0,945    | 0,934    | 0,956    | 0,9401      | 0,019818342 |
| Tgen                               | 0,043    | 0,038462 | 0,039538 | 0,039923 | 0,041692 | 0,038462 | 0,041    | 0,039692 | 0,040308 | 0,042154 | 0,040423077 | 0,001522244 |
| D0                                 | 0,259    | 0,318615 | 0,293385 | 0,307231 | 0,295923 | 0,278615 | 0,3      | 0,309923 | 0,289077 | 0,281538 | 0,293330769 | 0,017356798 |
| Brasseler USA<br>(TotalFill (FKG)) | GP1      | GP2      | GP3      | GP4      | GP5      | GP6      | GP7      | GP8      | GP9      | GP10     | Moyenne     | Ecart-T     |
| <b>25/6%</b>                       |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |             |             |
| D3                                 | 0,463    | 0,487    | 0,457    | 0,508    | 0,504    | 0,438    | 0,476    | 0,438    | 0,447    | 0,454    | 0,4672      | 0,025598611 |
| D16                                | 1,232    | 1,205    | 1,248    | 1,243    | 1,286    | 1,227    | 1,208    | 1,221    | 1,269    | 1,226    | 1,2365      | 0,025704518 |
| Tgen                               | 0,059154 | 0,055231 | 0,060846 | 0,056538 | 0,060154 | 0,060692 | 0,056308 | 0,060231 | 0,063231 | 0,059385 | 0,059176923 | 0,002458345 |
| D0                                 | 0,285538 | 0,321308 | 0,274462 | 0,338385 | 0,323538 | 0,255923 | 0,307077 | 0,257308 | 0,257308 | 0,275846 | 0,289669231 | 0,030726553 |
| <b>30/4%</b>                       |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |             |             |
| D3                                 | 0,442    | 0,433    | 0,465    | 0,429    | 0,42     | 0,412    | 0,424    | 0,417    | 0,426    | 0,423    | 0,4291      | 0,015147057 |
| D16                                | 0,906    | 0,929    | 1,006    | 0,952    | 0,94     | 0,919    | 0,949    | 0,993    | 0,927    | 0,952    | 0,9473      | 0,031425573 |
| Tgen                               | 0,035692 | 0,038154 | 0,041615 | 0,040231 | 0,04     | 0,039    | 0,040385 | 0,044308 | 0,038538 | 0,040692 | 0,039861538 | 0,002279255 |
| D0                                 | 0,334923 | 0,318538 | 0,340154 | 0,308308 | 0,3      | 0,295    | 0,302846 | 0,284077 | 0,310385 | 0,300923 | 0,309515385 | 0,017430997 |

Annexe 8 : Tableaux des résultats de mesures de D0 selon le protocole de mesure directe.

