

UNIVERSITÉ DE NANTES
UNITÉ DE FORMATION ET DE RECHERCHE D'ODONTOLOGIE

Année : 2009

N° : 24

Le malaxage automatique des matériaux à empreinte
Apports d'un nouveau système : le GMIX®

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

Présentée et soutenue publiquement par

NAUD GUILLAUME

Né le 11 Août 1983 à Cholet

Le mardi 23 juin 2009 devant le jury ci-dessous

Président : Monsieur le Professeur Alain JEAN

Assesseur : Monsieur le Docteur François BODIC

Co-Directeur : Mademoiselle le Docteur Valérie GIGOU

Co-Directeur : Monsieur le Docteur Yves AMOURIQ

Par délibération en date du 6 décembre 1972, le conseil de la faculté de Chirurgie Dentaire a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui sont présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'il n'entend leur donner aucune approbation, ni improbation.

TABLE DES MATIÈRES

1- INTRODUCTION.....	1
2- LES MATÉRIAUX À EMPREINTE.....	3
2-1 Notions fondamentales.....	4
2-1-1 Dureté.....	4
2-1-2 Élasticité.....	4
2-1-3 Viscosité-Plasticité-Thixotropie.....	5
2-1-3-1 La viscosité.....	5
2-1-3-2 La plasticité.....	6
2-1-3-3 La thixotropie.....	6
2-1-4 Déformation.....	7
2-1-5 Comportement hydrique.....	7
2-1-5-1 La mouillabilité.....	7
2-1-5-2 L'hydrophilie et l'hydrophobie.....	8
2-1-6 Précision.....	9
2-1-7 Stabilité dimensionnelle.....	9
2-1-8 Temps de prise.....	10
2-1-9 Les déformations liées à la prise d'empreinte.....	11
2-1-9-1 Le tirage.....	11
2-1-9-2 Le trainage.....	12
2-1-9-3 Le freinage.....	13
2-2 Les matériaux plastiques.....	14
2-2-1 Les cires.....	14
2-2-2 Les compositions thermoplastiques.....	15
2-2-3 Les pâtes à l'oxyde de zinc.....	16
2-2-4 Les plâtres.....	17
2-3 Les matériaux élastiques.....	19
2-3-1 Les hydrocolloïdes.....	19
2-3-1-1 Les hydrocolloïdes réversibles.....	19
2-3-1-1-1 Composition.....	19

2-3-1-1-2 Mise en œuvre.....	20
2-3-1-1-3 Propriétés et domaines d'application.....	21
2-3-1-2 Les hydrocolloïdes irréversibles ou alginates.....	22
2-3-1-2-1 Composition.....	22
2-3-1-2-2 Mise en œuvre.....	23
2-3-1-2-3 Propriétés et domaines d'application.....	24
2-3-1-3 Les hydroalginates.....	26
2-3-2 Les élastomères.....	26
2-3-2-1 Les polysulfures.....	26
2-3-2-1-1 Composition.....	26
2-3-2-1-2 Mise en œuvre.....	27
2-3-2-1-3 Propriétés et domaines d'application.....	27
2-3-2-2 Les silicones.....	29
2-3-2-2-1 Composition.....	29
2-3-2-2-1-1 Les diméthylpolysiloxanes ou silicones polycondensants.....	29
2-3-2-2-1-2 Les polyvinylsiloxanes ou silicones réticulants par addition.....	30
2-3-2-2-2 Mise en œuvre.....	30
2-3-2-2-3 Propriétés et domaines d'application.....	31
2-3-2-3 Les polyéthers.....	34
2-3-2-3-1 Composition.....	34
2-3-2-3-2 Mise en œuvre.....	34
2-3-2-3-3 Propriétés et domaines d'application.....	35
2-4 Le matériau à empreinte « idéal ».....	36
 3- LES SYSTÈMES DE MALAXAGE DISPONIBLES SUR LE MARCHÉ.....	41
3-1 Généralités.....	42
3-1-1 Historique.....	42
3-1-2 Avantages du malaxage automatique.....	43
3-1-3 Inconvénients du malaxage automatique.....	44
3-2 Le GMIX®.....	46
3-2-1 Informations commerciales.....	46
3-2-2 Analyse objective.....	48
3-3 Les malaxeurs à alginates.....	50

3-3-1 Le malaxage manuel.....	50
3-3-2 Le malaxage semi-automatique.....	52
3-3-2-1 Généralités.....	52
3-3-2-2 L'alghamix II®.....	53
3-3-3 Le malaxage automatique.....	54
3-3-3-1 Généralités.....	54
3-3-3-2 Le Cavex Alginate Mixer II®.....	54
3-3-4 La vibrospatulation sous vide.....	55
3-3-5 Le malaxage des alginate par le GMIX®.....	56
3-4 Les malaxeurs à élastomères lourds.....	58
3-4-1 Généralités.....	58
3-4-2 Le Pentamix™ 3.....	58
3-4-3 Le Duomix® et le Dynamix®.....	60
3-4-3-1 Informations commerciales.....	61
3-4-3-2 Analyse objective.....	61
3-4-4 Le Plug and Press Dispenser®, le Volume Mixer® et le Surf Mix®.....	62
3-4-5 Le Mixstar eMotion®.....	63
3-4-5-1 Informations commerciales.....	63
3-4-5-2 Analyse objective.....	64
3-4-6 Le Modulmix®.....	64
3-4-6-1 Informations commerciales.....	65
3-4-6-2 Analyse objective.....	65
3-5 Les substituts d'alginate.....	66
3-6 Les pistolets mélangeurs.....	66
4- ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DU GMIX®.....	70
4-1 Problématique.....	71
4-2 But de l'étude.....	71
4-3 Matériels et méthodes.....	71
4-4 Mesures du temps de prise.....	73
4-4-1 Protocole.....	73
4-4-1-1 Silicone par addition.....	73

4-4-1-2 Alginate.....	75
4-4-2 Résultats.....	77
4-4-2-1 Silicone par addition.....	77
4-4-2-2 Alginate.....	78
4-4-3 Analyse statistique.....	79
4-4-3-1 Données descriptives.....	79
4-4-3-2 Synthèse.....	81
4-5 Coupes transversales.....	82
4-5-1 Protocole.....	82
4-5-2 Résultats.....	82
4-5-2-1 Silicone par addition.....	82
4-5-2-2 Alginate.....	83
4-6 Discussion.....	84
4-7 Conclusion.....	85
5- CONCLUSION.....	86
6- ANNEXE.....	89
7- TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	109
8- RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	112

1-INTRODUCTION

1- INTRODUCTION

La prise d'empreinte en odontologie restauratrice est un des éléments clés dans la réhabilitation de la cavité buccale des patients. Elle intervient après la réalisation des étapes préprothétiques et proprothétiques qui ont pour but la préparation de la cavité buccale à recevoir des prothèses d'usage. Ces soins conditionnent la qualité de la restauration future. La réalisation des prothèses après les différentes empreintes est le terme du traitement prothétique et le début de la phase de maintenance. Le praticien doit répondre aux attentes initiales du patient tant au niveau de l'esthétique, de la fonction, que du confort. C'est pourquoi les empreintes réalisées doivent être les plus fidèles possible à la situation en bouche afin de parfaitement s'intégrer aux tissus dentaires et muqueux.

Dans cette optique, les fabricants, en association étroite avec les praticiens, ont cherché à améliorer les propriétés physiques de leurs produits afin de répondre à toutes les situations cliniques rencontrées, même les plus défavorables (excès de salive, saignements, malpositions dentaires, restauration de grande étendue, contre-dépouilles importantes). Les matériaux sont donc devenus plus polyvalents, mais aussi plus « agréables » pour le patient (goût moins prononcé, temps en bouche réduit) et pour le praticien (manipulation plus simple et plus courte). Leur mélange s'est perfectionné grâce aux systèmes de malaxage automatique, qui standardisent les procédures et évitent les dosages ou homogénéités aléatoires. Ils permettent une meilleure reproductibilité, une meilleure ergonomie et un gain de temps dans la prise d'empreinte au quotidien.

La réalisation d'une empreinte de qualité repose aujourd'hui sur le choix des matériaux les plus appropriés et sur leur mise en œuvre rigoureuse par un opérateur compétent, qui se doit de connaître les indications et les limites de leur utilisation. En effet, le savoir faire et l'expérience clinique de l'opérateur restent déterminants dans la prise d'empreintes en vue de prothèse. Il peut aujourd'hui s'aider de systèmes performants de malaxage des produits à empreinte garantissant des mélanges parfaitement reproductibles d'une empreinte à une autre. Ainsi, les prothèses d'usage peuvent être réalisées en laboratoire suivant à la situation en bouche.

Ce travail décrit les matériaux et les mélangeurs à la disposition des praticiens pour des empreintes de qualité. Elle étudie ensuite, avec plus de précisions, les qualités d'un récent système de malaxage, le GMIX®.

2-LES MATÉRIAUX
À EMPREINTE

2- LES MATÉRIAUX À EMPREINTE

2-1 Notions fondamentales [4, 5, 26, 30, 50, 66, 83]

Il est important de bien comprendre les différents termes qui sont couramment utilisés pour décrire les matériaux à empreinte et leur mise en œuvre. Ceux-ci définissent le comportement des matériaux dans et en dehors du milieu buccal avant, pendant et après la prise des empreintes.

Selon ses caractéristiques intrinsèques, un matériau va réagir différemment aux diverses contraintes subies.

2-1-1 Dureté

Elle définit la consistance du matériau après sa prise. On parle aussi de rigidité ou de « dureté shore ».

Cette dernière peut être mesurée par la pénétration d'une pointe mousse en acier dans des corps susceptibles de grandes déformations élastiques. Plus elle est importante, plus les forces pour retirer l'empreinte sont importantes.

Les polyéthers sont très durs après leur prise ce qui peut être gênant lors de la désinsertion de l'empreinte en présence de fortes contre-dépouilles ou lors de la coulée des modèles de travail (risque de fracture du plâtre).

2-1-2 Élasticité

Elle représente la capacité d'un matériau à reprendre sa forme et ses dimensions initiales après l'application d'une contrainte [83].

Tout matériau possède une limite élastique à partir de laquelle il ne retrouve plus sa forme initiale après déformation. Il y a alors une déformation permanente et invisible de celui-ci.

Le comportement visco-élastique d'un matériau se schématise ainsi :

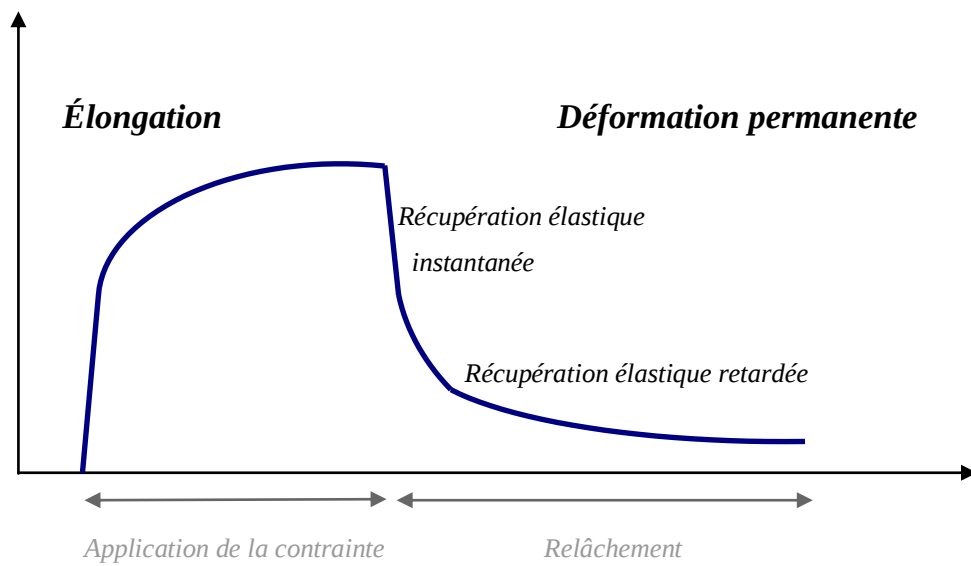


Figure 1 : Comportement visco-élastique d'un matériau pendant et après contrainte d'après Van Noort [84]. G.N.

2-1-3 Viscosité-Plasticité-Thixotropie

2-1-3-1 La viscosité

La viscosité d'un matériau correspond à sa consistance après le mélange et avant la prise. Il en existe quatre catégories différentes (normes ISO 4823), du matériau le plus épais au plus fluide [30] :

- type 0 : très haute viscosité (putty),
- type 1 : haute viscosité (heavy body),
- type 2 : viscosité moyenne (medium body),
- type 3 : basse viscosité (light body).

Elle détermine la contrainte nécessaire à la déformation d'un matériau et sa capacité à conserver sa forme après l'arrêt de celle-ci.

Un matériau visqueux (type 0) nécessite une contrainte importante et aura peu de déformation résiduelle, il est peu précis, mais peut être utilisé comme soutien à un autre matériau plus fluide (technique d'empreinte en double mélange [81]) ou pour garantir le positionnement dimensionnel d'un implant [13]. Un matériau fluide (type 3) peut être injecté au niveau des limites sulculaires des préparations et enregistrer précisément les détails, mais il sera dimensionnellement instable dans le temps.

2-1-3-2 La plasticité

La plasticité est l'aptitude d'un matériau à prendre différentes formes. Un matériau très fluide, donc peu visqueux, enregistrera facilement toutes les formes du fait de sa plasticité. C'est l'inverse avec un matériau visqueux.

2-1-3-3 La thixotropie

La thixotropie correspond à la décroissance de la viscosité lors de la soumission à une contrainte. Elle est sous la dépendance des caractéristiques intrinsèques du matériau et des conditions de manipulation.

Lors du malaxage, un matériau thixotrope voit ses capacités d'étalement augmentées. Il se fluidifie ensuite au contact et sous la pression conjointe du porte-empreinte et des surfaces à enregistrer. Enfin, sa structure se reforme après la fin de la polymérisation garantissant une bonne stabilité dimensionnelle. Ainsi, un matériau visqueux peut, au cours de sa manipulation, présenter une plasticité suffisante à l'enregistrement des détails d'une préparation.

C'est une qualité retrouvée chez les élastomères et plus particulièrement les silicones de deuxième génération ou silicones réticulants par addition (silicones A) et les polyéthers.

2-1-4 Déformation

Au cours d'une empreinte, un matériau subit différentes déformations. On distingue :

- la déformation en compression, qui est due aux forces exercées lors de l'insertion et la désinsertion des portes-empreintes,
- la déformation élastique qui doit être élevée,
- la déformation plastique qui doit être limitée (inférieure à 1% de la déformation permanente),
- la déformation permanente résulte des deux précédentes. Elle se maintient dans le temps et augmente avec l'intensité et le temps d'application des contraintes.

En pratique, indépendamment du type de matériau, pour limiter la déformation de celui-ci lors de l'empreinte, il est recommandé d'insérer le porte-empreinte à une vitesse modérée et de le désinsérer d'un mouvement sec et rapide.

2-1-5 Comportement hydrique

2-1-5-1 La mouillabilité

La mouillabilité détermine le pouvoir d'étalement d'un liquide (ici le matériau) sur une surface solide (les tissus dentaires). Elle est caractérisée par l'angle de contact, lequel est donné par la loi de Young. Si l'angle est supérieur à 90° le matériau est non mouillant, s'il est inférieur à 90° il est mouillant. Plus l'angle tend vers 0° , plus la mouillabilité est importante.

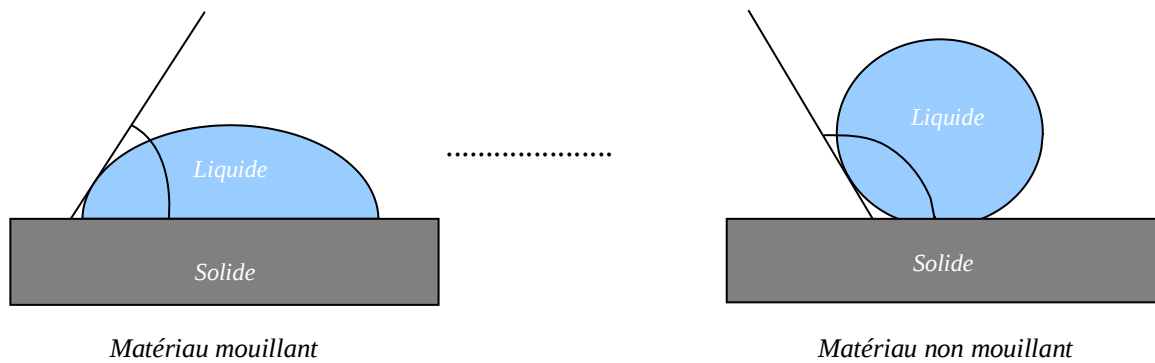


Figure 2 : L'angle de contact. D'après Craig et Powers [19]. G.N.

Plus un matériau est mouillant plus l'eau s'étale dessus, ou plus il s'étale sur l'eau. L'aptitude au mouillage des substances dentaires et muqueuses est nécessaire à une reproduction juste des détails.

2-1-5-2 L'hydrophilie et l'hydrophobie

On définit l'hydrophilie et l'hydrophobie d'un matériau selon qu'il présente respectivement une bonne ou une mauvaise affinité pour l'eau.

Les matériaux hydrophobes ont un angle de contact supérieur à 90° . Les polyvinysiloxanes (PVS ou silicones A) sont, par définition, hydrophobes de façon plus ou moins marquée selon les produits. L'adjonction de surfactants dans leur composition diminue ce caractère en favorisant leur étalement sur des surfaces humides [30]. Cependant, leur mouillabilité reste moins bonne durant la prise que celle des polyéthers, naturellement hydrophiles [62]. Les matériaux hydrophiles ont un angle de contact inférieur à 90° et sont d'autant plus hydrophiles que l'angle diminue. Ils sont appréciés car ils facilitent les empreintes et la coulée des modèles en produisant moins de vides [14, 54].

2-1-6 Précision

Les caractéristiques du matériau y contribuent directement. En effet, un matériau précis doit :

- être fluide à l'insertion dans la cavité buccale ou présenter une bonne thixotropie,
- avoir une bonne mouillabilité,
- avoir une bonne résistance aux forces de déchirement, notamment dans les zones de contre-dépouille ou au niveau de l'enregistrement intra-sulculaire du profil d'émergence de la racine. Les polyvinylsiloxanes de faible viscosité utilisés pour l'enregistrement de ces zones ne doivent pas se déchirer au niveau des limites marginales [8].

2-1-7 Stabilité dimensionnelle

C'est la capacité d'un matériau à conserver ses dimensions après la désinsertion de l'empreinte.

Elle dépend des variations dimensionnelles propres à chaque matériau au cours et après la prise d'empreinte :

- Les matériaux thermoplastiques se contractent et durcissent par abaissement de la température.
- Les plâtres subissent une expansion de prise.
- Les hydrocolloïdes passent à la forme gel sans variation dimensionnelle, mais si l'empreinte n'est pas coulée dans les quinze minutes, ils peuvent subir des phénomènes de synérèse ou d'imbibition.
- Les élastomères subissent une contraction au cours de leur polymérisation et une déformation permanente du fait de leur récupération élastique non immédiate qui n'est jamais totale.