|                                 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |         |             |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|-------------|
| Kerr                            | GP1   | GP2   | GP3   | GP4   | GP5   | GP6   | GP7   | GP8   | GP9   | GP10  | Moyenne | Ecart-T     |
| 25/6%                           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |         |             |
| D0                              | 0,262 | 0,277 | 0,273 | 0,254 | 0,29  | 0,284 | 0,265 | 0,269 | 0,259 | 0,269 | 0,2702  | 0,011163432 |
| 30/4%                           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |         |             |
| D0                              | 0,312 | 0,317 | 0,322 | 0,315 | 0,299 | 0,314 | 0,324 | 0,306 | 0,262 | 0,321 | 0,3092  | 0,018225745 |
| MicroMega                       | GP1   | GP2   | GP3   | GP4   | GP5   | GP6   | GP7   | GP8   | GP9   | GP10  | Moyenne | Ecart-T     |
| 25/6%                           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |         |             |
| D0                              | 0,222 | 0,21  | 0,225 | 0,216 | 0,224 | 0,213 | 0,213 | 0,213 | 0,226 | 0,267 | 0,2229  | 0,016562676 |
| 30/4%                           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | #DIV/0! | #DIV/0!     |
| D0                              |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |         |             |
| roeko                           | GP1   | GP2   | GP3   | GP4   | GP5   | GP6   | GP7   | GP8   | GP9   | GP10  | Moyenne | Ecart-T     |
| 25/6%                           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |         |             |
| D0                              | 0,231 | 0,218 | 0,226 | 0,228 | 0,218 | 0,217 | 0,212 | 0,229 | 0,239 | 0,219 | 0,2237  | 0,008219895 |
| 30/4%                           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |         |             |
| D0                              | 0,213 | 0,209 | 0,217 | 0,227 | 0,225 | 0,24  | 0,206 | 0,248 | 0,218 | 0,233 | 0,2236  | 0,013647955 |
| HyFlex                          | GP1   | GP2   | GP3   | GP4   | GP5   | GP6   | GP7   | GP8   | GP9   | GP10  | Moyenne | Ecart-T     |
| 25/6%                           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |         |             |
| D0                              | 0,221 | 0,216 | 0,221 | 0,22  | 0,216 | 0,234 | 0,215 | 0,2   | 0,212 | 0,209 | 0,2164  | 0,008884443 |
| 30/4%                           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |         |             |
| D0                              | 0,216 | 0,205 | 0,213 | 0,206 | 0,203 | 0,215 | 0,199 | 0,204 | 0,205 | 0,205 | 0,2071  | 0,005606544 |
| Dentsply Sirona                 | GP1   | GP2   | GP3   | GP4   | GP5   | GP6   | GP7   | GP8   | GP9   | GP10  | Moyenne | Ecart-T     |
| 25/6%                           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |         |             |
| D0                              | 0,249 | 0,229 | 0,259 | 0,235 | 0,265 | 0,251 | 0,267 | 0,242 | 0,285 | 0,253 | 0,2535  | 0,01646039  |
| 30/4%                           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |         |             |
| D0                              | 0,302 | 0,316 | 0,339 | 0,295 | 0,297 | 0,317 | 0,369 | 0,345 | 0,29  | 0,323 | 0,3193  | 0,025372995 |
| Dentsply Sirona (conform fit)   | GP1   | GP2   | GP3   | GP4   | GP5   | GP6   | GP7   | GP8   | GP9   | GP10  | Moyenne | Ecart-T     |
| 25/6%                           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |         |             |
| D0                              | 0,241 | 0,244 | 0,255 | 0,246 | 0,24  | 0,246 | 0,24  | 0,249 | 0,249 | 0,258 | 0,2468  | 0,006124632 |
| 30/4%                           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |         |             |
| D0                              | 0,292 | 0,287 | 0,29  | 0,291 | 0,306 | 0,29  | 0,31  | 0,292 | 0,305 | 0,291 | 0,2954  | 0,008221922 |
| VDW                             | GP1   | GP2   | GP3   | GP4   | GP5   | GP6   | GP7   | GP8   | GP9   | GP10  | Moyenne | Ecart-T     |
| 25/6%                           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |         |             |
| D0                              | 0,248 | 0,293 | 0,307 | 0,289 | 0,297 | 0,267 | 0,27  | 0,188 | 0,309 | 0,271 | 0,2739  | 0,035862236 |
| 30/4%                           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |         |             |
| D0                              | 0,365 | 0,286 | 0,317 | 0,258 | 0,34  | 0,292 | 0,37  | 0,312 | 0,282 | 0,353 | 0,3175  | 0,038373168 |
| Komet                           | GP1   | GP2   | GP3   | GP4   | GP5   | GP6   | GP7   | GP8   | GP9   | GP10  | Moyenne | Ecart-T     |
| 25/6%                           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |         |             |
| D0                              | 0,273 | 0,292 | 0,306 | 0,303 | 0,258 | 0,253 | 0,27  | 0,256 | 0,333 | 0,26  | 0,2804  | 0,026862613 |
| 30/4%                           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |         |             |
| D0                              | 0,354 | 0,314 | 0,341 | 0,309 | 0,32  | 0,308 | 0,324 | 0,302 | 0,3   | 0,32  | 0,3192  | 0,017099708 |
| Septodont                       | GP1   | GP2   | GP3   | GP4   | GP5   | GP6   | GP7   | GP8   | GP9   | GP10  | Moyenne | Ecart-T     |
| 25/6%                           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |         |             |
| D0                              | 0,276 | 0,232 | 0,25  | 0,245 | 0,259 | 0,252 | 0,256 | 0,254 | 0,255 | 0,25  | 0,2529  | 0,011069979 |
| 30/4%                           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |         |             |
| D0                              | 0,307 | 0,324 | 0,298 | 0,292 | 0,297 | 0,319 | 0,302 | 0,31  | 0,302 | 0,32  | 0,3071  | 0,010887812 |
| Produits Dentaires SA           | GP1   | GP2   | GP3   | GP4   | GP5   | GP6   | GP7   | GP8   | GP9   | GP10  | Moyenne | Ecart-T     |
| 25/6%                           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |         |             |
| D0                              | 0,257 | 0,252 | 0,247 | 0,271 | 0,242 | 0,236 | 0,242 | 0,229 | 0,277 | 0,241 | 0,2494  | 0,015181861 |
| 30/4%                           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |         |             |
| D0                              | 0,322 | 0,311 | 0,316 | 0,318 | 0,328 | 0,309 | 0,337 | 0,331 | 0,318 | 0,316 | 0,3206  | 0,008921883 |
| Brasseler USA (TotalFill (FKG)) | GP1   | GP2   | GP3   | GP4   | GP5   | GP6   | GP7   | GP8   | GP9   | GP10  | Moyenne | Ecart-T     |
| 25/6%                           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |         |             |
| D0                              | 0,311 | 0,323 | 0,301 | 0,272 | 0,305 | 0,286 | 0,283 | 0,288 | 0,304 | 0,294 | 0,2967  | 0,015026273 |
| 30/4%                           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |         |             |
| D0                              | 0,345 | 0,325 | 0,328 | 0,338 | 0,309 | 0,293 | 0,326 | 0,299 | 0,328 | 0,322 | 0,3213  | 0,016384613 |
| Fanta (made in china)           | GP1   | GP2   | GP3   | GP4   | GP5   | GP6   | GP7   | GP8   | GP9   | GP10  | Moyenne | Ecart-T     |
| 25/6%                           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |         |             |
| D0                              | 0,308 | 0,296 | 0,303 | 0,328 | 0,324 | 0,29  | 0,292 | 0,296 | 0,328 | 0,275 | 0,304   | 0,017882331 |

| R&S             | GP1   | GP2   | GP3   | GP4   | GP5   | GP6   | GP7   | GP8   | GP9   | GP10  | Moyenne | Ecart-T     |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|-------------|
| 25/6%           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |         |             |
| D0              | 0,25  | 0,294 | 0,29  | 0,299 | 0,259 | 0,299 | 0,278 | 0,247 | 0,26  | 0,27  | 0,2746  | 0,02016708  |
| 30/4%           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |         |             |
| D0              | 0,222 | 0,259 | 0,285 | 0,276 | 0,262 | 0,282 | 0,26  | 0,297 | 0,298 | 0,289 | 0,273   | 0,023041026 |
| TotalFill (FKG) | GP1   | GP2   | GP3   | GP4   | GP5   | GP6   | GP7   | GP8   | GP9   | GP10  | Moyenne | Ecart-T     |
| 25/6%           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |         |             |
| D0              | 0,311 | 0,323 | 0,301 | 0,272 | 0,305 | 0,286 | 0,283 | 0,288 | 0,304 | 0,294 | 0,2967  | 0,015026273 |
| 30/4%           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |         |             |
| D0              | 0,345 | 0,325 | 0,328 | 0,338 | 0,309 | 0,293 | 0,326 | 0,299 | 0,328 | 0,322 | 0,3213  | 0,016384613 |
| R&S             | GP1   | GP2   | GP3   | GP4   | GP5   | GP6   | GP7   | GP8   | GP9   | GP10  | Moyenne | Ecart-T     |
| 25/6%           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |         |             |
| D0              | 0,25  | 0,294 | 0,29  | 0,299 | 0,259 | 0,299 | 0,278 | 0,247 | 0,26  | 0,27  | 0,2746  | 0,02016708  |
| 30/4%           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |         |             |
| D0              | 0,222 | 0,259 | 0,285 | 0,276 | 0,262 | 0,282 | 0,26  | 0,297 | 0,298 | 0,289 | 0,273   | 0,023041026 |