Les dimensions des empreintes varient aussi avec :

- La viscoplasticité du matériau. Un matériau visqueux est plus stable dans le temps, mais moins précis.
- Le temps d'entreposage.
- Les conditions de stockage et de conservation (température et humidité).
- La désinfection (types de désinfectants et mode de désinfection).
- L'homogénéité du mélange.
- La présence de bulles.
- La régularité de l'épaisseur de matériau.

Chen et Liang [15] ont constaté des variations de précision dimensionnelle à une heure, deux heures et vingt quatre heures sur des empreintes réalisées avec dix matériaux à empreinte élastiques différents. La stabilité des matériaux testés diminuait significativement avec le temps d'entreposage. D'autre part, une étude de Jagger [35] réalisée en 2007, évaluant l'effet de trois désinfectants sur la précision et la stabilité dimensionnelle de cinq matériaux (quatre silicones A et un polyéther), a démontré que les changements dimensionnels observés étaient faibles et de l'ordre du micromètre. Cependant, les matériaux réagissent différemment selon les désinfectants et il apparaît préférable de respecter les recommandations des fabricants concernant les désinfectants à utiliser avec leurs produits, ceci afin de garantir une précision et une stabilité dimensionnelle optimale.

2-1-8 Temps de prise

C'est le temps nécessaire à la réaction de prise complète du matériau.

Il dure du début du malaxage jusqu'à la désinsertion du porte-empreinte.

Il se compose d'un temps de malaxage, de durée variable selon les matériaux, d'un temps de travail (temps au-delà duquel le matériau ne peut plus être utilisé pour prendre l'empreinte) et d'une polymérisation terminale avant la désinsertion du porte-empreinte.

Le temps de prise d'un matériau doit être à la fois suffisamment long pour être correctement utilisé et suffisamment court pour être supportable par le patient et utilisable au quotidien par le praticien.

Les malaxeurs automatiques diminuent le temps de malaxage et accélèrent le temps de prise facilitant la réalisation des empreintes tout en gardant un temps de travail raisonnable.

2-1-9 Les déformations liées à la prise d'empreinte [68, 69]

2-1-9-1 Le tirage

Il définit le défaut d'une empreinte où l'on observe un mauvais enregistrement d'une zone ponctuelle qui résulte d'un mauvais étalement du matériau sur les tissus à enregistrer.

Les causes envisagées sont principalement :

- une insertion trop rapide et/ou trop tardive du matériau à empreinte,
- l'utilisation d'un matériau lourd n'enregistrant pas une zone en contre-dépouille,
- un manque de compression locale.

De nombreux autres facteurs influent sur l'étalement du matériau sur les surfaces préparées, tels que :

- la mouillabilité,
- la viscosité,
- la thixotropie,
- la force de compression lors de l'insertion de l'empreinte,
- la technique d'empreinte,
- la dextérité de l'opérateur.

Ce phénomène peut se présenter avec tous les matériaux et dans toutes les situations cliniques, cependant il est réellement problématique dans la prise d'empreinte de préparations pour prothèses fixes. En effet, il va alors imposer la reprise de l'empreinte pour garantir l'adaptation précise de l'élément prothétique. Il intéresse essentiellement les empreintes aux silicones par addition, les plus utilisés dans cette indication. On veillera à utiliser des silicones

de viscosités proches dans la prise d’empreinte en double mélange et biens distinctes dans la « wash technique ». De plus, il reste nécessaire d’utiliser le porte-empreinte le plus adapté à la situation clinique (perforé, plein ou personnalisé) et de l’insérer progressivement avec une force constante.



Figure 3 : Le phénomène de tirage. D’après Périé [68].

2-1-9-2 Le trainage

La force de trainage correspond à la résistance induite par les dents non préparées lors de la désinsertion de l’empreinte.

Elle varie selon :

- le nombre et la répartition des dents,
- la position et la hauteur de la couronne clinique,
- la présence ou non d’intermédiaires de bridges.

Selon les propriétés élastiques des matériaux les déformations induites par ces contraintes sont plus ou moins importantes. Le matériau peut alors être déformé de façon permanente, se déchirer ou se désolidariser du porte-empreinte.

Face à des forces de trainage importantes, il est préférable d'utiliser un élastomère de type silicone plutôt qu'un hydrocolloïde, trop fragile, ou qu'un polyéther, trop rigide.

Pour lutter contre le trainage on doit également s'assurer de la bonne rétention du matériau sur le porte-empreinte par des perforations ou par l'emploi d'un adhésif adapté. De plus, on veillera à désinsérer le porte- empreinte dans l'axe des dents, d'un coup sec et de préférence à partir des bords de l'empreinte.

2-1-9-3 Le freinage

La force de freinage correspond à la force s'opposant à la séparation d'un matériau des surfaces enregistrées.

Elle dépend de :

- la forme des préparations,
- le nombre de préparations,
- l'état de surface des préparations,
- la présence éventuelle de contre-dépouilles,
- les propriétés des matériaux.

Ces paramètres vont influencer sur les forces de frottement qui vont être exercées au cours des étapes d'insertion et de désinsertion des empreintes.

Les matériaux les plus élastiques, les plus mouillants et les plus rigides vont limiter le freinage. Les polyéthers sont les matériaux de choix dans cette indication, les polysulfures et les hydrocolloïdes sont à éviter.

Les silicones par addition sont une solution de compromis très intéressante en prothèse fixée, où l'on doit lutter à la fois contre les phénomènes de tirage, de trainage et de freinage.

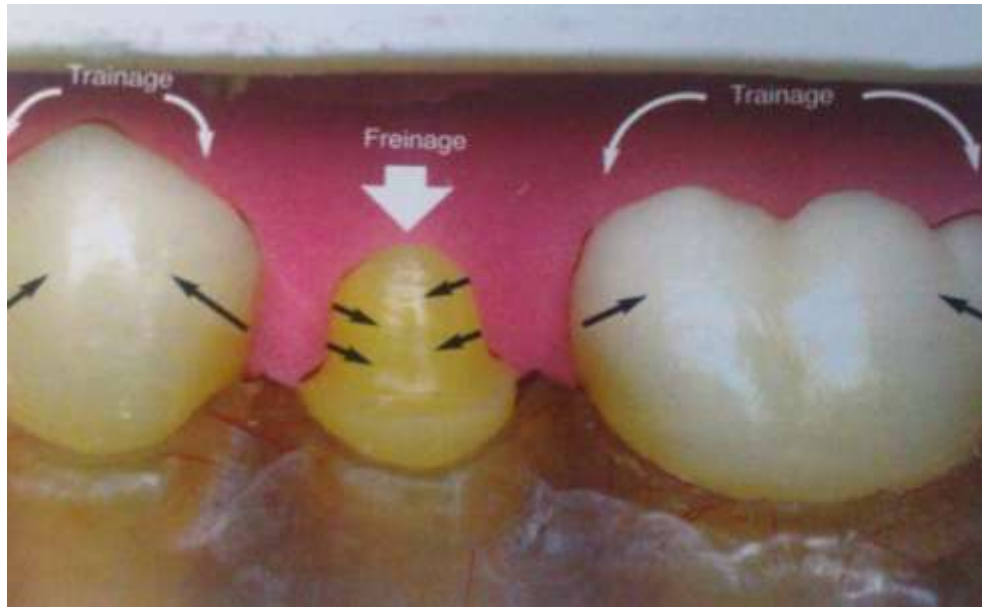


Figure 4 : Les forces de trainage et de freinage. D'après Périé [69].

2-2 Les matériaux plastiques [4, 11, 19, 65, 84]

Les matériaux plastiques sont de moins en moins utilisés dans la prise d'empreintes en vue de réalisations prothétiques. Leurs indications se restreignent à mesure que les matériaux élastiques voient leurs propriétés améliorées et leur manipulation simplifiée. Leur mise en œuvre spécifique les exclut des avancées actuelles concernant le mélange mécanique des matériaux à empreinte. Il est toutefois bon de rappeler leur composition et les quelques situations cliniques où l'on peut encore les retrouver.

2-2-1 Les cires

Il existe quatre types de cire différents :

- la cire animale (cire d'abeille, blanc de baleine...)
- la cire végétale (cire de Carnauba)
- la cire minérale (paraffine, cire micro-cristalline...)
- la cire synthétique (cire de polyéthylène...)

Leur utilisation seule ne présente que peu d'intérêt, mais on obtient des propriétés intéressantes en les mélangeant.

Les cires plastiques à température buccale sont composées de 50 à 60% de paraffine, de 20% de cérésine, de 20% de palmitate de cétyle et de 10% de résine. Elles peuvent être utilisées en prothèse amovible partielle pour réaliser des empreintes corrigées ou en prothèse amovible totale pour les empreintes secondaires.

Les cires à inlay de type B se composent d'un mélange de cire minérale (paraffine), de cire animale (cire d'abeille) et de cire végétale (cire de Carnauba). Elles sont utilisées en prothèse fixée pour des empreintes par méthode directe.

Les cires roses (fines) sont utilisées pour enregistrer l'occlusion (en mordu ou en bourrelet) ou pour réaliser des plaques bases et monter les dents (réalisation de montages dents sur cire ou de montages directeurs au laboratoire). L'occlusion peut également être enregistrée avec de la cire Aluwax® (chargée de poudre métallique) ou Moyco.

2-2-2 Les compositions thermoplastiques

On distingue les compositions thermoplastiques anciennes (Stent's et Godiva) et les compositions thermoplastiques modernes (pâte de Kerr).

Les plaques de Stent's sont composées d'un mélange de cire d'abeille et de résine ou de cire d'abeille et de gutta-percha, renforcé par une charge minérale de talc ou de sulfate de baryum. La pâte de Kerr se présente sous formes de bâtonnets composés d'une phase amorphe, d'une phase cristalline et de colorants. La couleur de chaque bâtonnet dépend de sa température de fusion :

- Verte (50-51°C)
- Rouge (55-56°C)
- Blanche (56-57°C)

La phase amorphe est formée de résine naturelle (copal, colophane...) d'une charge inerte à base de talc ou de craie et d'un plastifiant à base d'acide gras (acide stéarique, palmitique...).

Les compositions ont pour caractéristique essentielle une exceptionnelle viscosité (70 fois supérieure au plâtre). Cela limite la précision de l'enregistrement des détails. Elles sont ramollies, au bain-marie ou à la lampe à alcool, et utilisées pour la réalisation du joint périphérique lors de l'empreinte secondaire en prothèse amovible complète (marginage) ou, de plus en plus rarement, dans la réalisation d'une empreinte unitaire à la bague de cuivre sur dent à limite cervicale intra-sulculaire. Elles doivent être introduites en bouche à température tempérée pour éviter les risques de brûlure.

L'utilisation restreinte et la manipulation délicate des compositions tend à la disparition de ces techniques d'empreinte.

2-2-3 Les pâtes à l'oxyde de zinc

L'oxyde de zinc comme matériau à empreinte est conditionné sous forme de deux pâtes en tubes à mélanger.

La première pâte se compose de :

- 80% d'oxyde zinc,
- 19% d'huiles inertes ou de colophane, rendant le matériau plus cohésif et plus homogène,
- 1% de chlorure de magnésium, accélérateur de prise.

La deuxième pâte se compose de :

- 56% d'eugénol,
- 16% de résines type colophane,
- 22% d'huile d'olive et de lin, plastifiants et adoucissants du mélange,
- 6% d'huile minérale.

Ce sont des matériaux d'une grande précision de surface, du fait de leur hydrophilie, et extrêmement stables dans le temps. Ils sont cependant peu élastiques et se déforment ou se déchirent en présence de contre-dépouilles.

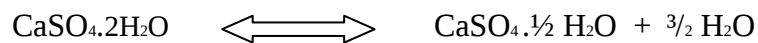
Les deux pâtes sont mélangées dans les mêmes proportions durant approximativement trois minutes. Le mélange obtenu s'utilise pour les empreintes secondaires anatomo-fonctionnelles de prothèse complète et partielle (empreinte séquentielle corrigée des secteurs édentés), ainsi que pour la stabilisation des bases d'occlusion.

Leur utilisation est contre-indiquée en présence de fortes contre-dépouille et en cas de sécheresse buccale ou de fragilité tissulaire (risque d'adhésion du matériau aux muqueuses).

2-2-4 Les plâtres

Connus et reconnus pour la conception des modèles en prothèse fixée, amovible ou sur implants, les plâtres sont moins plébiscités en temps que matériaux à empreinte.

Le plâtre est un produit manufacturé à partir d'un minéral calcaire naturel le gypse ou sulfate de calcium dihydraté de formule $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. En chirurgie dentaire, on utilise sa forme hémihydratée, obtenue par traitement thermique (calcination) :



Selon que l'on obtienne du plâtre par voie sèche ou humide, on obtient respectivement un hémihydrate β ou α , qui diffèrent par la taille et l'arrangement de leurs cristaux. Le plâtre utilisé pour la prise d'empreinte est le plâtre β ou plâtre de Paris.

La réaction de prise se réalise par réhydratation du plâtre par ajout d'eau. Il y a conjointement dégagement de chaleur (réaction exothermique), qui se poursuit après la prise, et augmentation du volume du solide (expansion de prise). Classiquement, on sature un volume d'eau par ajout progressif de poudre de plâtre, puis on spatule une trentaine de secondes afin d'obtenir un mélange fluide et homogène.

En laboratoire, des malaxeurs sous vide sont utilisés depuis longtemps pour améliorer la qualité des modèles coulés en limitant les risques de formation de bulles d'air. Le malaxeur GMIX® est le seul mélangeur sur le marché capable de réaliser le malaxage de tous les matériaux à empreintes ainsi que du plâtre. Le mélange obtenu est semblable à celui des malaxeurs sous vide en seulement quelques secondes. Ce système offre la possibilité de couler ses empreintes directement au cabinet et dans des délais brefs suivant leur prise, afin de garantir une reproduction dimensionnelle juste des enregistrements.

Le temps de prise est variable selon différents paramètres :

- la présence d'un additif (accélérateur ou retardateur),
- la présence de gypse dans la poudre,
- la température de l'eau,
- la taille des particules,
- le rapport eau/poudre,
- le temps et le type de spatulation.

On peut utiliser le plâtre en bouche pour la réalisation d'empreintes primaires mucostatiques chez l'édenté total où l'on obtient de très bons résultats. En prothèse amovible partielle, en présence de contre-dépouilles, il risque de se fracturer lors de la désinsertion. Sa fragilité le contre-indique également en prothèse conjointe. Enfin, ce matériau étant peu compressif et très rigide après sa prise, il peut être employé en implantologie pour la prise d'empreintes de positionnement en vue de la réalisation de prothèses implanto-portées.

2-3 Les matériaux élastiques

Les avancées dans le domaine du malaxage ont directement intéressés les matériaux à empreinte élastiques. Ces derniers sont aujourd'hui considérés comme les matériaux de choix dans la grande majorité des indications prothétiques et tendent à rendre obsolète l'utilisation des matériaux plastiques.

2-3-1 Les hydrocolloïdes [4, 5, 10, 11, 19, 23, 65, 71, 84, 85]

Ce sont des composés organiques hydrosolubles qui entraînent la formation de dispersion colloïdales ou de gels, de viscosité élevée.

Il en existe deux types, réversibles ou irréversibles (alginates).

Ils diffèrent par leur capacité, ou non, à passer d'un état gel (solide) à un état sol (fluide) et inversement. Les hydrocolloïdes réversibles alternent entre ces deux phases selon la température appliquée. Les hydrocolloïdes irréversibles passent de façon définitive à la forme gel par réaction chimique. Ils peuvent être utilisés seuls ou associés aux hydrocolloïdes réversibles (empreinte aux hydro-alginates).

2-3-1-1 Les hydrocolloïdes réversibles

2-3-1-1-1 Composition

Les hydrocolloïdes réversibles ont été les premiers matériaux à empreinte élastiques disponibles (vers 1925). Ils sont composés de :

- 83% d'eau,
- 5 à 15% d'agar-agar (ester sulfurique de gélose extrait d'algues marines),
- 0,2% de borax qui augmente la résistance et la viscosité du gel mais peut aussi altérer l'état de surface du modèle en plâtre,

- 1,7 à 2% de sulfate de potassium (préserve la précision de surface),
- charges (silice, argile...) et produits d'addition (glycérine, thymol...) afin de moduler les propriétés du matériau.

Leur utilisation clinique dépend du phénomène d'hystérèse ou hystérésis :

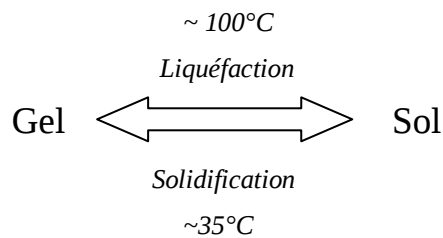


Figure 5 : Le phénomène d'hystérèse. D'après Burdairon [11]. G.N.

2-3-1-1-2 Mise en œuvre

Autrefois réutilisés après la coulée de l'empreinte, car réversibles, ils sont aujourd'hui jetés après usage pour des raisons évidentes d'hygiène.

Les hydrocolloïdes réversibles (HR) sont conditionnés sous forme gel, solide, dans des tubes ou des cartouches. Ils sont plus ou moins fluides à leur température d'usage. Les plus « lourds » sont chargés dans le porte-empreinte, les moins visqueux (« light ») sont injectés au niveau des préparations. Ils passent à l'état visqueux lors de la liquéfaction ce qui permet leur utilisation clinique. En pratique, les HR sont placés dans des cuves thermostatées avant d'être insérés en bouche. Ils sont d'abord portés à 100°C pendant 10 à 15 min, afin de détruire la structure fibrillaire du gel et les faire passer à l'état sol, très fluide. On les maintient ensuite à $60-65^{\circ}\text{C}$. Quelques minutes avant d'être mis en bouche, ils sont placés dans un bain à 45°C , afin de ne pas brûler le patient. La gélification s'effectue progressivement de la périphérie vers les dents grâce à un porte-empreinte spécifique à circulation d'eau.

Taira [80] a mis en évidence en 2002 l'intérêt de l'analyse du processus de prise pendant le refroidissement des HR. Le contrôle de la viscosité des HR, selon la température, permettrait d'améliorer la manipulation clinique de ces matériaux.

2-3-1-1-3 Propriétés et domaines d'application

Leur hydrophilie naturelle, leur bonne mouillabilité et leur faible tension superficielle donnent aux hydrocolloïdes réversibles une excellente précision de surface d'environ 10 µm [10].