## Références bibliographiques

### Bibliographie papier

1. Atlan A, Dantan Q, Jouanny G. Les ciments biocéramiques et l'obturation : La technique monocône est-elle une technique d'avenir ? *Inf dent*. 2015 ; (32) : 80-4.
2. Bansode DPV, Pathak DSD, Wavdhane DMB, Kale DD. Obturating Materials Present and Past: A Review. *IOSR J Dent Med Sci*. 2018; 17(3): 27-33.
3. Beauvisage G. Contribution à l'étude des origines botaniques de la Gutta-percha. — Les Galles utiles. *Bull Soc Bot Lyon*. 1884 ; 2(2) : 13-21.
4. Belsare LD, Gade VJ, Patil S, Bhede RR, Gade J. Gutta Percha: A Gold Standard For Obturation In Dentistry. *Int J Ther Appl*. 2015; 20: 20-4.
5. Bhandi S, Mashyakhy M, Abumelha AS, Alkahtany MF, Jamal M, Chohan H, et coll. Complete Obturation-Cold Lateral Condensation vs. Thermoplastic Techniques: A Systematic Review of Micro-CT Studies. *Mater Basel Switz*. 2021; 14(14): 4013.
6. Camps J, Jeanneau C, El Ayachi I, Laurent P, About I. Bioactivity of a Calcium Silicate-based Endodontic Cement (BioRoot RCS): Interactions with Human Periodontal Ligament Cells In Vitro. *J Endod*. 2015; 41(9): 1469-73.
7. Combe EC, Cohen BD, Cummings K. Alpha- and beta-forms of gutta-percha in products for root canal filling. *Int Endod J*. 2001; 34(6): 447-51.
8. Costa GE, Johnson JD, Hamilton RG. Cross-Reactivity studies of gutta-percha, gutta-balata, and natural rubber latex (*Hevea brasiliensis*). *J Endod*. 2001; 27(9): 584-7.
9. Cunningham KP, Walker MP, Kulild JC, Lask JT. Variability of the diameter and taper of size #30, 0.04 gutta-percha cones. *J Endod*. 2006; 32(11): 1081-4.
10. Dastre A. Questions scientifiques. — Le Caoutchouc et la Gutta-Percha. *Rev Deux Mondes*. 1901 ; LXXI-5(t.2) : 188-202.
11. De Nuncques MA, Mortuaire G, Langlois JM, Pasquesoone X, Darras JA, Chevalier D, et coll. Affections dento-sinusiennes. *Réal Clin*. 2008 ; 19(1) : 31-40.
12. Flanagan RD, Rijke AM. Polymorphism in polymers. I. The equilibrium melting temperature of two crystalline modifications of trans-1,4-polyisoprene. *J Polym Sci Part -2 Polym Phys*. 1972; 10(7): 1207-19.
13. Gurgel-Filho ED, Andrade Feitosa JP, Teixeira FB, Monteiro de Paula RC, Araújo Silva JB, Souza-Filho FJ. Chemical and X-ray analyses of five brands of dental gutta-percha cone. *Int Endod J*. 2003; 36(4): 302-7.
14. Haapasalo M, Endal U, Zandi H, Coil JM. Eradication of endodontic infection by instrumentation and irrigation solutions. *Endod Top*. 2005; 10(1): 77-102.
15. Haupt F, Seidel M, Rizk M, Sydow HG, Wiegand A, Rödiger T. Diameter and Taper Variability of Single-file Instrumentation Systems and Their Corresponding Gutta-percha Cones. *J Endod*. 2018; 44(9): 1436-41.
16. ISO (International Organization for Standardization). Médecine bucco-dentaire — Matériaux d'obturation endodontique. ISO 6877. Septembre 2021. Technical Committee ISO/TC 106 D Subcommittee SC1. INTERNATIONAL STANDARD ISO 6877. 2021.
17. Jou YT, Karabucak B, Levin J, Liu D. Endodontic working width: current concepts and techniques. *Dent Clin North Am*. 2004; 48(1): 323-35.