Une étude *in vitro* de Frederick et Caputo [27] a comparé l'exactitude des empreintes réalisées avec des hydrocolloïdes réversibles (HR) et des élastomères (polyvinylsiloxanes et polyéthers). Elle a été réalisée dans des conditions expérimentales proches des conditions cliniques concernant la température et l'humidité de surface, l'épaisseur de matériau et les procédures d'empreinte. Il apparaît que de tous les matériaux testés les HR et les polyéthers étaient les plus précis. Les HR présentent deux avantages sur les polyéthers : ils ne nécessitent pas un mélange homogène pour obtenir une empreinte de qualité et sont beaucoup plus faciles à retirer que les polyéthers qui sont très rigides.

Leur élasticité leur permet de supporter une déformation de 80% sans perte de précision (0,05 à 1%). Cette propriété permet également le passage de contre-dépouilles marquées, bien que la faible rigidité du gel entraîne des risques de déchirures du matériau, notamment au niveau des espaces inter-proximaux et des limites intra-sulculaires profondes. Leur grande hydrophilie ainsi que leur forte densité en eau les rendent instables dès la fin de la prise d'empreinte et imposent la coulée du modèle dans des délais brefs (moins de 15 minutes). Il existe deux phénomènes qui entraînent des variations dimensionnelles altérant la précision des empreintes aux hydrocolloïdes après quelques minutes :

- La synérèse est une évaporation de l'eau de l'empreinte entraînant sa contraction.
- L'imbibition est une absorption d'eau au cours du temps.

Cependant, Schleier a démontré en 2002 que certains hydrocolloïdes réversibles récents pouvaient être conservés avec 100% d'humidité pendant 60 minutes sans perte de précision [75].

Ces matériaux sont utilisables en prothèse fixée, unitaire ou plurale, dès lors que l'accès aux surfaces à enregistrer est suffisant. Malgré leur prix de revient faible, ces matériaux sont de moins en moins utilisés car il faut couler l'empreinte immédiatement et utiliser un matériel spécifique de thermo-cyclage, peu compatible avec l'organisation d'un cabinet libéral.

AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
- Hydrophilie importante - Très bonne reproduction des détails - Très fluide - Matériau peu cher	- Peu résistant au déchirement - Variations dimensionnelles importantes - Coulée immédiate nécessaire - Matériel spécifique/investissement initial élevé

Figure 6 : Avantages et inconvénients des hydrocolloïdes réversibles. G.N.

2-3-1-2 Les hydrocolloïdes irréversibles ou alginates

2-3-1-2-1 Composition

Les hydrocolloïdes irréversibles (HI) sont des alginates alcalins de sodium, de potassium et parfois de magnésium ou d'ammonium, solubles dans l'eau.

Les sels d'acide alginique (Na, K, Mg, NH₄) entrent pour 12% dans leur composition.

Le réactif est un sulfate de calcium di-hydraté (CaSO₄.2H₂O) à faible solubilité. Sa proportion est également de 12%.

Le phosphate trisodique (Na₃PO₄) est un retardateur de prise. Son pourcentage varie de plus ou moins 2%, ce qui détermine un temps de prise plus ou moins long.

La charge est composée de talc ou de terre d'infusoires ou de diatomées. Elle représente 70% de l'ensemble et permet :

- d'augmenter la rigidité du gel à qui elle confère une certaine résistance mécanique,
- d'obtenir une surface lisse et non gluante,
- de contrôler la formation du gel et sa consistance pendant le malaxage en dispersant les particules d'alginate et de réacteur.

Enfin, du borax à 0,2%, comme pour les hydrocolloïdes réversibles, qui permet d'augmenter la résistance du gel.

Les alginates contiennent également :

- des correcteurs (sulfate de zinc, sels fluorés doubles) qui permettent d'accélérer la prise du plâtre et d'améliorer sa surface en agissant à l'interface plâtre-alginate,
- des produits d'addition comme des résines de type colophane, des correcteurs de goût, des colorants (utiles pour l'examen de l'empreinte).

2-3-1-2-2 Mise en œuvre

Les alginates sont stockés sous forme de poudre en sachets prédosés ou non. Avant l'emploi la poudre doit être agitée, afin d'uniformiser la granulométrie, les éléments les plus denses retombant au fond. De l'eau est ajoutée à celle-ci selon un rapport précis déterminé par le fabricant. La spatulation manuelle nécessite un mélange rapide (moins d'une minute) et vigoureux, afin d'obtenir une pâte crémeuse.

Même si le phénomène n'est pas très bien documenté, il semble que la prise des hydrocolloïdes irréversibles et leurs performances cliniques puissent être affectées par les ions présents dans l'eau du mélange. Une étude de Bradna [9] suggère que de l'eau distillée ou déminéralisée doit être utilisée dans les régions où l'eau du robinet est dure et contient une grande concentration de sodium, de calcium et d'aluminium. En effet, un mélange avec de l'eau dure diminuerait le temps de travail et de prise et augmenterait la rigidité du matériau.

La spatulation peut aussi être réalisée par un malaxeur électrique ou par vibro-spatulation sous vide. D'autre part, le système GMIX® réalise le mélange des alginates par malaxage planétaire à effet de vide. On obtient un mélange homogène, avec peu de bulles et une surface lisse. Les empreintes sont de meilleure qualité et les alginates peuvent alors se substituer aux silicones pour la prise d'empreinte en prothèse fixée.



Figure 7 : Empreinte maxillaire à l'alginate malaxé à la main. G.N.



Empreinte maxillaire à l'alginate malaxé avec le GMIX®. G.N.

2-3-1-2-3 Propriétés et domaines d'application

La résistance à la compression des alginates est supérieure à celle des hydrocolloïdes réversibles (HR). Cette propriété, à l'instar du recouvrement élastique, était classiquement étudiée pour caractériser les matériaux à l'alginate. Une étude menée par Woortman, en 2006, a mis en évidence l'importance de l'évaluation de la résistance des alginates au déchirement pour déterminer la stabilité des alginates. En effet, les déchirements et les déformations des empreintes peuvent être à l'origine d'imprécisions sur les modèles en plâtre conduisant à la réalisation de prothèses non conformes. Une corrélation entre la résistance au déchirement et la résistance à la compression a été mise en évidence [88].

Leur précision de surface est variable selon la classe de l'alginate utilisé. Les alginates de classe A, moins visqueux et à meilleur pouvoir d'étalement que ceux de classe B, permettent un enregistrement des détails de 25 μm (50 μm pour les alginates classiques, de classe B). Cette précision peut être améliorée par l'enduction digitale ou l'injection d'alginate directement sur les surfaces à enregistrer et par le lissage de l'alginate juste avant l'empreinte. Bien que leur précision soit inférieure à celle des HR, ils possèdent un bon comportement hydrique et, dans des conditions de manipulation favorables, la précision des alginates de

classe A est bonne et voisine de celle de certains élastomères. De plus, leur compatibilité avec les plâtre est plutôt bonne garantissant un état de surface du modèle coulé optimal [62]. Leur stabilité dimensionnelle est, comme pour les HR, altérée par les phénomènes d'imbibition et de synérèse et impose une coulée rapide des empreintes. De nombreux fabricants commercialisent aujourd'hui des alginates qui présenteraient une stabilité dimensionnelles améliorée. La société Zhermack a mis au point un alginate à prise rapide, Hydrogum 5, censé conserver ses dimensions pendant cinq jours [52]. La seule étude actuelle sur les propriétés de ce matériau plusieurs heures après l'empreinte atteste de sa bonne stabilité dans le temps, mais recommande néanmoins, comme les autres études, une coulée immédiate des alginates [76].

Enfin, les alginates présentent des propriétés mécaniques faibles et se déchirent dans les zones de contre-dépouilles marquées et dans les espaces inter-proximaux.

Les alginates sont utilisés pour la réalisation d'empreintes d'étude, pour enregistrer les arcades antagonistes en prothèse amovible ou fixée et pour servir d'empreinte primaire en prothèse amovible complète et partielle. Leur faible coût et leur « confort » pour les patients en font des matériaux incontournables pour la majorité des praticiens. Ils peuvent également être utilisés en prothèse fixée dans la prise d'empreinte d'éléments unitaires simples. Les nombreux systèmes de malaxage mécanique des alginates ont amélioré leurs propriétés mécaniques, ainsi que la précision et la fiabilité des empreintes dans cette indication. Les reconstitutions fixes de grande étendue nécessitent plutôt l'usage des silicones par addition et la technique du double mélange.

<i>AVANTAGES</i>	<i>INCONVÉNIENTS</i>
- Simplicité d'utilisation - Hydrophilie - Faible coût	- Mauvaise stabilité dimensionnelle - Mélanges inhomogènes (bulles) - Faible résistance au déchirement - Coulée immédiate nécessaire

Figure 8 : Avantages et inconvénients des hydrocolloïdes irréversibles. G.N.

2-3-1-3 Les hydroalginates

L’empreinte aux hydroalginates est similaire à l’empreinte double viscosité pour les silicones. Son but est d’utiliser la précision des hydrocolloïdes réversibles (HR) en se servant des alginates, plus visqueux, comme support et refroidissement. La compatibilité entre les deux est excellente et leurs temps de prise sont similaires ce qui garantit une bonne liaison des deux matériaux. De plus, les HR sont plus compatibles avec le plâtre à modèle. Ce type d’empreinte demande peu de matériel (porte-empreinte à circulation d’eau inutile). L’HR est injecté au contact de la surface à enregistrer et le porte-empreinte chargé d’alginate est inséré rapidement avant que l’HR ne passe à l’état gel.

2-3-2 Les élastomères

2-3-2-1 Les polysulfures ou thiocaoutchoucs [4, 11, 19, 23, 65, 71, 84, 85]

Ils font partie de la famille des élastomères, au même titre que les silicones (réticulants par addition et par condensation) et les polyéthers. Ce sont les premiers apparus en 1950, cependant, du fait de leurs caractéristiques physiques, ils sont devenus relativement impopulaires et leur utilisation s’est limitée à des situations cliniques spécifiques.

2-3-2-1-1 Composition

Ce sont des élastomères réticulants par condensation dérivant d’hydrocarbures sulfurés ou de thioplastes dépolymérisés.

Ils se composent de deux pâtes :

- La base (pâte blanche) contient 80% de monomère à 3 radicaux thiols (SH) et 20% de charge (bioxyde de titane, TiO_2 ou sulfate de calcium, CaSO_4). La polymérisation se fait par pontage entre deux radicaux thiols. La charge est un plastifiant de la base.

- L'accélérateur (pâte brune) est constitué d'environ 80% de bioxyde de plomb (PbO_2), de liants organiques plastifiants (17%) et de soufre (3,5%) qui accélère la réaction et permet l'élimination du plomb.

A celles-ci s'ajoutent des éléments d'addition :

- Silice en particules fines qui améliore les propriétés mécaniques,
- Dibuthyl-phtalate qui diminue la viscosité,
- Résines synthétiques qui améliorent l'adhésion,
- Retardateurs de prise (acide stéarique ou oléique),
- Colorants.

2-3-2-1-2 Mise en œuvre

Les pâtes sont conditionnées en tubes de trois viscosités différentes, haute (heavy), moyenne (regular) et basse (light).

En combinant les viscosités, on peut obtenir des empreintes avec une meilleure stabilité dimensionnelle (heavy et regular) ou une meilleure précision de surface (regular et light). La spatulation manuelle des deux pâtes de même viscosité en quantité égale est assez difficile. Elle doit permettre d'obtenir un mélange homogène (de couleur uniforme). L'empreinte nécessite l'emploi d'un porte-empreinte individuel enduit d'un adhésif à polysulfures. Il est garnie avec une fine épaisseur de produit (2 à 4 mm) pour limiter les variations dimensionnelles. Le temps de prise est d'une dizaine de minutes (8 à 12 minutes) et doit être respecté en bouche. L'empreinte est retirée d'un seul coup puis coulée dans l'heure pour limiter les distorsions.

2-3-2-1-3 Propriétés et domaines d'application

Les propriétés des polysulfures varient selon leur composition. Les proportions de charges dans le mélange déterminent la viscosité du produit. Comme nous l'avons vu dans le paragraphe 2-1-3-1, selon sa viscosité, le comportement d'un matériau sera différent au cours

de l’empreinte.

Les polysulfures sont très élastiques et plus résistants au déchirement que les hydrocolloïdes, donc plus aptes à passer les contre-dépouilles. Ils sont hydrophobes ce qui est préjudiciable à leur précision de surface, qui est de l’ordre de 20 µm. Cependant, l’aspect lisse (voire glacé) de leur surface est très utile en prothèse amovible complète, car il facilite le mouillage des intrados par la salive. Leur précision est accrue par l’absence d’interactions avec le plâtre à modèle. Leur polymérisation n’est pas achevée lors du retrait de l’empreinte. Leur récupération élastique est la plus lente des élastomères, ce qui impose de ne pas couler l’empreinte immédiatement, mais dans l’heure malgré tout, pour bénéficier d’une précision dimensionnelle optimale. Le bioxyde de plomb rend ce matériau radio-opaque et relativement toxique. Cet élastomère présente aussi une manipulation difficile et salissante, ainsi qu’une odeur qui peut se révéler inconfortable pour le patient comme le praticien.

Les polysulfures sont uniquement utilisés, avec un porte-empreinte individuel, pour la réalisation d’empreintes secondaires en prothèse amovible partielle et complète. Ils sont contre-indiqués en prothèse implantaire en raison, entre autre, de leur manque de rigidité. Bien qu’utilisables en prothèse conjointe, on leur préférera d’autres matériaux élastiques comme les silicones ou les polyéthers.

<i>AVANTAGES</i>	<i>INCONVÉNIENTS</i>
- Bon enregistrement des détails - Désinsertion facile - Bonne résistance au déchirement - Temps de prise long (intéressant pour les empreintes anatomo-fonctionnelles)	- Difficile à manipuler - Goût et odeur désagréables - Hydrophobe - Temps de prise long - Déformation permanente importante - Irritant

Figure 9 : Avantages et inconvénients des polysulfures. G.N.

2-3-2-2 Les silicones [4, 5, 11, 19, 23, 49, 65, 66, 71, 81, 84, 85]

Ils sont classés selon leur mode de polymérisation en silicones par polycondensation (type 1) et silicones par polyaddition (type 2). Ces deux matériaux ont des propriétés semblables et diffèrent essentiellement par leur composition et leur réaction de prise, c'est pourquoi nous les étudierons simultanément.

2-3-2-2-1 Composition

2-3-2-2-1-1 Les diméthylpolysiloxanes ou silicones polycondensants (silicones C)

Comme les polysulfures, ils polymérisent par condensation et sont de plus en plus délaissés au profit des élastomères réticulants par addition. Apparus en 1955, on les appelle aussi silicones de première génération.

Ils se composent de deux pâtes :

- La base comporte le monomère, le polydiméthyle siloxane, qui possède un groupement terminal hydroxyle réactif, et une charge (35 à 75% selon la viscosité). On y ajoute aussi un agent de réticulation et des particules de silice (10 à 20 μm) pour augmenter la rigidité.
- L'accélérateur, liquide huileux (parfois en pâte), est une suspension d'octoate d'étain et d'orthosilicate d'éthyle. On y trouve aussi des charges plastifiantes et un accepteur d'hydrogène.

La réaction de condensation, légèrement exothermique, s'accompagne de la formation d'un sous-produit, l'éthanol, et de la libération d'hydrogène. On constate un retrait volumique de 3%. La polymérisation se prolonge dans le temps et entraîne une contraction progressive.

2-3-2-2-1-2 Les polyvinylsiloxanes ou silicones réticulants par addition (silicones A)

Ils sont retrouvés sous forme de deux pâtes :

- La base contient du polyvinylsiloxane de faible poids moléculaire (obtenu par hydrolyse de silanes), une charge (bioxyde titane), des plastifiants, des pigments et des substances aromatiques.
- Le réactif (catalyseur) contient du polysiloxane, des sels de platine ou de nickel, des plastifiants et des pigments.

Les pigments (colorants) jouent un rôle important dans la lisibilité de l’empreinte.

La polymérisation est de type radicalaire (improprement dite par addition) et ne dégage pas de produit de réaction, améliorant ainsi la stabilité dimensionnelle.

Comme les silicones de première génération, les silicones A contiennent des absorbeurs d’hydrogène (noir de palladium). Ils limitent la formation d’hydrogène gazeux responsable de l’apparition de porosités au niveau des modèles.

2-3-2-2-2 Mise en œuvre

Les silicones sont disponibles en plusieurs viscosités selon les objectifs de l’empreinte.

Les matériaux visqueux, lourds (« putty ») sont peu précis, mais rigides et stables dans le temps.

Les matériaux fluides, légers (« light ») sont précis, mais mous et dimensionnellement instables dans le temps.

On réalise couramment des empreintes avec ces deux viscosités pour pallier leurs défauts et optimiser les résultats. Pour cela, les fabricants ont considérablement enrichi la gamme des polyvinylsiloxanes qui se présentent aujourd’hui sous forme « extra-light », « light flow », « putty soft », avec des temps de travail et de prise standard ou rapides. Ces produits permettent d’envisager de nouvelles combinaisons de matériaux et de répondre à un large éventail de situations cliniques [67].

Les silicones A de haute viscosité sont conditionnés en pots (une base, un catalyseur) ou en tubes. Les silicones « light » sont conditionnés en cartouches associées à un pistolet mélangeur avec un embout intra-sulculaire de dimensions variables selon la situation clinique. Les silicones C, moins utilisés, sont conditionnés en tube ou en pot pour la base et sous forme liquide ou gel pour l'accélérateur.

Dans les deux cas, le malaxage vise à obtenir un mélange homogène. Il peut être manuel ou mécanique. Ce dernier présente de nombreux avantages détaillés dans le paragraphe 3-1-2. Pour le malaxage manuel des silicones A, il est préférable de ne pas utiliser de gants en latex qui perturberaient leur polymérisation [58]. Pour limiter les risques d'incompatibilité silicones A-gants en latex il semble nécessaire que la base et le catalyseur soient mélangés avant la manipulation par les gants [72].

La prise d'empreinte nécessite l'utilisation d'un adhésif pour limiter les déformations, tout particulièrement lorsqu'on utilise un porte-empreinte non perforé de type Rim-lock® ou avec les silicones C. En raison de l'hydrophobie des silicones, les surfaces à enregistrer doivent être préalablement séchées et maintenues sèches pendant l'empreinte. Après respect du temps de prise en bouche, l'empreinte est désinsérée d'un coup sec dans l'axe des dents. La coulée doit être réalisée dans les 5 minutes pour les silicones polycondensants, en raison de leur déformation importante et rapide. Pour les polyvinsiloxanes, elle peut être différée jusqu'à plusieurs jours si elle est conservée dans un sachet, à température ambiante et humidité modérée.

2-3-2-2-3 Propriétés et domaines d'application

Les propriétés des silicones C et A sont sensiblement équivalentes. Toutefois, les silicones de première génération ont des « performances » moins bonnes que les silicones de deuxième génération du fait de leur mode de polymérisation et des améliorations apportées aux polyvinsiloxanes (PVS). Nous nous intéresserons essentiellement aux propriétés des silicones A.