18. Lopes HP, Siqueira JF, Elias CN. Scanning electron microscopic investigation of the surface of gutta-percha cones after cutting. *J Endod.* 2000; 26(7): 418-20.
19. Marciano J, Michalesco P, Abadie MJ. Stereochemical structure characterization of dental gutta-percha. *J Endod.* 1993; 19(1): 31-4.
20. Marciano J, Michalesco PM. Dental gutta-percha: chemical composition, X-ray identification, enthalpic studies, and clinical implications. *J Endod.* 1989; 15(4): 149-53.
21. Martínez I, Lozano A, Sanz JL, Forner L, Llena C. Diameter and taper variability of gutta-percha cones adapted to TruNatomy™ and Rotate™ rotary file systems. *J Clin Exp Dent.* 2023; 15(1): e17-22.
22. Moule AJ, Kellaway R, Clarkson R, Rowell J, Macfarlane R, Lewis D, et coll. Variability of master gutta-percha cones. *Aust Endod J.* 2002; 28(1): 38-43.
23. Ørstavik D. *Essential Endodontology : prevention and treatment of apical periodontitis.* Hoboken : John Wiley & Sons, Ltd; 2019. Chapter 11, Endodontic Treatment of Apical Periodontitis; p. 313-44.
24. Pertot WJ, Pommel L. Obturation de l'endodonte. *J Parodontol Implantol Orale.* 2020 ; ? : 329-69.
25. Pogrel MA. Damage to the inferior alveolar nerve as the result of root canal therapy. *J Am Dent Assoc.* 2007; 138(1): 65-9.
26. Prakash R, Gopikrishna V, Kandaswamy D. Gutta-Percha – An untold story. *Endodontology.* 2005; 17(2): 32-36.
27. Psillas G, Papaioannou D, Petsali S, Dimas GG, Constantinidis J. Odontogenic maxillary sinusitis: A comprehensive review. *J Dent Sci.* 2021; 16(1): 474-81.
28. Schilder H, Goodman A, Aldrich W. The thermomechanical properties of gutta-percha. 3. Determination of phase transition temperatures for gutta-percha. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1974; 38(1): 109-14.
29. Schilder H. Filling root canals in three dimensions. 1967. *J Endod.* 2006; 32(4): 281-90.
30. Siboni F, Taddei P, Zamparini F, Prati C, Gandolfi MG. Properties of BioRoot RCS, a tricalcium silicate endodontic sealer modified with povidone and polycarboxylate. *Int Endod J.* 2017; 50 Suppl 2: e120-36.
31. Trope M, Debelian G. Endodontic Treatment of Apical Periodontitis. Dans: Dag Ørstavik. *Essential Endodontology Prevention and Treatment of Apical Periodontitis.* Hoboken : Blackwell Munksgaard; 2008. p. 347-71.
32. Marchi V, Gabriel R, Riera B. Aussi petit que possible, aussi large que nécessaire. *Réalités Cliniques.* 15 déc 2022;33(4):42-52.
33. Wang Z, Shen Y, Haapasalo M. Antimicrobial and Antibiofilm Properties of Bioceramic Materials in Endodontics. *Mater Basel Switz.* 2021; 14(24): 7594.
34. Wu MK, Ozok AR, Wesselink PR. Sealer distribution in root canals obturated by three techniques. *Int Endod J.* 2000; 33(4): 340-5.

## Bibliographie Internet

35. ANSM (Agence nationale de sécurité du Médicament). Listes et répertoires - Dispositifs médicaux [Internet]. 2021 [cité 22 nov 2023]. Disponible sur : <https://archive.ansm.sante.fr/Mediatheque/Publications/Listes-et-repertoires-Dispositifs-medicaux>
36. ANSM (Agence nationale de sécurité du Médicament). Mise sur le marché des dispositifs médicaux et des dispositifs médicaux de diagnostic in vitro [Internet]. 2021 [cité 22 nov 2023]. Disponible sur : <https://ansm.sante.fr/page/mise-sur-le-marche-des-dispositifs-medicaux-et-des-dispositifs-medicaux-de-diagnostic-in-vitro>
37. American Gutta Percha Company. Gutta percha: its discovery, properties, capabilities and uses [Internet]. New-York: American Gutta Percha Company; 1848. 24 p. Disponible sur: <https://www.biodiversitylibrary.org/item/221390>
38. Diemer F. La Gutta-Percha. [Internet]. 2005 [cité 15 nov 2023]. Disponible sur : <https://archives.uness.fr/sites/campus-unf3s-2015/UNF3Smiroir/campus-numeriques/odontologie/enseignement/chap20/site/html/cours.pdf>
39. ISO (International Organization for Standardization). À propos de l'ISO [Internet]. [cité 22 avr 2024]. Disponible sur : <https://www.iso.org/fr/about-us.html>
40. Jordana, Choussat, Colat-Parros. La gutta-percha [Internet]. 2009 [cité 19 juill 2023]. Disponible sur: <https://archives.uness.fr/sites/campus-unf3s-2014/odontologie/enseignement/chap20/site/html/cours.pdf>
41. Newland C. A Cultural History of Objects in the Age of Industry: Economic object Gutta-percha [Internet]. 2023 [cité 14 nov 2023]. Disponible sur : [https://www.researchgate.net/publication/371503338\\_A\\_Cultural\\_History\\_of\\_Objects\\_in\\_the\\_Age\\_of\\_Industry\\_Economic\\_object\\_Gutta-percha](https://www.researchgate.net/publication/371503338_A_Cultural_History_of_Objects_in_the_Age_of_Industry_Economic_object_Gutta-percha)
42. Mancino D. Mise au point et évaluation microscopique d'une méthode d'obturation canalaire optimale [Thèse de doctorat]. [Strasbourg] : Université de Strasbourg. Physique et Chimie-Physique ; 2019 [cité 11 oct 2022]. Disponible sur : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02346623>