Leur précision dimensionnelle est améliorée, mais leur capacité d'étalement sur des surfaces humides est limitée par leur caractère hydrophobe. Certains silicones récents sont dits « hydrophiles », par ajout de surfactants, il s'agit surtout d'une meilleure hydrocompatibilité par leur hydrophobie moins marquée et leur meilleure mouillabilité.

Mondon et Ziegler [61] ont constaté, en 2003, qu'une trop grande quantité de surfactants affectait la stabilité dimensionnelle des PVS. Ils recommandent donc qu'ils soient adjoints en quantité limitée.

A l'inverse, il semble que traiter les matériaux avec des agents topiques incluant des surfactants permettrait une diminution du nombre de vides trouvés dans l'empreinte finale et dans le modèle coulé à partir d'elle [7, 16, 59].

Les PVS ont une très bonne élasticité et une bonne résistance à la déformation leur permettant de supporter le passage de contre-dépouilles marquées.

Leur précision d'enregistrement des détails sur surfaces sèches est variable selon la viscosité, de l'ordre de 20 μm [12].

Ils sont très stables dans le temps, d'autant plus que l'épaisseur du matériau par rapport à la préparation ne dépasse pas 4mm. Les variations dimensionnelles à 24 heures sont de 0,6% pour les silicones de 1^{ère} génération et de 0,05% pour les silicones de 2^{ème} génération. La déformation permanente des PVS est considérée comme la plus faible des élastomères [33]. Ainsi, les modèles coulés une semaine après une empreinte n'ont pas de perte significative de précision comparativement à ceux coulés une heure après celle-ci [73]. Plusieurs répliques de moulage peuvent être réalisées en raison de ces faibles changements dimensionnels [26]. De plus, ni le type de désinfectant, ni le mode de désinfection (par immersion ou par spray), ne semblent avoir d'effet statistiquement significatif sur les propriétés physiques, en particulier la résistance au déchirement, des PVS [1, 25].

Il est important de noter qu'avec la très large gamme de PVS et des autres matériaux élastiques disponibles à la vente, la sélection d'un matériau à empreinte pour une certaine application doit être basée sur les propriétés plutôt que sur le type et la classe du matériau élastique [21,56].

Les deux types de silicones sont indiqués pour la prise d’empreintes en prothèse fixée unitaire ou plurale. Les silicones A sont majoritairement utilisés dans ces indications avec la technique du double mélange (deux viscosités, un temps) ou l’empreinte rebasée ou « wash-technic » (deux viscosités, deux temps). Une autre possibilité s’offre aux praticiens, l’empreinte en un temps avec un matériau monophasé de viscosité moyenne [20]. Ces matériaux tentent d’allier les qualités des silicones lourds (rigidité, stabilité) et celles des silicones légers (fluidité, précision). Malheureusement, il semble que ces matériaux soient relativement visqueux et difficiles à injecter au niveau des préparations [79]. D’autre part, il y a une augmentation du risque de formation de vides en utilisant des matériaux monophasés comparativement à la technique du double mélange [61].

Les silicones ne sont pas assez modelables pour réaliser des empreintes en prothèse amovible totale et pas assez rigides pour la prise d’empreinte en implantologie.

Cependant, Wee [86] a constaté que les silicones A peuvent être utilisés, avec certaines précautions, lorsque des tissus durs gênent la désinsertion du porte-empreinte dans les empreintes implantaires d’arcades partiellement édentées.

<i>AVANTAGES</i>	<i>INCONVÉNIENTS</i>
- Bonne précision dans l’enregistrement des détails (sur surfaces sèches) - Nombreuses viscosités disponibles - Bonne élasticité - Faible déformation permanente (silicones A) - Bonne stabilité dimensionnelle (silicones A)	- Hydrophobe (moins avec des surfactants) - Faible résistance au déchirement - Modifications dimensionnelles après la prise (silicones C) - Coûteux

Figure 10 : Avantages et inconvénients des silicones. G.N.

2-3-2-3 Les polyéthers [4, 11, 13, 19, 23, 49, 65, 66, 71, 85]

2-3-2-3-1 Composition

La base est constituée de copolymères polyéthers non saturés de haut poids moléculaire présentant un groupe éthylène-imine terminal (radical réactif).

L'accélérateur est un ester d'acide sulfonique. Il contient des plastifiants (éther de glycol...) et des charges minérales inertes (silice).

La réaction de prise est une polymérisation par polyaddition, sans produit de réaction. Cela contribue à la bonne stabilité dimensionnelle du matériau.

2-3-2-3-2 Mise en œuvre

Il s'agit d'un mélange pâte-pâte en proportions inégales (5 pour 1) qui peut être réalisé à la main ou à l'aide d'un mélangeur automatique. Avant l'introduction de ces derniers, les polyéthers étaient peu utilisés car le malaxage manuel, en plus d'être difficile, ne donnait pas un mélange homogène. 3M ESPE, qui les commercialisaient alors, a mis au point un système mécanique, le Pentamix®, qui permet l'obtention d'un mélange homogène, sans bulles et utilisable directement sur un porte-empreinte enduit d'adhésif sans manipulation manuelle, longue et ardue, du matériau.

Le temps de travail est d'environ 3 minutes à 23°C et le temps de prise est de 4 à 6 minutes (selon la température). La prise des polyéthers est dite « snap-set ». La phase de transition entre le temps de travail, assez long, et l'état polymérisé est rapide. Le passage d'un matériau plastique à un matériau élastique se fait rapidement et limite les risques d'imprécision et de tirage. Les polyvinylsiloxanes ont, à l'inverse, une prise plus progressive.

2-3-2-3-3 Propriétés et domaines d'application

La caractéristique la plus « connue » des polyéthers est leur grande rigidité après la prise, malgré certaines études récentes réfutant cette propriété [56]. Ils ont une faible résistance à la déformation et à l'arrachement. En conséquence, les empreintes doivent être retirées avec le plus grand soin pour éviter les déformations permanentes. Ils possèdent une hydrophilie naturelle qui constitue un avantage certain sur les silicones et les polysulfures [70]. De fait, leur enregistrement des détails est excellent et leur tolérance à l'humidité des surfaces également.

Habib a constaté en 1995 que les polyéthers étaient plus précis que les silicones (A et C). Cependant, il a également remarqué que la technique d'empreinte utilisée avait plus d'importance sur la précision relative que le type de matériau [32].

Les polyéthers peuvent voir la précision dimensionnelle de leurs modèles altérée par l'absorption d'eau s'ils sont conservés dans des conditions d'humidité importante. Ainsi, leur stabilité dimensionnelle est bonne (comparable aux polyvinylsiloxanes), à condition de les protéger de l'humidité et de la chaleur pour éviter l'absorption d'eau ou son évaporation [13, 71]. Dans ces conditions, une empreinte aux polyéthers peut être coulée 2 ou 3 fois sans perte de précision [24]. Cependant, il a été prouvé qu'à chaque nouvelle coulée les empreintes aux polyéthers absorbent l'eau du plâtre et sont modifiés [82].

Les propriétés des polyéthers leur confèrent une large gamme d'utilisation. Ils peuvent être utilisés en prothèse amovible partielle et complète pour réaliser des empreintes secondaires. Ils sont contre-indiqués en présence de dents en forte contre-dépouille ou présentant des espaces inter-dentaires importants. Ils peuvent être utilisés en prothèse fixée unitaire ou plurale avec les restrictions pré-citées. Enfin, les polyéthers sont plébiscités en implantologie pour leur rigidité et leur précision. Leur prix assez élevé est une restriction à leur emploi, puisqu'une empreinte au polyéther pour Pentamix™ (Impregum Pentasoft®) revient approximativement à 6,5 euros contre 2 euros pour une empreinte aux silicones « putty » en pots [2].

<i>AVANTAGES</i>	<i>INCONVÉNIENTS</i>
- Naturellement hydrophile - Dureté élevée - Bonne reproduction des détails de surface - Bonne stabilité dimensionnelle - Bonne élasticité	- Peu de viscosités différentes - Désinsertion délicate - Sensible à l'humidité lors de leur désinfection et leur conservation - Coûteux

Figure 11 : Avantages et inconvénients des polyéthers. G.N.

2-4 Le matériau à empreinte idéal

D'après Giordano, l'élimination précoce des erreurs sur une prothèse limite leur accumulation et permet de réaliser une restauration adaptée. Il s'agit, entre autre, de se renseigner et de respecter les recommandations des fabricants quant à l'utilisation des matériaux. Il convient également d'utiliser des porte-empreintes rigides et de couler les empreintes dans la journée [31].

Cependant, comme nous l'avons vu précédemment, chaque matériau a des propriétés spécifiques qui le rendent « idéal » dans certaines situations cliniques mais peu intéressant dans d'autres. Pourtant, il serait commode d'avoir un matériau à empreinte précis dans la plupart des cas, permettant une reproduction des détails constante et un bon travail du prothésiste.

Selon Petitjean [71], le matériau idéal « aurait la faculté de s'étaler seul sur l'intégralité des surfaces à enregistrer : émail, dentine, matériaux de reconstruction, tissus mous... sans être perturbé par la présence de fluides buccaux ».

D'après Van Noort [84], un matériau à empreinte doit satisfaire à la fois aux exigences du patient et aux impératifs techniques du praticien.

Pour le patient il doit être :

- d'un goût neutre,
- d'un temps de prise court,
- facile à désinsérer,
- non toxique.

Pour le praticien, il faut qu'il soit :

- facile à malaxer,
- d'un temps de travail court,
- d'un coût faible,
- facile à désinfecter,
- capable de réaliser des empreintes de bonne qualité.

En résumé, un matériau à empreintes polyvalent devrait avoir [45] :

- Un temps de prise rapide pour le confort du patient et du praticien. Ce dernier recherchant une prise rapide (« fast set ») pour les restaurations de faible étendue et une prise normale pour les restaurations plus importantes.
- Une bonne mouillabilité et hydrophilie permettant une reproduction optimale, malgré un environnement humide, et une coulée plus précise du plâtre.
- Une résistance au déchirement élevée pour limiter les déchirures nuisibles à la coulée.
- Une élasticité élevée compatible avec toutes les anatomies intra-buccales.
- Une bonne récupération après déformation respectant l'enregistrement après retrait du porte-empreinte.
- Une bonne stabilité dimensionnelle limitant les variations dimensionnelles au cours des étapes de conservation précédents la coulée.
- Une odeur et un goût « agréables ».

	Mise en œuvre	Temps de travail	Temps de prise
Plâtres	Saturation d'un volume d'eau par plâtre en poudre + spatulation (ou malaxeur)	30 secondes	3 à 5 minutes
Hydrocolloïdes réversibles	Fluidification par 3 bains. Gélification par porte-empainte à circulation d'eau (ou GMIX®)	Cycle complet de fluidification d'environ 20 minutes (14 minutes avec le GMIX®)	Gélification en quelques minutes par circulation d'eau
Hydrocolloïdes irréversibles	Mélange poudre/liquide + spatulation (ou malaxeur)	1 à 2 minutes	3 à 4 minutes
Polysulfures	Spatulation pâte/pâte	6 à 7 minutes	8 à 12 minutes
Silicones par addition	Malaxage manuel pâte/pâte (ou malaxeur)	3 minutes	5 minutes
Polyéthers	Spatulation pâte/pâte (ou malaxeur)	2 à 4 minutes	4 à 6 minutes

Figure 12 : Tableau de synthèse de l'utilisation des matériaux à empreinte. G.N.

	Indications	Contre-indications
Plâtres	- Empreinte de positionnement en implantologie - Empreinte mucostatique en prothèse amovible totale (PAT)	- Prothèse conjointe - Prothèse amovible partielle (PAP) en secteur denté
Hydrocolloïdes réversibles	- Prothèse conjointe unitaire ou plurale à limites cervicales supra-gingivales (technique des hydroalginates) - Hémostase et éviction gingivale	- Prothèse conjointe unitaire ou plurale à limites cervicales non accessibles et fortes contre-dépouilles
Hydrocolloïdes irréversibles	- Modèles d'étude et empreinte antagoniste - Empreinte primaire en PAP et PAT - Prothèse conjointe	- Prothèse conjointe unitaire ou plurale à limites non accessibles et fortes contre-dépouilles
Polysulfures	- Empreinte secondaire en PAP et PAT	- Implantologie - Prothèse conjointe
Silicones par addition	- Empreinte pour prothèse conjointe unitaire ou plurale (en milieu sec)	- Empreintes en milieu humide - PAP et PAT
Polyéthers	- Empreinte pour prothèse conjointe unitaire ou plurale - Empreintes en implantologie - Empreintes secondaires en PAP et PAT	- Empreintes en présence de contre-dépouilles marquées

Figure 13 : Synthèse des indications et contre-indications des matériaux à empreinte. G.N.

	Précision (en µm)	Variations dimensionnelles à 24 heures (en %)	Résistance à la déformation (en %)	Déformation permanente (en %)	Module de Young (en MPa)
Hydrocolloïdes réversibles	10 à 25	Très variables selon les conditions de conservation	11	1,2	
Hydrocolloïdes irréversibles (classe A et B)	25 à 50	Très variables selon les conditions de conservation	12	1,5 à 5	
Polysulfures	20	0,25	7	2,1	0,2 à 1
Silicones par condensation	20	0,6	5	0,5	1
Silicones par addition	20	0,05	2,6	0,3	2
Polyéthers	20	0,3	2	1,1	2,5

Figure 14 : Tableau comparatif des propriétés mécaniques des matériaux élastiques. G.N.

3-LES SYSTÈMES DE
MALAXAGE
DISPONIBLES SUR LE
MARCHÉ

3- LES SYSTÈMES DE MALAXAGE DISPONIBLES SUR LE MARCHÉ

3-1 Généralités

La qualité du malaxage des matériaux à empreinte est essentielle pour la prise d'empreinte. Le malaxage peut présenter des difficultés, selon le type de matériau et d'empreinte, rendant quasi impossible la réalisation d'un travail de qualité avant même l'insertion du porte-empreinte en bouche. En effet, les matériaux visqueux, comme les polyéthers très utilisés en implantologie, sont difficiles à malaxer de façon homogène et sans présence de bulles. D'autre part, la réalisation des empreintes en double mélange requière un bon « timing » entre le praticien et son assistante. Il existe donc des paramètres indépendants de la dextérité et de l'expérience clinique susceptibles de compromettre les empreintes avant leur réalisation.

3-1-1 Historique

On utilise depuis longtemps des cartouches de silicones fluides montées sur des pistolets mélangeurs avec embouts mélangeur et de distribution. Le mélange obtenu est homogène et disponible sans délai.

Ces systèmes ne sont pas compatibles avec les élastomères lourds, beaucoup plus visqueux. C'est pourquoi les fabricants ont essayé de mettre au point des systèmes pour les malaxer. Le premier malaxeur automatique à élastomères lourds mis au point a été commercialisé par la société ESPE (devenue 3M ESPE) en 1993. Il s'agissait du PentamixTM, qui était uniquement destiné au malaxage des polyéthers (Impregum®) et qui avait tout de suite rencontré un vif succès. Quinze ans plus tard, la société 3M ESPE est à sa 3^{ème} génération de PentamixTM, lequel peut désormais malaxer également les silicones lourds. Les sociétés concurrentes ont commercialisé des systèmes comparables (Dynamix®, Mixstar®...) plus ou moins originaux et innovants par rapport au premier concept.

Parallèlement à ces développements, le malaxage des alginates a connu quelques modifications au court du temps. Ce matériau, très utilisé en art dentaire, révèle un grand nombre de défauts (bulles) lorsqu'il est spatulé à la main. On a donc développé des systèmes divers pour améliorer sa consistance allant du simple « vibreur » au malaxeur sous vide (RMIX®).

Ces deux voies d'évolution dans le malaxage ont permis une plus grande fiabilité des empreintes, un gain de temps et de confort pour le praticien et une meilleure crédibilité de celui-ci au moment de l'empreinte. Cependant, l'usage des alginates, des silicones et des polyéthers ne répond pas aux mêmes indications. Il n'est pas intéressant de posséder deux systèmes différents pour malaxer trois types de matériaux en raison du coût et du manque évident d'ergonomie. En 2006, la société SNEES a commercialisé le GMIX® qui propose le malaxage des silicones et des alginates dans un même dispositif.

3-1-2 Avantages du malaxage automatique

Dès 1985, Keck [36] vantait les mérites du malaxage automatique des matériaux à empreinte :

- prévention de la contamination croisée,
- élimination des vides,
- propriétés physiques comparables aux matériaux malaxés manuellement,

et il lui garantissait développements et succès futurs.

Dans les années suivantes, plusieurs études ont évalué la qualité du malaxage mécanique. Elles s'intéressaient plus particulièrement à l'air piégé au cours de la spatulation (manuelle ou mécanique). Il en ressort que le malaxage automatique produit significativement moins de vides que le malaxage manuel. Il permet de réduire l'inclusion de bulles d'air au cours du malaxage, aussi bien des silicones par addition que des polyéthers, garantissant un mélange bien homogène. De plus, le risque de contamination est minimisé, le matériau n'étant en contact ni avec l'air, ni avec un bloc à spatuler, ni avec un opérateur avant d'être chargé sur le porte-empreinte [17, 22, 55, 78, 79].

Lepe [54] a étudié, en 1998, l'effet de la technique de malaxage sur les caractéristiques de surface des polyéthers et des polyvinylsiloxanes. Il semble que la technique de malaxage ne joue pas sur la mouillabilité des matériaux. Par contre, les polyéthers malaxés mécaniquement sont moins altérés par les désinfectants et plus stables dimensionnellement après désinfection que lorsqu'ils sont malaxés manuellement.

Pour les alginates, une étude de Kilinc [37] portant sur 88 échantillons d'alginates mélangés manuellement ($\frac{1}{2}$) ou mécaniquement ($\frac{1}{2}$) a montré des résultats mécaniques meilleurs pour les hydrocolloïdes irréversibles « regular » malaxés mécaniquement par rapport à ceux malaxés manuellement. Les alginates « regular » présentaient plus de vides (bulles) après malaxage manuel (38%) qu'après malaxage automatique (27%). Les résultats étaient équivalents avec des alginates à prise rapide (30% de vide quelque soit la technique).

En plus des qualités précitées, on peut ajouter pour le malaxage des matériaux lourds [3, 57] :

- Une grande rapidité d'exécution (30 secondes entre l'installation de l'embout de distribution et la fin du remplissage du porte-empreinte).
- Une grande facilité d'utilisation. D'une simple pression sur un bouton le matériau est mélangé et distribué. Les manipulations sont réduites, on n'est pas contraint d'enlever les gants, de manipuler des pots.
- La qualité du mélange est constante, reproductible et indépendante de l'opérateur et de la vitesse de malaxage.
- L'emploi de ces dispositifs est hygiénique, confortable et ergonomique.

3-1-3 Inconvénients du malaxage automatique [3]

Les dispositifs sont souvent lourds, volumineux, difficiles à transporter et à loger dans une salle de soins. Ils doivent avoir une place dédiée sur le plan de travail pour une utilisation optimale. De plus, dans les cabinets à plusieurs fauteuils, les malaxeurs doivent être installés dans une salle annexe accessible à tous (type salle de stérilisation), ce qui rend leur utilisation moins pratique.

Le prix moyen d'un appareil est supérieur à 1000 euros et constitue un frein à son achat. De plus, les cartouches sont 30 à 70% plus cher qu'en pots et le prix des embouts de distribution varie de 0,66 euros (Kettenbach) à 1,06 euros (3M ESPE) [74].

Enfin, les produits pour malaxeurs ont une viscosité toujours plus faible que ceux en pots. Ils sont donc beaucoup plus mous et moins compressifs. Cette consistance déroutante nécessite une familiarisation et une modification des habitudes de prise d'empreinte. En effet, les produits à empreinte pour malaxeurs automatiques sont d'une fluidité relative, et leur utilisation sans précautions donne des résultats catastrophiques. Le matériau coule, s'étire, passe dans les perforations et ne permet pas au porte-empreinte de tenir sans soutien. L'utilisation de porte-empreintes non perforés a amélioré le maintien du matériau, même sans adhésif, et la qualité des empreintes réalisées [3].

3-2 Le GMIX®



Figure 15 : Le GMIX® et ses accessoires. G.N.

3-2-1 Informations commerciales [77]

Le GMIX® est un malaxeur planétaire à effet de vide. Les bols ont un double mouvement de rotation, sur eux-mêmes et autour du centre de la machine. L'effet de vide vient de ce mouvement particulier et de la vitesse de rotation (2800 tours/min).

Le GMIX® permet le malaxage des matériaux à empreintes (alginates, silicones), des plâtres, des capsules prédosées (amalgames, ciments verres ionomères) et le réchauffage et le maintien à température des carpules d'hydrocolloïdes réversibles et d'anesthésie.

Son concept est protégé par sept brevets.

Il est ergonomique et polyvalent :

- Malaxeur.
- Injecteur d'eau (pression de 3 à 6 bars).
- Réchauffeur (4 fûts gérés indépendamment).

Il est fourni avec de nombreux bols et spatules. Chaque couleur de bol correspond à un type de matériau :

- vert pour les silicones,
- violet pour les alginates,
- orange pour les plâtres,
- bleu pour les capsules à vibrer,
- jaune pour la tare.

Cette multifonctionnalité offre une grande souplesse d'utilisation et limite le stress. Il permet un gain de place (tout le matériel est réuni dans le même dispositif) et de temps.

Il est puissant et efficace. Il fait tourner les bols à 2800 tours/minute et est programmable pour 1 à 10 secondes. Son mouvement améliore les propriétés mécaniques et les performances des matériaux au moment de l'empreinte.

Son utilisation est simple et sécurisée. Le panneau de contrôle à affichage digital est clair et un haut-parleur délivre différents messages d'erreur et des diagnostics de panne.

Il est précis et automatisé ce qui permet d'injecter de l'eau au millilitre et de réchauffer les carpules au degré près.

Tous les matériaux sont avantageusement utilisés avec le GMIX®.

Les alginates sont malaxés de façon homogène et sans bulles en quelques secondes. Le dosage d'eau au millilitre permet des résultats reproductibles d'une fois à l'autre. Le malaxage de toutes les molécules d'alginate assure une grande stabilité dimensionnelle du matériau dans le temps.

Les silicones lourds sont malaxés en moins de dix secondes, ce qui rallonge le temps de mise en place du matériau en bouche. La puissance du malaxage réduit le temps de prise du matériau et ainsi l'inconfort du patient.

Les carpules d'hydrocolloïdes réversibles (HR) peuvent être réchauffées indépendamment au degré près (température réglable). Les quatre fûts remplacent avantageusement les volumineuses cuves précédemment utilisées pour maintenir en température les HR.

Les amalgames et capsules peuvent être « vibrées » par haute centrifugation.

3-2-2 Analyse objective

Cette machine est, au premier abord, volumineuse, voire encombrante, et ne semble pas faite dans le même esprit que les malaxeurs actuels qui cherchent à se faire de plus en plus discrets. Ses dimensions et son poids (15 kg) ne sont en réalité pas des freins à son utilisation. Certes, le GMIX® nécessite une place dédiée sur le plan de travail, mais il est suffisamment polyvalent pour remplacer à la fois un malaxeur à alginate, un autre à élastomères lourds, les cuves pour hydrocolloïdes réversibles et le vibreur à capsules. En cela, on dispose d'un dispositif unique et fonctionnel aux proportions raisonnables.

Il surprend encore plus lorsque l'on s'intéresse à ses performances. En effet, les alginate de 1 à 3 doses sont malaxés en 4 à 6 secondes. Le résultat obtenu est d'un aspect plus homogène que celui obtenu avec les malaxeurs mécaniques à alginate. Les silicones lourds sont malaxés avec 15 ml d'eau pour compenser la réaction exothermique. Le résultat obtenu est homogène en 6 secondes seulement. Le plâtre, pour la coulée d'une empreinte maxillaire, est préparé en 2 secondes seulement. Enfin, le cycle complet de réchauffement d'une carpule d'hydrocolloïde réversible ne dure que 14 minutes.

Notons enfin que ces temps de référence et les quantités d'eau utilisées ne sont pas immuables et peuvent être modifiés selon les envies de l'opérateur (consistance du matériau, vitesse de prise). D'autre part, les quantités malaxées peuvent être doublées si nécessaire en remplaçant le bol de tare par un bol du même matériau dans les mêmes quantités.

Pour un utilisateur d'alginate et d'hydrocolloïdes réversibles, le GMIX® offre un grand confort d'utilisation et fournit des matériaux aux propriétés remarquables. Pour les silicones par addition, au-delà de l'intérêt financier (économies importantes par l'utilisation de matériaux conditionnés en pots et par l'absence d'embouts à usage unique) les matériaux sont délivrés en quelques secondes et ont un temps de prise raccourci. D'autre part, ils peuvent être plus visqueux que ceux utilisés par les malaxeurs de type Pentamix™3. Enfin, le conditionnement en pots des silicones utilisés avec le GMIX® permet au praticien d'être libre dans ses choix de matériau (marque, consistance) et de ne plus être dépendant d'un fournisseur particulier.

Il est donc évident que le GMIX® constitue une réelle avancée dans le malaxage automatique des matériaux à empreinte. Il présente cependant quelques inconvénients susceptibles d'être mis en avant par ses détracteurs.

Tout d'abord ce système est assez onéreux. En effet, l'investissement de départ est approximativement de 3000 euros, soit le double de ses concurrents dans le malaxage des matériaux lourds. Ce prix qui peut sembler disproportionné est, en réalité, conforme aux multiples utilisations possibles de la machine. Le problème est donc de savoir quel usage l'on souhaite en faire. Le prix invite à l'utiliser au quotidien et dans un maximum de situations cliniques. Il semble aussi intéressant pour un praticien d'en faire l'acquisition dès son installation pour l'intégrer au plus tôt dans son exercice quotidien.

D'autre part, un autre problème découle directement d'une spécificité de cet appareil. En effet, le GMIX® est le seul dispositif à disposer d'un système de distribution d'eau intégré pour les différents matériaux utilisés. Cela nécessite donc un raccordement spécifique au service d'eau permettant une alimentation constante en eau sous pression de 3 à 6 bars. Cet approvisionnement en eau ne doit pas être stoppé sous peine de devoir purger le système, afin de supprimer les bulles d'air, et de devoir réétalonner le dispositif. Le même problème se pose lorsque l'alimentation électrique de l'appareil est coupée. La purge et l'étalonnage sont cependant des procédures simples et assez rapides.

Pour être complet, il faut noter que les godets présentent un axe central nécessaire à leur calage et leur mise en mouvement. Celui-ci est, au premier abord, gênant et impose une familiarisation dans l'utilisation de la spatule avec ce type de bol pour bien récupérer son contenu et permettre un nettoyage ultérieur simplifié.

3-3 Les malaxeurs à alginates

Il existe peu d'études évaluant les propriétés mécaniques d'un alginate malaxé manuellement comparativement à un malaxage mécanique.

Les malaxeurs mécaniques à alginates ont pour objectif de rendre le malaxage de ces produits plus simple, de meilleur qualité et plus reproductible.

On décrit classiquement quatre techniques de malaxage des alginates :

- Le malaxage manuel par spatulation de l'alginate dans un bol tenu en main.
- Le malaxage semi-automatique par pression de l'alginate par une spatule contre la paroi d'un bol mis en rotation.
- Le malaxage automatique par centrifugation d'un godet mélangeur à haute vitesse.
- La vibrospatulation sous vide.

3-3-1 Le malaxage manuel

C'est la technique la moins onéreuse et, au premier abord, la plus simple. En effet, l'ensemble du matériel nécessaire, comprenant un bol et une spatule à alginate ainsi qu'un sachet de 500g d'alginate revient approximativement à 20 euros [74] et ne semble pas présenter de difficultés liées à son utilisation, le principe étant un mélange poudre-eau. Cependant, ce dernier est la source de la plupart des défauts lors de l'empreinte. L'eau doit être ajoutée à la poudre et la spatulation doit se faire progressivement mais rapidement. La pâte doit être écrasée contre les parois du bol à chaque tour de spatule jusqu'à l'obtention d'un mélange homogène. Tout cela doit être fait en moins d'une minute à un rythme approximatif de 200 tours/minute.

Cette technique, encore souvent utilisée dans les cabinets dentaires, présente plusieurs inconvénients :

- Mélange opérateur-dépendant.
- Mélange inconstant, variant d'une fois sur l'autre pour un même opérateur.
- Mélange inhomogène avec présence possible de poudre d'alginate non spatulée modifiant la réaction de prise.
- Inclusion de bulles d'air dans le mélange limitant la précision. Cette technique ne peut, quelque soit l'expérience de l'opérateur, s'affranchir de la présence de vides dans le mélange.

Le malaxage manuel n'est donc pas reproductible et fournit des empreintes peu précises ce qui limite les indications de l'alginate. Pour pallier ces désagréments et utiliser ces matériaux dans des indications cliniques plus diverses, les fabricants ont développés des systèmes de malaxage semi-automatiques et automatiques.

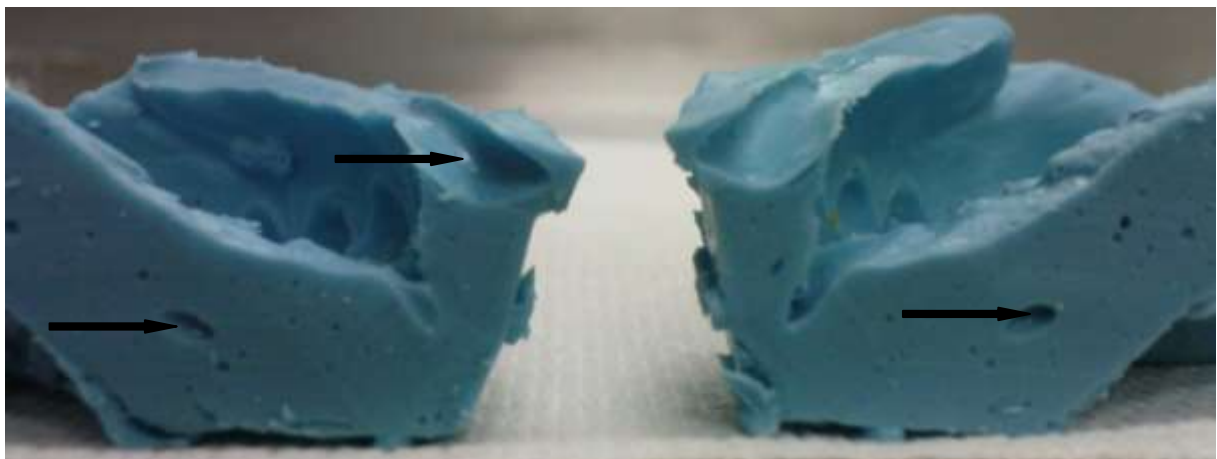


Figure 16 : Mise en évidence des défauts d'une empreinte maxillaire (cf figure 4) avec spatulation manuelle de l'alginate (coupe longitudinale passant par le milieu inter-incisif).

3-3-2 Le malaxage semi-automatique

3-3-2-1 Généralités

Il reprend le principe du malaxage manuel avec une seule modification, supposée déterminante dans la qualité du malaxage, le bol n'est plus tenu par l'opérateur, mais fixé à un socle branché sur le secteur et mis en rotation.



Figure 17 : Le malaxeur semi-automatique Alginator II®. G.N.

Le résultat obtenu est d'un aspect très homogène (supérieur au malaxage manuel) avec un minimum d'efforts et en quelques secondes. De plus, Inoue [34] a démontré que les alginates malaxés automatiquement avaient un temps de travail et de prise plus court comparativement au malaxage manuel. Toutefois, la résistance au déchirement et la dépressibilité du gel ne sont significativement pas différents entre malaxage manuel et automatique.

Pour Frey [28], les malaxeurs semi-automatiques facilitent le malaxage et améliorent certaines propriétés mécaniques (récupération élastique), mais n'ont pas d'effets significatifs sur la résistance au déchirement et à la compression.

Enfin, il faut noter que l'utilisation d'un appareil de malaxage semi-automatique des alginates nécessite un minimum de familiarisation et d'entraînement afin d'éviter les projections de matériau et d'obtenir des résultats suffisamment reproductibles et de bonnes qualités.

3-3-2-2 L'alghamix II® [48]

Commercialisé par la société Zhermack®, il est l'évolution de l'alghamix®.

Ce dispositif permet de malaxer semi-automatiquement les alginates, mais aussi les plâtres et les silicones (plateau de mélange).

Pour les alginates, la quantité de poudre et d'eau nécessaire est versée dans le bol fixé à son socle. L'ensemble est légèrement mélangé manuellement, puis le bol est mis en rotation à vitesse constante, l'interrupteur étant maintenu pendant la durée du mélange. La spatule est positionnée contre la paroi du bol jusqu'à l'obtention d'un mélange adéquate, l'alginate est alors prêt à l'emploi. L'alghamix II® possède deux vitesses de rotation, 120 tours/min et 250 tours/min selon les besoins des utilisateurs. Le bol est maintenu en place par un système de crochet à baïonnette garantissant sa stabilité pendant le malaxage. Le mélange obtenu est homogène, sans bulles, ni grumeaux.

Pour les plâtres, seule la taille du bol diffère (600 centimètres/cubes contre 350 cc pour les alginates).

Une plaque avec un bloc de mélange de 20 feuilles avec une échelle de dosage est proposé pour le mélange des silicones.

Pour un prix d'environ 500 euros [74], on obtient un alginate d'une consistance constante permettant une amélioration sensible de l'aspect des empreintes réalisées. Cependant, les qualités mécaniques des alginates malaxés avec ce système ne sont statistiquement pas améliorées [28, 34].

3-3-3 Le malaxage automatique

3-3-3-1 Généralités

Il consiste à faire tourner à grande vitesse un godet préalablement chargé avec de l'eau et de l'alginate en poudre, dans un « mixer » hermétiquement fermé, pendant quelques secondes. Les dispositifs utilisés sont un peu plus encombrants que les malaxeurs semi-automatiques mais restent discrets. Leur emploi est simple et rapidement maîtrisé.

L'alginate malaxé par cette technique a un temps de travail et de prise nettement raccourci par rapport aux malaxages manuel et semi-automatique. Il n'y a quasiment aucune bulle d'air dans le mélange, celles-ci étant supprimées par la différence de densité entre l'air et la « pâte » lorsqu'elle tourne. De plus, la température de l'alginate augmente légèrement en raison de la friction entre les particules de matériau et le godet de malaxage, diminuant la viscosité du matériau. Celui-ci est homogène, fluide et dense et possède une résistance significativement supérieure aux matériaux malaxés à la main ou par malaxeur semi-automatique [34].

Un alginate automalaxé a donc un temps de travail réduit et de bonnes caractéristiques mécaniques permettant une large plage d'utilisation allant des empreintes d'études en prothèse amovible aux empreintes pour prothèses conjointes unitaires.

3-3-3-2 Le Cavex Alginate Mixer II® [42]

Ce malaxeur commercialisé par la société Cavex® permet d'obtenir un alginate d'une qualité reproductible, supérieure à celle du malaxage manuel en un minimum de manipulations.

Il est relativement peu encombrant (environ 20cm*20cm) mais assez lourd (16 kg), ce qui le rend difficile à déplacer et impose un emplacement prévu.

Sa vitesse de rotation est de 3400 tours/min. Il possède trois pré-programmations du temps de malaxage, huit, dix et douze secondes. D'autres programmations peuvent être réalisées. Cavex recommande l'utilisation d'alginate à prise normale, le temps de mise en œuvre étant déjà

diminué par la vitesse du malaxage, l'utilisation d'alginate à prise rapide peut entraîner des difficultés de mise en œuvre.

En une dizaine de seconde, on obtient un mélange homogène, sans bulles et constant à chaque fois et quelque soit l'opérateur. De plus, lors de la coulée, le plâtre est plus lisse et sans « perles ».

3-3-4 La vibrospatulation sous vide

Les systèmes de malaxage des alginates par vibrospatulation sous vide sont, le plus souvent, utilisés dans les laboratoires de prothèses, où ils permettent également le malaxage des plâtres sous vides. Cette dernière utilisation est encore la plus plébiscitée pour ce type de matériel. En effet, les prothésistes s'attachent avant tout à la coulée des empreintes réalisées dans les cabinets dentaires par des plâtres sans vides, ni défauts. La qualité du malaxage des alginates intéresse surtout les praticiens qui réalisent ces empreintes.

Ces systèmes, plutôt encombrants et moins simples d'utilisation que ceux étudiés précédemment, n'équipent pas les cabinets dentaires.

Une exception est à noter, le système RMIX®, dont la commercialisation a été arrêtée. Il équipait certains cabinets où il améliorait nettement le malaxage des alginates en supprimant les vides d'air, permettant d'obtenir un alginate particulièrement homogène aux propriétés mécaniques améliorées. De plus, la stabilité dimensionnelle de l'alginate obtenu rendait possible l'enregistrement des détails des préparations de prothèse conjointe [29].



Figure 18 : Le système de malaxage par vibrospatulation sous vide RMX® et son godet mélangeur à pales. G.N.

3-3-5 Le malaxage des alginates par le GMIX®

Il ne dure que quatre à six secondes pour une à trois doses d'alginates. Le principe est simple :

- On met de une à trois doses d'alginat dans le godet de la couleur prévue (trois violets différents selon les doses),
- on le positionne sous le distributeur d'eau après avoir sélectionné le nombre de doses d'alginat prévu sur la façade avant,
- on presse « fill water », la dose prééglée d'eau est alors exactement distribuée,
- on referme le godet et on le positionne dans la machine,
- on appuie sur « start mix », le capot de protection se referme et le malaxage débute,
- après quelques secondes le capot s'ouvre et l'on peut récupérer l'alginat malaxé avec une des spatules fournies.