## Table des matières

|                                                                                                       |                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| <b><i>Introduction – problématique .....</i></b>                                                      | <b><i>12</i></b> |
| • Rappel des objectifs thérapeutiques du traitement endodontique.....                                 | 13               |
| • Techniques d’obturations actuelles.....                                                             | 14               |
| <b><i>1. La gutta-percha en endodontie.....</i></b>                                                   | <b><i>16</i></b> |
| <b><i>1.1. Historique.....</i></b>                                                                    | <b><i>16</i></b> |
| 1.1.1. La gutta-percha en botanique.....                                                              | 16               |
| 1.1.2. Industrialisation et âge d’or .....                                                            | 17               |
| <b><i>1.2. Composition chimique et comportement physique.....</i></b>                                 | <b><i>19</i></b> |
| 1.2.1. Généralités.....                                                                               | 19               |
| 1.2.2. Concernant les spécialités retrouvées sur le marché dentaire.....                              | 20               |
| <b><i>1.3. Procédé de fabrication.....</i></b>                                                        | <b><i>22</i></b> |
| <b><i>1.4. Standardisation/norme ISO .....</i></b>                                                    | <b><i>23</i></b> |
| 1.4.1. Dispositif médical.....                                                                        | 23               |
| 1.4.2. Marquages de provenance .....                                                                  | 24               |
| 1.4.3. Norme ISO 6877 : matériaux d'obturation endodontique.....                                      | 25               |
| 1.4.4. Contrôle des normes.....                                                                       | 27               |
| <b><i>1.5. Application à l’endodontie.....</i></b>                                                    | <b><i>27</i></b> |
| <b><i>2. Calibrage du diamètre apical .....</i></b>                                                   | <b><i>30</i></b> |
| 2.1. Technique de calibrage du diamètre apical .....                                                  | 30               |
| 2.2. Intérêt de la calibration apicale en endodontie.....                                             | 31               |
| 2.3. Intérêt du cône d’arrêt.....                                                                     | 33               |
| <b><i>3. Calibrage du maître-cône de gutta-percha .....</i></b>                                       | <b><i>35</i></b> |
| 3.1. Technique de calibrage du cône de gutta-percha .....                                             | 35               |
| 3.2. Intérêt de la calibration du cône de gutta-percha.....                                           | 37               |
| <b><i>4. Étude profilométrique du diamètre de pointe de différents cônes de gutta-percha.....</i></b> | <b><i>39</i></b> |
| 4.1. Introduction .....                                                                               | 39               |

|                                                                                              |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>4.2. Matériel et méthode.....</b>                                                         | <b>41</b>  |
| 4.2.1. Présentation du matériel .....                                                        | 41         |
| • Les cônes de gutta-percha .....                                                            | 41         |
| • Le profilomètre .....                                                                      | 42         |
| 4.2.2. Critères de sélection des cônes de GP .....                                           | 42         |
| 4.2.3. Protocole expérimental selon la norme ISO 6877 .....                                  | 43         |
| 4.2.4. Protocole expérimental mesure directe de D0.....                                      | 43         |
| 4.2.5. Biais de mesure .....                                                                 | 45         |
| 4.2.6. Statistiques .....                                                                    | 45         |
| 4.2.6.1. Comparaison intra-marque .....                                                      | 45         |
| 4.2.6.2. Comparaison inter-marques .....                                                     | 45         |
| <b>4.3. Résultats.....</b>                                                                   | <b>46</b>  |
| 4.3.1. Analyse qualitative des cônes de gutta-percha .....                                   | 46         |
| 4.3.2. Protocole norme ISO 6877 .....                                                        | 51         |
| 4.3.2.1. Erreur de mesure .....                                                              | 51         |
| 4.3.2.2. Résultats de mesure de d3, d16 et calcul de D0 .....                                | 52         |
| 4.3.3. Protocole mesure directe de D0 .....                                                  | 55         |
| 4.3.3.1. Erreur de mesure .....                                                              | 55         |
| 4.3.3.2. Résultats de mesure directe de D0 .....                                             | 56         |
| 4.3.4. Comparaison intra-marques des deux protocoles et conformité à la norme ISO 6877 ..... | 58         |
| 4.3.4.1. Cônes en 25/.06 .....                                                               | 59         |
| 4.3.4.2. Cônes en 30/.04 .....                                                               | 71         |
| 4.3.4.3. Cônes à conicité variable.....                                                      | 82         |
| 4.3.5. Proposition d'un score de confiance aux protocoles .....                              | 83         |
| 4.3.6. Comparaison inter-marques .....                                                       | 83         |
| <b>4.4. Discussion.....</b>                                                                  | <b>93</b>  |
| <b>Conclusion .....</b>                                                                      | <b>97</b>  |
| <b>Annexes .....</b>                                                                         | <b>100</b> |
| <b>Bibliographie .....</b>                                                                   | <b>106</b> |

**Loïs MARTRETTE – Les cônes de gutta-percha en endodontie : étude de l'exactitude et de la reproductibilité des diamètres de pointe.**