L'algininate délivré a une consistance très homogène, bien supérieure à celle obtenue par malaxage manuel. De plus, il apparaît que l'algininate malaxé avec le GMIX® est plus dense et avec un nombre très réduit de bulles. Le gel obtenu est plus rigide et son insertion en bouche est plus simple. En effet, les muscles des lèvres et des joues repoussent plus difficilement le matériau permettant un enregistrement des fonds de vestibule (notamment au niveau antérieur) nettement amélioré. D'autre part, l'algininate ainsi malaxé coule moins au niveau de la région palatine postérieure limitant les risques de réflexe nauséeux. A la mandibule, les muscles linguaux gênent moins l'enregistrement précis des régions sublinguales

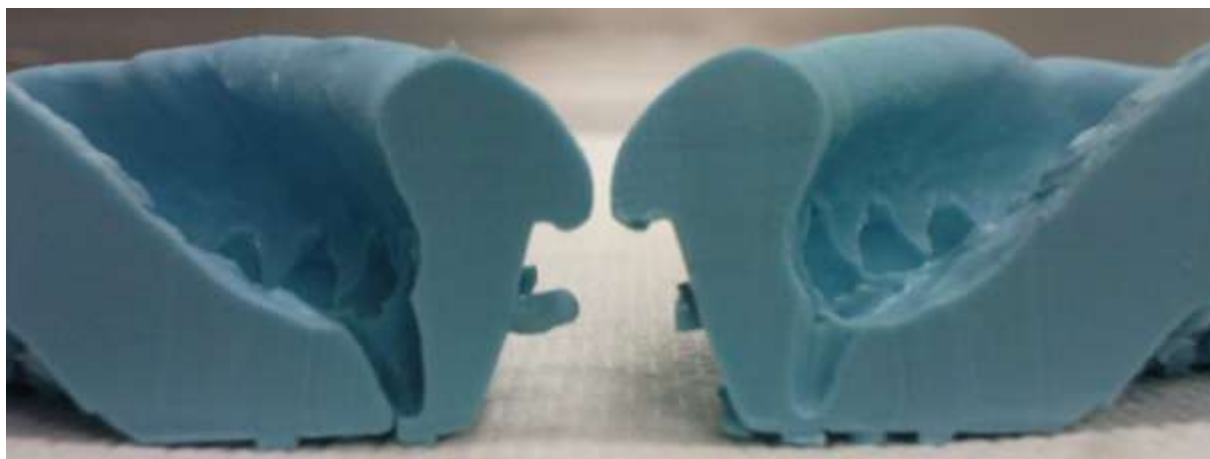


Figure 19 : Coupe longitudinale passant par le milieu inter-incisif d'une empreinte maxillaire prise avec un algininate malaxé au GMIX® (cf figure 4). G.N.

3-4 Les malaxeurs à élastomères lourds

3-4-1 Généralités

De toutes les formes et de toutes les dimensions, ces dispositifs sont de plus en plus représentés dans les cabinets dentaires. Autrefois utilisés avec un seul type de matériau à empreinte, ils sont aujourd'hui utilisés avec plusieurs dizaines de matériaux selon les recommandations (ou non) des fabricants et selon les indications cliniques. Les fabricants tentent aussi de « séduire » les utilisateurs d'alginates en proposant des substituts répondant à leurs indications classiques (empreinte d'étude, empreinte primaire).

3-4-2 Le PentamixTM3 [2, 40, 41]

Au fur et à mesure des années, le PentamixTM a évolué, s'est adapté. Aujourd'hui rendu à sa troisième version, le PentamixTM 3 mélange les polyéthers et les polyvinylsiloxanes (PVS) avec une vitesse d'extrusion doublée par rapport à la version précédente. Le mélange et le chargement du porte-empreinte sont plus rapides, le temps de travail est augmenté et des matériaux d'empreinte à prise rapide (« Quick set ») peuvent être utilisés sans stress. Le malaxage des alginates étant impossible, le fabricant préconise l'utilisation de substituts d'alginate à base de PVS (Position Penta®).

Ses dimensions sont réduites ce qui en fait le malaxeur à élastomères lourds le plus compact du marché. De plus, il peut être fixé au mur pour libérer de l'espace sur le plan de travail. Son poids de 10kg le rend assez simple à déplacer.

Ses cartouches sont renforcées (métal) pour supporter le mélange des matériaux les plus visqueux (viscosité proche des matériaux conditionnés en pots). D'autre part, le type de matériau, son temps de prise et de travail sont clairement identifiés même lors du fonctionnement de la machine. Depuis décembre 2007, 3M ESPE a spécialement mis au point sur ses boudins PentaMatic® un système holographique d'identification et d'authenticité pour

lutter contre la contrefaçon et a renforcé les opercules des cartouches. Ces dernières peuvent être changées plus facilement que précédemment et les canules de distribution qui y sont fixées peuvent désormais être changées sans ouvrir le capot.

La qualité du mélange est toujours optimale sans bulles, même avec des matériaux lourds.

L'ensemble risque peu de contaminations le matériau étant, dès sa sortie du dispositif, chargé sur le porte-empreinte mis en bouche.

Son prix d'environ 1200 euros reste raisonnable au vue des performances proposées.

Cette description du PentamixTM3, bien que conforme à ses caractéristiques, est peu objective et correspond, pour l'essentiel, aux atouts mis en avant par le fabricant.

Concrètement, il apparaît dans une étude réalisée sur le PentamixTM de première génération que ce dispositif rend plus rapide et plus simple le malaxage et la distribution des matériaux à empreinte les plus lourds. Son utilisation hygiénique et la simplicité du nettoyage sont également remarquables [39]. Ce type de malaxage représente donc bien une avancée marquée par rapport aux méthodes traditionnelles de mélange à la main, avec un risque de contamination bactérienne minimum [22]. Mais, qu'en est-il avec les dispositifs de deuxième et troisième générations ?

Une étude réalisée en 2007 avec le PentamixTM2 a confirmé le confort d'utilisation de ces dispositifs. Tous les groupes consultés (chirurgiens-dentistes, étudiants peu expérimentés, assistantes dentaires) ont préféré le malaxage automatique par le PentamixTM2 par rapport aux pistolets automélangeurs et au malaxage manuel. Ils ont apprécié le niveau de propreté et la qualité du mélange obtenue. L'intérêt d'un malaxage avec un rapport base/catalyseur constant a été noté. Cependant, le malaxage et le chargement du porte-empreinte semblent significativement plus lents avec le malaxeur mécanique qu'avec les autres techniques (excepté pour les étudiants inexpérimentés) [63].

Le PentamixTM3, commercialisé depuis 2008, a remédié à ce défaut en doublant sa vitesse de distribution (supérieure à 140 ml/min, données 3M ESPE). De plus, une étude de Klettke [38] a comparé la vitesse d'extrusion et les performances des systèmes de malaxage automatique, afin de voir si les vitesses de distribution étaient affectées par la viscosité du matériau. Le PentamixTM3 a démontré les vitesses d'extrusion les plus rapides comparativement aux autres systèmes sans différences significatives de vitesse de distribution entre le matériau dit « soft » et le matériau lourd.

Enfin, le dispositif est devenu plus compact et son encombrement s'est réduit, solutionnant ainsi un problème récurrent avec ce type d'appareil.

Le Pentamix^{TM3} a donc conservé ses qualités (sobriété, simplicité, efficacité) et comblé ses lacunes pour satisfaire aux exigences de la prise d'empreinte au quotidien. On peut cependant déplorer le manque d'originalité du dispositif qui reste semblable au deux précédents et qui ne propose pas de solutions innovantes pour la distribution des autres matériaux à empreintes (hydocolloïdes réversibles, irréversibles...). De plus, les problèmes de gaspillage de matériau à empreinte dans les embouts de distribution à usage unique n'ont pas été résolus entraînant un surcoût non négligeable à chaque empreinte.

3-4-3 Le Duomix® et le Dynamix®



Figure 20 : Le système Duomix® avec une cartouche d'Honigum heavy. G.N.

Ces deux systèmes sont issus de la même usine allemande. Ils ne diffèrent que par la couleur de la bande centrale. Le Dynamix® est commercialisé par la société Heraeus Kulzer et Dentsply commercialise le Duomix®. Leur prix de vente est supérieur à celui du Pentamix^{TM3} et proche de 1500 euros.

3-4-3-1 Informations commerciales [43, 46]

Grâce à ces dispositifs, le malaxage est simple, rapide, efficace et ergonomique. Un contrôle électronique de la descente et de la remontée des pistons permet un malaxage et une extrusion des matériaux automatisés, avec un fonctionnement inverse pour changer la cartouche.

Un boîtier transparent permet un contrôle visuel des matériaux utilisés (viscosités, temps de travail et de prise) et des quantités restantes (maîtrise de la consommation). Deux vitesses d'extrusion adaptées sont proposées, une lente (47 ml/min environ) pour le remplissage des seringues à empreinte, une plus rapide (75 ml/min environ) pour le chargement des porte-empreintes. L'utilisation de ces machines est claire et intuitive avec un indicateur de niveau de remplissage des cartouches et des LED précisant si la machine est sous tension, si le capot est ouvert et si la cartouche est presque vide (dernier porte-empreinte). Leur encombrement est limité, avec la possibilité de les fixer au mur.

3-4-3-2 Analyse objective

Ces dispositifs sont très efficaces et agréables à utiliser. La gestion électronique de la pression des pistons permet le malaxage des matériaux en cartouches les plus visqueux. Elle permet également une utilisation confortable en assurant, sans efforts, la remontée des pistons lors du changement de cartouche. La vitesse de distribution n'est pas exceptionnelle mais reste suffisante pour le chargement rapide d'un porte-empreinte. Comme la majorité des mélangeurs actuels, ces dispositifs peuvent accueillir les cartouches des autres malaxeurs mécaniques.

Leurs nombreuses fonctionnalités imposent une lecture attentive du mode d'emploi afin de bien cerner leur utilisation et d'optimiser leurs performances. Ils sont encore assez volumineux et nécessitent une place dédiée sur le plan de travail. Enfin, on peut déplorer, comme pour le PentamixTM3, qu'aucune solution (autre que les alginates de substitution à base de polyvinylsiloxanes), n'ait été trouvée pour le malaxage des hydrocolloïdes. De plus, l'utilisation d'embouts à usage unique entraîne toujours un gaspillage important de matériau.

3-4-4 Le Plug and Press Dispenser®, le VolumeTM Mixer et le Surf Mix® [47]

Ce sont des dispositifs comparables tant au niveau de leur aspect extérieur qu'au niveau de leur fonctionnalités. Ils sont simples, mais d'une remarquable efficacité.

Leurs avantages sont :

- Une esthétique discrète et sans excès associée à une grande simplicité d'utilisation.
- Un changement des cartouches aisé et rapide (une minute), malgré la remontée manuelle des pistons (molette sur le côté).
- Deux déclencheurs disponibles (à droite et à gauche).
- Un mélange constant et de bonne qualité.
- Un bruit faible.
- Une vitesse de distribution intéressante (environ 100ml/min).

Leurs inconvénients sont :

- La pression sur les déclencheurs, nécessaire au fonctionnement de la machine, est un peu forte.
- L'absence de capot tend à laisser la poussière se déposer, mais simplifie encore le changement des cartouches.
- Ils ne malaxent pas les alginates mais des substituts d'alginate (AlginotTM de Kerr et Kettosil® de Kettenbach).

Chaque fabricant recommande d'utiliser les matériaux à empreinte de la même marque que le mélangeur. Ils sont évidemment tous compatibles entre eux, seules les propriétés spécifiques des matériaux diffèrent.

3-4-5 Le Mixstar-eMotion®

Il est commercialisé, en France, par la société PRED. Le MixStar-eMotion® est l'évolution du Mixstar® :



Figure 21 : Le système Mixstar® avec une cartouche d'Honigum heavy. G.N.

3-4-5-1 Informations commerciales [44]

Il malaxe et distribue les matériaux à empreintes deux fois plus vite que son prédécesseur, soit à environ 100 ml/min. Il possède trois vitesses et deux horloges pour programmer le temps de travail et de prise et éviter les erreurs d'enregistrement.

Le Brånemärk Center recommande son utilisation en implantologie avec la cartouche d'Honigum-Mixstar Heavy.

Son utilisation est facile. D'une simple pression sur un bouton poussoir, le matériau est mélangé, dans des doses précises (régulées électroniquement), et distribué sans avoir à maintenir la pression ce qui autorise une plus grande liberté de mouvement.

Un bouton permet la remontée des pistons et le changement de cartouche.

Les trois vitesses sont utilisées pour le remplissage des seringues (pour la plus lente) et celui du porte-empreinte (pour les deux plus rapides).

Le mélange est fiable. Le matériau distribué est homogène et sans bulles. Le dosage optimal du matériau réduit au maximum le gaspillage.

Enfin, une commande au pied est disponible en option et un port USB est prévu pour la mise à jour du programme.

3-4-5-2 Analyse objective

Il possède une forme étonnante et moderne. L'ensemble dégage une impression de grande sophistication. L'affichage à cristaux liquides avec touches à effleurement renforce ce sentiment.

Il n'a pas de capot ce qui le rend sensible à la poussière.

Le déclencheur au pied en option n'est pas nécessairement superflu et peut être assez avantageux pour un praticien exerçant seul.

Une des trois vitesses de malaxage est surtout prévue pour les empreintes nécessitant des élastomères lourds réellement épais et donc une force importante. Cela permet d'utiliser des matériaux en cartouches de viscosité proche des matériaux en pots.

Ce mélangeur est donc à la fois fonctionnel et esthétique. Cependant, bien que ses dimensions aient été réduites il reste parmi les mélangeurs les plus encombrants du marché.

3-4-6 Le modulmix®

Ce système, proposé par la société Zhermack, est un des derniers mélangeurs avec un rapport de mélange 5 :1 mis sur le marché. Il est prévu pour mélanger exclusivement les silicones A (dont les substituts d'alginate) et tout particulièrement l'Hydrorise® qui présenterait une « hyper-hydrophilie » exceptionnelle pour un produit de cette composition (silicones naturellement hydrophobes).

3-4-6-1 Informations commerciales [48]

On peut relier plusieurs machines entre elles pour utiliser différentes viscosités simultanément (système modulaire breveté).

Il est compatible avec tous les systèmes 5 : 1 sur le marché.

Il y a deux boutons de démarrage, facilitant le chargement du porte-empreinte pour un droitier comme un gaucher.

Le mélange est facile, constant et de bonne qualité. D'autre part, le nouvel embout dynamique/statique breveté par Zhermack garantit un mélange parfaitement homogène.

Il possède une double vitesse de distribution, une lente pour le remplissage des seringues (70 ml/min), une rapide pour le remplissage des porte-empreintes (155 ml/min).

Un couvercle transparent limite les dépôts de poussière, facilite le nettoyage et permet un contrôle visuel du type de matériau utilisé et de la quantité restante.

Les cylindres motorisés, remontés en trois secondes, permettent un changement rapide des cartouches.

3-4-6-2 Analyse objective

Ce système est remarquablement compact et s'accorde à toutes les organisations (possibilités d'installation murale ou de raccordement de plusieurs Modulmix® entre eux).

Sa vitesse de distribution est excellente et équivalente à celle du Pentamix™3, faisant de lui le malaxeur de matériaux lourds le plus rapide avec le Pentamix™3.

On peut cependant déplorer que ce dispositif, pourtant récent et moderne, ne tienne pas compte de l'évolution générale des dispositifs. En effet, il malaxe uniquement les silicones et ne revendique pas la capacité de malaxage des polyéthers, pourtant couramment utilisés. Ce dispositif est donc très efficace pour les silicones par addition, mais ne veut pas innover en matière de malaxage de l'ensemble des matériaux et souhaite rester fidèle aux dispositifs précédemment proposés.

3-5 Les substituts d'alginate

Comme nous l'avons évoqué dans les paragraphes précédents, tous les fabricants de malaxeurs à élastomères lourds proposent, en remplacement des alginates, des substituts d'alginate à base de silicones. En effet, les systèmes de distribution de ces dispositifs sont incompatibles avec la mise en œuvre classique des alginates par mélange poudre-eau. Les utilisateurs d'alginate étant encore très nombreux les fabricants se devaient de trouver une solution pour répondre aux indications de ce matériau. Les substituts d'alginate cherchent à conjuguer les avantages des alginates et les qualités des vinylpolysiloxanes.

Ainsi, on obtient un matériau présentant :

- une bonne résistance à l'arrachement,
- un aspect de surface lisse,
- une bonne hydrocompatibilité,
- une bonne stabilité dimensionnelle (multiples coulées possibles),
- une désinfection simple,

sans perte dimensionnelle, sans risque de gonflement du matériau, sans préparatifs, sans poussières et sans bulles.

Il serait essentiellement indiqué, selon les distributeurs, aux empreintes de positionnement. Toutefois, le prix de revient d'une telle empreinte est très nettement supérieur à une empreinte conventionnelle à l'alginate.

3-6 Les pistolets mélangeurs

Dès 1985, Craig [18] constatait les bénéfices des pistolets mélangeurs pour les silicones par addition :

- Un mélange base/catalyseur adéquat et constant.
- Un nombre de bulles diminué par quatre ou cinq.
- Une bonne précision des matériaux.
- Un gaspillage diminué.
- Des propriétés mécaniques intéressantes.

Ils sont actuellement commercialisés par tous les fabricants de matériel dentaire. Ils se composent d'un pistolet avec un emplacement prévu pour accueillir une cartouche de matériau à empreinte avec deux compartiments (base et catalyseur) et d'un embout automélangeur avec applicateur intra-oral.



Figure 22 : Un pistolet mélangeur et ses différents constituants. G.N.

Ce type de système de distribution des matériaux est également utilisé pour la distribution des résines à provisoire (type Protemp®), des matériaux de rebasage en prothèse amovible (type Ufi Gel de chez VOCO) et des mordus d'occlusion en silicone ou polyéther à prise ultra-rapide [20]. Nous ne nous intéresserons ici qu'aux mélangeurs et distributeurs de matériaux à empreinte.

Il s'agit de doubles cartouches contenant principalement des silicones par addition et des polyéthers. Les taux moyens de rétraction des matériaux utilisant la technique en cartouche sont comparables à ceux des matériaux malaxés à la main et augmentent avec le temps [51]. Les pistolets mélangeurs ont montré une bonne capacité à réduire les vides dans le mélange des matériaux [55].

Ces dispositifs sont donc efficaces et très simples d'utilisation malgré certains défauts, comme :

- la nécessité d'utiliser des matériaux plutôt fluides,
- le prix de revient assez élevé,
- la polymérisation du matériau dans la cartouche.

On utilise surtout des matériaux de faible viscosité (« light » voire « ultra-light ») en complément d'un matériau plus visqueux (« putty ») automélangé ou malaxé à la main (empreinte double-mélange). En effet, les silicones les plus visqueux pouvant être distribués par ces dispositifs sont des silicones dits « regular » insuffisamment compressifs et stables dans le temps pour être utilisés seuls.

D'autre part, si la cartouche et le pistolet sont réutilisés plusieurs fois, l'embout mélangeur et l'applicateur doivent être jetés après chaque utilisation entraînant un surcoût non négligeable. En effet, l'ensemble embout mélangeur-applicateur intra-oral revient à plus de un euro [74]. Le « gaspillage » du matériau dans cette technique semble néanmoins inférieur à celui engendré par le malaxage manuel. La quantité de produit à empreinte perdue dans l'embout de distribution est inférieure à celle laissée sur le bloc à spatuler [87]. De plus, Barr [6] a décrit une technique permettant de préserver le matériau à empreinte et de réduire le nombre d'embouts automélanges utilisés. Cette technique ne s'applique qu'aux cas d'empreintes réalisées en double mélange avec deux pistolets mélangeurs. Pour cela, il suffit de « charger » un embout mélangeur de matériau très fluide puis de le positionner sur la cartouche de matériau plus lourd et d'injecter au niveau de la préparation. La quantité de matériau « light » distribuée est alors suffisante à l'enregistrement des détails de préparation. On double ainsi le nombre d'empreintes obtenu à partir d'une cartouche de matériau de basse viscosité et on n'utilise qu'un embout automélangeur à chaque fois. Le seul point négatif de cette technique concerne l'insuffisance de compression par le matériau le plus lourd entraînant des distorsions de l'empreinte.

Netti [64] a noté, dès 1990, des problèmes de polymérisation du matériau dans la cartouche de distribution après son utilisation avec l'embout mélangeur. Le matériau polymérisé forme des bouchons pouvant bloquer partiellement ou complètement les orifices des doubles cartouches et affecter le fonctionnement correct du système.

Pour limiter les désagréments qui en découlent (matériau mal mélangé, polymérisation hasardeuse, reprise d'empreinte, perte de temps) quelques précautions simples s'imposent :

- Ne pas conserver l'embout automélangeur usagé (contrairement aux recommandations du fabricant).
- Expulser une petite quantité de matériau non mélangé et essuyer chaque orifice séparément.
- Positionner une petite pièce de matériau élastique, un bout de feuille de digue, ou un morceau de papier sulfurisé sur les orifices et recouvrir avec un nouvel embout mélangeur. Cela scelle la fin de la cartouche et prévient la contamination croisée.
- Ôter l'embout mélangeur et expulser une petite quantité de matériau (pour garantir l'absence de bouchons) avant de remettre l'embout et d'utiliser le système sans soucis.

La société Dentsply a mis au point le système Digit qui constitue aujourd'hui l'évolution des pistolets mélangeurs. Ce système est un injecteur-seringue de silicone par addition fluide avec cartouches à usage unique. Les seringues sont autoclavables, contrairement aux pistolets. Les embouts sont très fins et très précis. Enfin, le gaspillage est minime et les risques de polymérisation du matériau dans la cartouche sont supprimés. Ce système permet donc la réalisation ergonomique des empreintes en prothèse fixée en réduisant ou supprimant les défauts des pistolets mélangeurs dans cette indication [53].

4-ÉTUDE
EXPÉRIMENTALE
DU GMIX®

4- ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DU GMIX®

4-1 Problématique

A l'heure actuelle, la plupart des laboratoires de fournitures dentaires présentent des systèmes plus ou moins efficaces et complets de malaxage des matériaux à empreinte. L'offre de mélange mécanique est donc très diversifiée et permet de mélanger quasiment tous les matériaux. Cependant, pour s'affranchir de tout malaxage manuel, le praticien soucieux de la qualité de son exercice devra s'équiper de plusieurs systèmes proposés par plusieurs fabricants. Un seul dispositif ne peut pas malaxer tous les matériaux. C'est pour cette raison que le GMIX® a été créé. Il tente de réunir plusieurs dispositifs en un, simplifiant toutes les prises d'empreintes et garantissant un résultat reproductible supérieur au malaxage manuel. Il apparaît intéressant de réaliser des tests pour évaluer la réussite de ce projet.

4-2 Objectif

Cette étude vise à comparer la qualité des matériaux à empreinte après malaxage automatique par rapport à un malaxage manuel.

Nous allons comparer le temps de prise et l'homogénéité du mélange après un malaxage manuel et un malaxage automatique avec le GMIX®, pour les silicones par addition et pour les alginates. Notre hypothèse de départ est que le malaxage par le GMIX® permet d'obtenir un mélange plus homogène avec un temps de prise plus court que par la technique manuelle pour les silicones par addition et pour les alginates.

4-3 Matériels et méthodes

Système de malaxage automatique GMIX®.

Alginate : Cavex Impressional Normal Set Dustfree de chez Cavex.

Silicone : Putty soft Fidelity® de chez Morita (lot 4606847 – expire le 31/08/09).

Le matériau malaxé est positionné dans un tube de plastique aux dimensions suivantes :

- Hauteur = 32 mm,
- Diamètre = 30 mm.

Ces données, particulièrement la hauteur, nous permettent de contrôler la prise de 0mm (pénétration totale de l'aiguille de mesure) à 32 mm (fin de la prise, pas de pénétration). De plus, les blocs obtenus ont des formes et des dimensions constantes, reproductibles et comparables.

Pour déterminer les temps de prise des matériaux on réalise des tests de pénétration avec un pénétrateur Prolabo.



Figure 23 : Le dispositif de mesure utilisé au cours des expérimentations. G.N.

Il se compose d'une tige mobile avec une aiguille à son extrémité. Cette aiguille est insérée dans le matériau à empreinte au fur et à mesure de sa prise. La graduation située sur la partie fixe du dispositif permet de mesurer les différences d'enfoncement de l'aiguille dans le matériau au cours de sa prise. Au fur et à mesure de la prise elle va pénétrer de moins en moins dans le matériau qui se fige. Lorsqu'elle ne pénètre plus, on considère la prise terminée. Plusieurs séries d'essais sont réalisées avec le silicone et l'alginate à des temps réguliers et reproductibles : T1=1min, T2=1,5min, T3=1,75min, T4=2min, T5=2,25min, T6=2,5min, T7=2,75min, T8=3min, T9=3,25min, T10=3,5min, T11=3,75min, T12=4min, T13=4,5min, T14=5min, T15=5,5min. On obtient des courbes de non-pénétration en fonction du temps.

4-4 Mesures du temps de prise

4-4-1 Protocole

4-4-1-1 Silicone par addition

On utilise une dose de base et une dose d'accélérateur à l'aide de la cuillère doseuse.

Malaxage manuel : 20 secondes de mélange sans gants ou avec des gants en vinyle.

Malaxage automatique : 6 secondes de mélange avec une dose d'eau (préréglage pour une dose de silicone par addition).

- Malaxage manuel.

Le malaxage débute lorsque les deux doses de matériau, base et catalyseur, sont prêtes. On lance le chronomètre à la mise en contact des silicones. Après 20 secondes de malaxage le mélange obtenu est positionné dans le tube de mesure. Malgré le respect soigneux du dosage du matériau (1dose/1dose), le tube est plus ou moins bien rempli jusqu'à sa limite et les mesures varient de 30 à 34 mm.

On a également constaté, au moment du malaxage manuel, que vingt secondes ne suffisaient pas à obtenir un mélange homogène pour être comparé au malaxage mécanique. Il a donc été décidé d'augmenter ce temps à trente secondes pour réaliser un mélange adéquat et avoir une prise optimale.

La première mesure de la prise du matériau est effectuée une minute après le début du malaxage. La pointe du pénétrateur est maintenue proche de la surface du matériau puis lâchée. Cette manipulation est renouvelée tout au long de la prise à intervalles de temps réguliers de T1 à T15 (voir tableaux en annexe).

Les résultats obtenus sont notés et analysés.

Les blocs de silicones sont numérotés et conservés dans des sachets de prothèse hermétiques afin de réaliser des coupes comparatives des blocs obtenus.

- Malaxage automatique.

Après dosage de la base et du catalyseur, les deux boules sont placées dans le godet mélangeur du GMIX®. Ce dernier est positionné sous le distributeur d'eau qui délivre 10 ml d'eau, par pression sur le bouton « fill water », pour compenser la réaction exothermique de prise. Un couvercle est positionné sur le godet qui est alors mis en position dans la machine à l'emplacement laissé libre par la tare. Après six secondes de malaxage, on obtient un mélange homogène avec une fine pellicule d'eau en surface.



Figure 24 : Les étapes du malaxage automatique d'un silicone par addition. G.N.

L'eau est jetée et le silicone malaxé est positionné dans le tube de mesure.

Les mesures sont réalisées et notées comme pour le malaxage manuel.

Les blocs sont numérotés et mis en sachets séparés des silicones malaxés manuellement.

4-4-1-2 Alginate

On mélange deux doses de poudre et 28 ml d'eau, conformément aux recommandations du fabricant pour l'usage de l'alginate Cavex Normal Set. Le dosage en eau est identique pour les deux types de malaxage et toujours distribué par le malaxeur au millilitre près et à une température toujours identique (et non modifiable).

Malaxage manuel : 30 secondes de spatulation manuelle vigoureuse.

Malaxage automatique : 5 secondes de mélange (temps préréglé pour deux doses d'alginate).



Figure 25 : Aspect de l'alginate après malaxage manuel (à gauche)
et malaxage automatique (à droite). G.N.

Le mélange obtenu par malaxage manuel ou automatique est positionné dans le tube de mesure précédemment décrit. La quantité d'alginate correspond approximativement à la quantité obtenue précédemment avec le mélange pâte/pâte.

On veillera à avoir une surface lisse de matériau en périphérie du tube afin de ne pas fausser les mesures prises par l'aiguille du dispositif de mesure. Celle-ci est d'ailleurs plus simple à obtenir qu'avec les silicones par addition en raison de la plasticité plus marquée des alginates qui épousent la forme du tube de mesure jusqu'au bord.

Les mesures sont prises, comme pour les silicones, à intervalles de temps réguliers (voir tableaux en annexe).

Les blocs sont numérotés et mis en sachets séparant la méthode manuel du malaxage par le GMIX®.

4-4-2 Résultats

4-4-2-1 Silicone par addition

L'ensemble des données pour les malaxages automatiques et manuels des silicones est analysé statistiquement. Les résultats descriptifs obtenus sont conciliés dans les tableaux 5 et 6 en annexe. On peut ainsi réaliser des courbes moyennes des valeurs de non-pénétration aux différents temps :

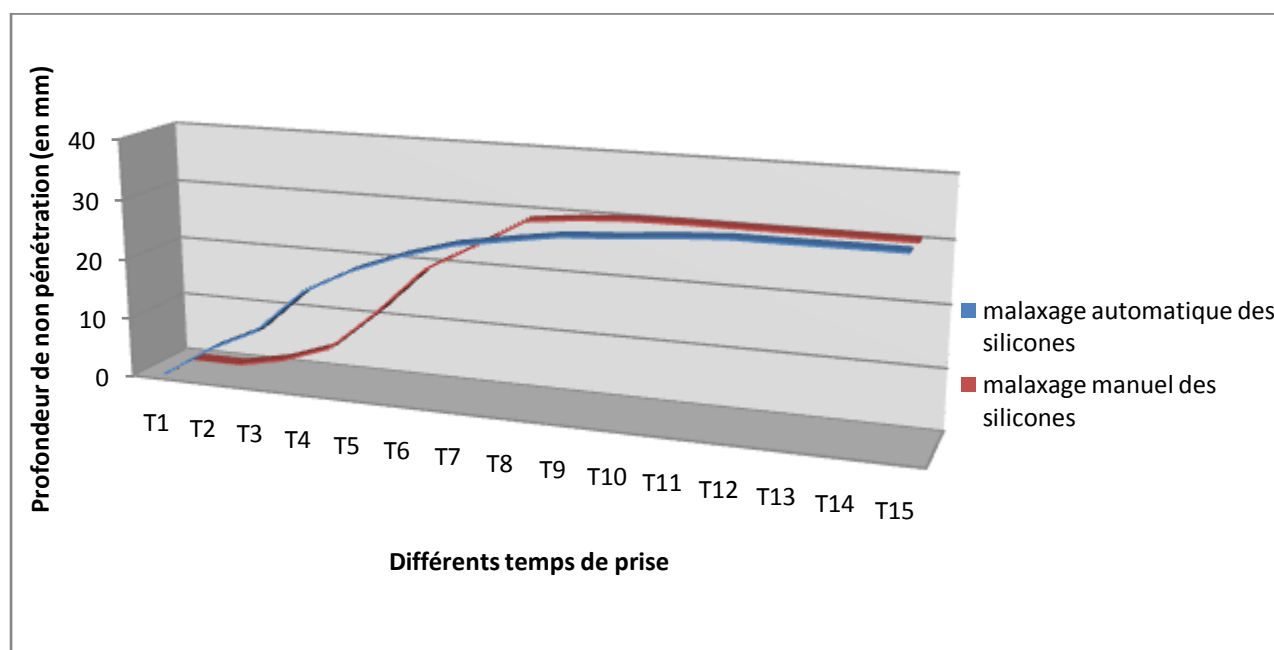


Figure 26 : Courbe de prise moyenne d'un silicone malaxé avec le GMIX® et malaxé manuellement. G.N.

Pour les silicones malaxés manuellement la prise, ou plus précisément le durcissement, commence entre T2 et T3 soit entre une minute trente secondes à une minute quarante cinq secondes après le début du malaxage. Elle est progressive et ne varie plus trois minutes et quarante cinq secondes après le début du malaxage (T11). La valeur de non pénétration étant alors stable comme expliqué précédemment (voir tableau 6 en annexe).

Les silicones malaxés avec le GMIX® ont une prise qui débute, entre T1 et T2, un peu plus d'une minute après le début du malaxage. La prise est plus progressive et ne varie plus seulement après cinq minutes (T14). Cependant les valeurs moyennes de non-pénétration changent peu après trois minutes trente secondes (T10).

On en déduit donc que le malaxage par le GMIX® raccourcit le délai avant le début de la prise (environ 45 secondes plus tôt) par rapport au malaxage manuel.

4-4-2-2 Alginate

De la même façon que pour les silicones, on réalise des courbes moyennes des valeurs de non-pénétration aux différents temps pour les malaxages automatiques et manuels des alginate :

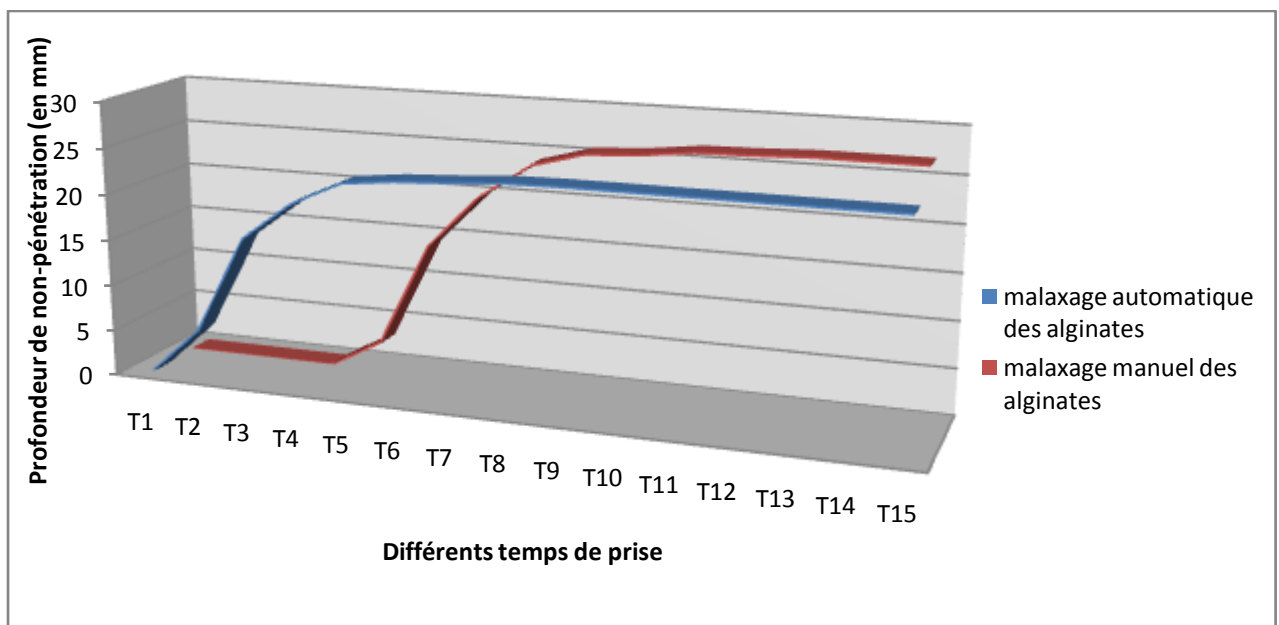


Figure 27 : Courbe de prise moyenne d'un alginate malaxé avec le GMIX® et malaxé manuellement. G.N.

Les alginates ont, comme nous l'avons vu dans la deuxième partie, un temps de prise plus court que les silicones. Les mesures prises après trois minutes quarante cinq secondes étaient quasiment toujours identiques attestant de la prise complète du matériau quelque soit la technique de malaxage. D'autre part, les alginates sont moins rigides et plus déformables après leur prise que les silicones. Il en résulte un enfoncement résiduel du pointeau de quelques millimètres après la prise complète. Celle-ci est donc déterminée lorsque la valeur de non-pénétration est stable d'une mesure sur l'autre, et de l'ordre de 25mm (voir tableau 2 en annexe).

D'après les données statistiques recueillies, la prise des alginates spatulés à la main débute deux minutes à deux minutes quinze secondes (T4-T5) après la mise en contact de la poudre et de l'eau et est terminée à T13, quatre minutes trente secondes après le début de la spatulation.

Les alginates malaxés avec le GMIX® ont une prise qui débute une minute à une minute trente secondes après le début du malaxage (T1-T2) et qui finit deux minutes plus tard (T9).

Les alginates malaxés avec le GMIX® ont donc une prise qui commence une minute plus tôt (T1 pour le GMIX®, T4 pour le malaxage manuel) et qui finit une minute quinze plus tôt (T9 pour le GMIX®, T13 pour le malaxage manuel).

Le GMIX® réduit donc la prise de l'alginate en raccourcissant le délai avant le début de sa solidification.

4-4-3 Analyse statistique

4-4-3-1 Données descriptives (voir tableaux en annexe)

L'ensemble des données recueillies au cours de cette expérimentation sur les malaxages manuels et automatiques des alginates et des silicones a été analysé statistiquement et consigné dans les tableaux en annexe.

Ceux-ci regroupent les données nécessaires à l'évaluation de la crédibilité des mesures enregistrées et des conclusions réalisées.

4-4-3-2 Synthèse

L'analyse des statistiques descriptives recueillies nous renseigne sur l'intérêt et la représentativité des résultats obtenus au cours de cette étude.

La représentativité des résultats obtenus avec les silicones mélangés manuellement et automatiquement est globalement bonne. La moyenne des mesures prises aux différents temps se situe dans l'intervalle de confiance avec un écart entre borne supérieure et borne inférieure peu important (intervalle de confiance peu étendu). L'écart-type (ou déviation standard) est faible, particulièrement à partir des temps 6-7.

Des conclusions similaires sont faites pour les alginates malaxés manuellement et automatiquement.