Nancy 2024 : 110 pages, 118 figures, 7 tableaux

Th. Chir.-Dent. : Nancy 2024

**Mots clefs :**

- Diamètre de pointe
- Gutta-percha
- Étude
- Endodontie

**Résumé :** L'obturation canalaire est obtenue par l'association d'un ou plusieurs cônes de gutta-percha et d'un ciment endodontique. Afin de sceller la région apicale du canal, le diamètre du maître-cône de gutta-percha doit correspondre au mieux à celui de la constriction. L'objectif de cette thèse est d'analyser l'exactitude du diamètre de différents cônes de gutta-percha selon deux méthodes de mesure : la méthode ISO 6877 et une méthode de mesure directe. Dans notre étude, les deux méthodes apparaissent comme complémentaires et permettent de conclure qu'une majorité de cônes présente un diamètre ne correspondant pas exactement à celui annoncé par le fabricant. Ainsi, une vérification systématique, et le cas échéant, un calibrage de la pointe du maître-cône de gutta-percha s'avèrent indispensables à l'obtention d'une obturation canalaire de qualité.

**Jury :**

Président :

Pr. Éric MORTIER

Membre :

Dr. Marin VINCENT

Codirecteurs de thèse :

Dr. Remy BALTHAZARD  
Dr. Renaud GIESS

**Adresse de l'auteur :**

Loïs MARTRETTE  
36 rue du 8 mai 1945  
54270 Essey-lès-Nancy

Vu la demande du doyen de la faculté d'odontologie de Lorraine sur le rapport du jury :

Président : É. MORTIER – Professeur des universités  
Membre du jury : R BALTHAZARD – Maître de conférences des universités (Directeur de thèse)  
Membre du jury : M VINCENT – Maître de conférences des universités  
Membre du jury : R GIESS – Maître de conférences associé

la présidente de l'université de Lorraine autorise

**Monsieur Loïs MARTRETTE**

né à NANCY (Meurthe et Moselle) le 14 juin 1998,

à soutenir et imprimer sa thèse en vue d'obtenir le diplôme d'État de docteur en chirurgie dentaire intitulée :

**« LES CONES DE GUTTA-PERCHA EN ENDODONTIE :  
ETUDE DE L'EXACTITUDE ET DE LA REPRODUCTIBILITE DES DIAMETRES DE POINTE »**

Nancy, le 24 septembre 2024

N° autorisation : 13718C

La présidente de l'université de Lorraine



**H. BOULANGER**



**Loïs MARTRETTE – Les cônes de gutta-percha en endodontie : étude de l'exactitude et de la reproductibilité des diamètres de pointe.**

Nancy 2024 : 110 pages, 118 figures, 7 tableaux

Th. Chir.-Dent. : Nancy 2024

**Mots clefs :**

- Diamètre de pointe
- Gutta-percha
- Étude
- Endodontie

**Résumé :** L'obturation canalaire est obtenue par l'association d'un ou plusieurs cônes de gutta-percha et d'un ciment endodontique. Afin de sceller la région apicale du canal, le diamètre du maître-cône de gutta-percha doit correspondre au mieux à celui de la constriction. L'objectif de cette thèse est d'analyser l'exactitude du diamètre de différents cônes de gutta-percha selon deux méthodes de mesure : la méthode ISO 6877 et une méthode de mesure directe. Dans notre étude, les deux méthodes apparaissent comme complémentaires et permettent de conclure qu'une majorité de cônes présente un diamètre ne correspondant pas exactement à celui annoncé par le fabricant. Ainsi, une vérification systématique, et le cas échéant, un calibrage de la pointe du maître-cône de gutta-percha s'avèrent indispensables à l'obtention d'une obturation canalaire de qualité.

**Jury :**

Président :

Pr. Éric MORTIER

Membre :

Dr. Marin VINCENT

Codirecteurs de thèse :

Dr. Remy BALTHAZARD  
Dr. Renaud GIESS

**Adresse de l'auteur :**

Loïs MARTRETTE  
36 rue du 8 mai 1945  
54270 Essey-lès-Nancy