La comparaison des deux techniques de malaxage des silicones et des alginates a été effectuée par un test de Student du fait de l'échantillonnage réduit (courbes obtenues en annexe).

Concernant les alginates, la différence entre les deux techniques de malaxage n'est statistiquement significative que pour les temps 5, 6 et 7. Des temps 1 à 4 les données sont insuffisantes, de T8 à T15 la différence n'est pas statistiquement significative.

Entre deux minutes quinze et deux minutes quarante-cinq secondes le malaxage des alginates par le GMIX® est donc statistiquement supérieur au malaxage manuel.

Pour les silicones, la différence entre les deux techniques n'est significative que pour les temps 3, 4 et 5. Les données sont insuffisantes à T1 et T2 et non significatives entre T6 et T15.

Le malaxage des silicones par le GMIX® est donc statistiquement amélioré par rapport au malaxage manuel entre une minute quarante-cinq et deux minutes quinze secondes.

4-5 Coupes transversales

4-5-1 Protocole

Pour contrôler l'homogénéité du mélange, l'état de surface et la présence éventuelle de vides on réalise des coupes transversales des blocs préalablement réalisés à seize millimètres de leur surface (approximativement au milieu de chaque bloc). Pour les silicones, comme pour les alginates, on compare à l'œil nu les photos des deux héli-blocs obtenus.

4-5-2 Résultats

4-5-2-1 Silicone par addition



Figure 28 : Coupe transversale d'un bloc de silicone malaxé par le GMIX®. G.N.

Les coupes obtenues ont un aspect très homogène sans aucunes variations majeures de coloration du bloc qui attesteraient du contraire. On observe seulement des stries plus claires sur certains blocs. L'état de surface est constant et sans irrégularités. L'absence de vides est notée sur la totalité des échantillons malaxés avec la technique du GMIX®. Les « trous » observés sur la figure 28 sont dus au pointeau de mesure.



Figure 29 : Coupe transversale d'un bloc de silicone malaxé manuellement. G.N.

Les coupes des silicones malaxés manuellement présentent un aspect assez homogène. L'état de surface est lisse et comparable au malaxage automatique. Les variations de couleurs sont, cependant, plus nombreuses sur chaque bloc et présentes sur tous les échantillons. On remarque quelques vides sur certains blocs liés au malaxage. Enfin, les marques de pointeau sont plus nombreuses qu'avec le malaxage mécanique du fait du temps de prise.

4-5-2-2 Alginate

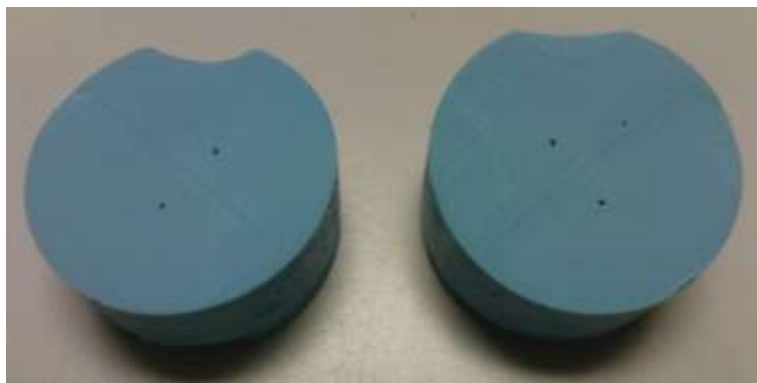


Figure 30 : Coupe transversale d'un bloc d'alginate malaxé par le GMIX®. G.N

Les blocs d'alginate obtenus avec le malaxage par le GMIX® ont un aspect très homogène, équivalent à celui des silicones. Le matériau est très dense, sans aucun vide et extrêmement lisse.



Figure 31 : Coupe transversale d'un bloc d'alginate malaxé manuellement. G.N.

Les coupes des blocs d'alginate malaxés manuellement révèlent la présence d'un très grand nombre de vides de taille variable. Les bulles contenues dans les blocs rendent ceux-ci moins compacts, plus clairsemés. Enfin, l'état de surface est très irrégulier.

4-6 Discussion

On constate que le malaxage par le GMIX® améliore sensiblement le temps de prise aussi bien pour les silicones que pour les alginates. La prise commence donc plus tôt, quarante-cinq secondes avant pour les silicones et de l'ordre d'une minute pour les alginates, avec un malaxage automatique qu'avec un malaxage manuel. Pour les silicones, elle est plus progressive que lors d'un malaxage manuel. D'autre part, la prise complète des alginates est raccourcie d'une minute. Pour l'opérateur ce gain de temps limite le stress des séances prothétiques et représente un confort non négligeable tout au long de la journée. Pour le patient, le confort est indiscutable, le temps en bouche étant réduit.

Cette étude ayant été conduite avec un nombre relativement restreint d'échantillons, on remarquera qu'elle permet surtout une estimation du gain de temps de prise des silicones et des alginates avec le GMIX®.

Celui-ci est également raccourci par le temps de malaxage réduit à six secondes pour les silicones et cinq secondes pour les alginates.

Elle ne permet pas une comparaison statistique significative des techniques manuelles et automatiques (par le GMIX®) tout au long de la prise.

Des études complémentaires seraient donc nécessaires pour conforter les conclusions de cette étude et améliorer leur représentativité.

La qualité du malaxage mécanique par le GMIX® est confirmée par les coupes réalisées sur les échantillons de silicone et d'alginate. Pour les deux types de matériaux l'absence de bulles et d'irrégularités de surface est évidente. La qualité des empreintes réalisées après malaxage par cette technique s'en trouve améliorée quelque soit l'expérience de l'opérateur.

Il est toutefois important de noter que ces constatations ont été effectuées par un seul opérateur et ne sont pas totalement objectives. Elles nécessiteraient la confrontation de deux opérateurs indépendants pour être significatives. D'autre part, le méthode de comparaison employée (observation à l'œil nu) peut être discutable. Il pourrait être plus intéressant d'étudier les échantillons obtenus au microscope optique à un grossissement plus important pour attester des qualités et des défauts observés sur les blocs sectionnés. Enfin, ces constatations visuelles ne garantissent pas nécessairement aux matériaux malaxés des propriétés mécaniques améliorées.

4-7 Conclusion

Cette étude, malgré les limites évoquées dans le paragraphe précédent, a donc répondu à nos interrogations initiales.

Ses résultats tendent à prouver que le temps de prise est diminué lorsque le malaxage est effectué par le GMIX®, aussi bien pour les silicones par addition que pour les alginate.

D'autre part, la qualité des échantillons obtenus avec cet appareil est excellente. L'état de surface des alginate malaxés par le GMIX® est remarquable et encore jamais observé, même avec les autres malaxeurs mécaniques en vente actuellement.

Le mélange obtenu avec ce dispositif est toujours homogène, sans surprises, reproductible d'une fois sur l'autre aussi bien pour les silicones par addition que pour les alginate.

5-CONCLUSION

5- CONCLUSION

Les matériaux à empreinte sont utilisés au quotidien dans tous les cabinets omni-pratiques. Ils se comportent conformément à leur propriétés intrinsèques et selon des principes physiques immuables. Les recherches des fabricants dans les cinquante dernières années ont conduit à deux voies d'évolution. La première consiste en une amélioration constante du comportement intra-buccal des matériaux à empreinte, à l'exemple des silicones par addition qui tendent à devenir hydrophiles, par des modifications chimiques minimales dans leur composition. La seconde touche à la mise en œuvre des matériaux, rendues toujours plus simple par les systèmes de malaxage. Ces derniers ont évolué vers un plus grand perfectionnement technique, permettant une distribution plus rapide des matériaux, au prix d'une augmentation significative des coûts.

A ce jour, seul le GMIX® réunit, en un seul dispositif, la totalité des malaxeurs pour matériaux à empreinte disponibles. Il garantit des malaxages de qualité, en un temps réduit, sans dépenses excessives.

A-t-on trouvé le dispositif le plus abouti dans la manipulation et l'utilisation quotidienne des matériaux à empreinte ?

Il est probable que non. L'utilisation d'une « machine » pour remplacer les gestes du praticien avant la prise d'empreinte est encore sujet à controverse. Nombre de praticiens restent attachés aux techniques traditionnelles de prise d'empreintes et ne voient pas le bénéfice de tels dispositifs. Il est vrai qu'un investissement de ce type doit avant tout répondre aux attentes des praticiens et améliorer sensiblement leur exercice au quotidien.

Une dernière évolution se profile, la prise d'empreinte optique en bouche. Elle a été mise au point à partir du concept de CFAO (Conception et Fabrication Assistée par Ordinateur) et développée avec l'essor de l'informatique et des logiciels de traitement des données. Son but est la recherche de la plus grande précision dans l'enregistrement des données intra-buccales avec un maximum d'ergonomie. Cependant, l'utilisation de la CFAO en bouche est encore imparfaite. Il s'agit surtout de la prise d'empreinte optique de modèles issus d'empreintes

intra-buccales classiques. De plus, elle requière un équipement sophistiqué et compatible avec celui du prothésiste. La CFAO reste malgré tout un grand espoir en prothèse, et la constante amélioration des outils informatiques laisse entrevoir un futur où la prise d'empreinte se réduirait au passage d'une caméra dans la cavité buccale, sans matériaux à empreinte, sans malaxeurs et sans désagréments pour le patient et le praticien.

6-ANNEXE

6- ANNEXE

<i>SILICONE PAR ADDITION</i>	Malaxage manuel (échantillon n°2)	Malaxage automatique (échantillon n°10)
Temps (en minutes)	Mesure de la profondeur de non-pénétration (en millimètres)	
1	Pénétration totale (PT)	PT=0
1,5	PT	4
1,75	PT	15
2	8	21
2,25	9	25
2,5	13	28
2,75	21	29
3	25	30
3,25	27	31
3,5	29	31
3,75	32	31
4	32	31
4,5	32	31
5	32	31
5,5	32	31

Tableau 1 : Mesures du temps de prise d'un silicone par addition. G.N.

ALGINATE	Malaxage manuel (échantillon n°7)	Malaxage automatique (échantillon n°4)
Temps (en minutes)	Mesure de la profondeur de non-pénétration (en millimètres)	
1	PT	PT
1,5	PT	4
1,75	PT	18
2	PT	22
2,25	2	23
2,5	18	24
2,75	22	24
3	25	24
3,25	25	24
3,5	25	24
3,75	26	24
4	26	24
4,5	26	24
5	26	24
5,5	26	24

Tableau 2 : Mesures du temps de prise d'un alginat. G.N.

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
Nombre d'échantillons (N)	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Minimum (Min)	0	0	5	16	20	21	21	21	21
Maximum (Max)	0	15	21	23	24	25	26	26	26
Moyenne (Moy)	0	5,1	15,8	20	22,6	23,2	23,5	23,9	24
Intervalle de confiance à 95 %	[0 ; 0]	[1,983 ; 8,217]	[12,658 ; 18,942]	[19,011 ; 22,189]	[21,695 ; 23,505]	[22,321 ; 24,079]	[22,920 ; 24,580]	[22,920 ; 24,880]	[22,988 ; 25,012]
Écart-type	0,000	4,358	4,392	2,221	1,265	1,229	1,509	1,370	1,414
	T10	T11	T12	T13	T14	T15			
Nombre d'échantillons (N)	10	10	10	10	10	10			
Minimum (Min)	21	21	21	21	21	21			
Maximum (Max)	26	26	26	26	26	26			
Moyenne (Moy)	24	24	24	24	24	24			
Intervalle de confiance à 95 %	[22,988 ; 25,012]	[22,988 ; 25,012]	[22,988 ; 25,012]	[22,988 ; 25,012]	[22,988 ; 25,012]	[22,988 ; 25,012]			
Écart-type	1,414	1,414	1,414	1,414	1,414	1,414			

Tableau 3 : Données statistiques descriptives des résultats obtenus pour le malaxage automatique des alginates aux différents temps. G.N.

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
Nombre d'échantillons (N)	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Minimum (Min)	0	0	0	0	0	0	9	18	20
Maximum (Max)	0	0	0	0	9	22	26	27	29
Moyenne (Moy)	0	0	0	0	3,111	14,444	20,222	24	25,556
Intervalle de confiance à 95 %	[0 ; 0]	[0 ; 0]	[0 ; 0]	[0 ; 0]	[0,198 ; 6,024]	[8,514 ; 20,375]	[15,810 ; 24,634]	[21,202 ; 26,798]	[23,592 ; 27,519]
Écart-type	0,000	0,000	0,000	0,000	3,790	7,715	5,740	3,640	2,555
	T10	T11	T12	T13	T14	T15			
Nombre d'échantillons (N)	9	9	9	9	9	9			
Minimum (Min)	21	22	22	22	22	22			
Maximum (Max)	29	29	29	31	31	31			
Moyenne (Moy)	25,889	26,556	26,667	26,889	26,889	26,889			
Intervalle de confiance à 95 %	[24,194 ; 27,584]	[25,062 ; 28,050]	[25,129 ; 28,204]	[25,068 ; 28,710]	[25,068 ; 28,710]	[25,068 ; 28,710]			
Écart-type	2,205	1,944	2,000	2,369	2,369	2,369			

Tableau 4 : Données statistiques descriptives des résultats obtenus pour le malaxage manuel des alginates aux différents temps. G.N.

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
Nombre d'échantillons (N)	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Minimum (Min)	0	0	0	0	3	11	15	17	21
Maximum (Max)	0	22	28	30	32	34	34	34	34
Moyenne (Moy)	0	5,167	9,083	16,500	20,750	23,917	26,333	27,750	29,083
Intervalle de confiance à 95 %	[0 ; 0]	[0,042 ; 10,292]	[2,489 ; 15,678]	[10,109 ; 22,891]	[14,536 ; 26,964]	[18,992 ; 28,842]	[22,312 ; 30,355]	[24,196 ; 31,304]	[26,262 ; 31,905]
Écart-type	0,000	8,066	10,379	10,059	9,781	7,751	6,329	5,594	4,441
	T10	T11	T12	T13	T14	T15			
Nombre d'échantillons (N)	12	12	12	12	12	12			
Minimum (Min)	22	26	28	28	29	29			
Maximum (Max)	34	34	34	34	34	34			
Moyenne (Moy)	29,583	30,333	30,833	30,833	30,917	30,917			
Intervalle de confiance à 95 %	[27,199 ; 31,968]	[28,678 ; 31,989]	[29,597 ; 32,070]	[29,597 ; 32,070]	[29,753 ; 32,081]	[29,753 ; 32,081]			
Écart-type	3,753	2,605	1,946	1,946	1,832	1,832			

Tableau 5 : Données statistiques descriptives des résultats obtenus pour le malaxage automatique des silicones aux différents temps. G.N.

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
Nombre d'échantillons (N)	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Minimum (Min)	0	0	0	0	0	10	15	25	27
Maximum (Max)	0	0	8	16	23	26	29	32	32
Moyenne (Moy)	0	0	1,700	4,600	11,600	19,600	24,200	29,000	29,900
Intervalle de confiance à 95 %	[0 ; 0]	[0 ; 0]	[-0,434 ; 3,834]	[0,453 ; 8,747]	[6,439 ; 16,761]	[15,949 ; 23,251]	[21,206 ; 27,194]	[27,280 ; 30,720]	[28,710 ; 31,090]
Écart-type	0,000	0,000	2,983	5,797	7,214	5,103	4,185	2,404	1,663
	T10	T11	T12	T13	T14	T15			
Nombre d'échantillons (N)	10	10	10	10	10	10			
Minimum (Min)	29	29	29	29	29	29			
Maximum (Max)	32	32	32	32	32	32			
Moyenne (Moy)	30,400	30,500	30,500	30,500	30,500	30,500			
Intervalle de confiance à 95 %	[29,560 ; 31,240]	[29,592 ; 31,408]	[29,592 ; 31,408]	[29,592 ; 31,408]	[29,592 ; 31,408]	[29,592 ; 31,408]			
Écart-type	1,174	1,269	1,269	1,269	1,269	1,269			

Tableau 6 : Données statistiques descriptives des résultats obtenus pour le malaxage manuel des silicones aux différents temps. G.N.

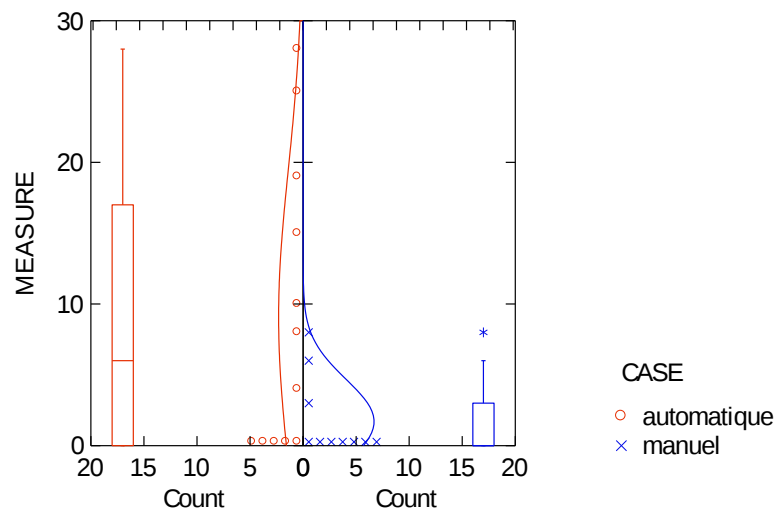
COMPARAISON des deux techniques de malaxage des SILICONES :

- Au temps 1 et 2 : test impossible (pas assez de valeurs)

- Au temps 3 :

Test t : $p = 0.035$

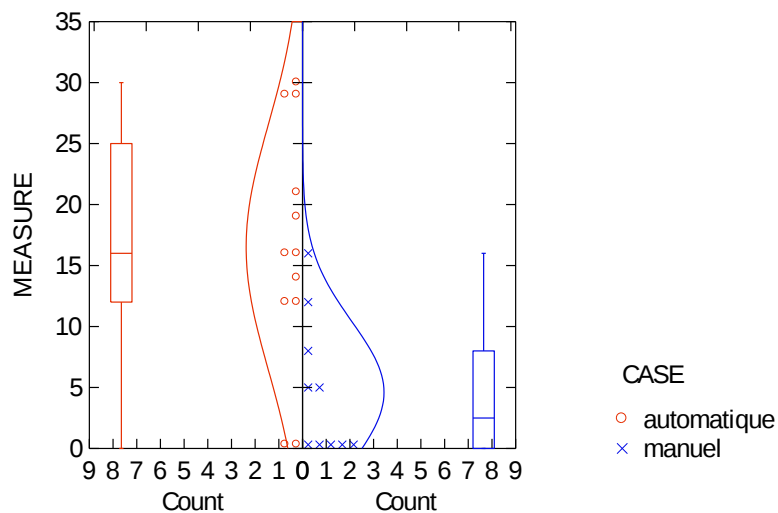
Différence significative entre les 2 techniques



- Au temps 4 :

Test t : $p = 0.003$

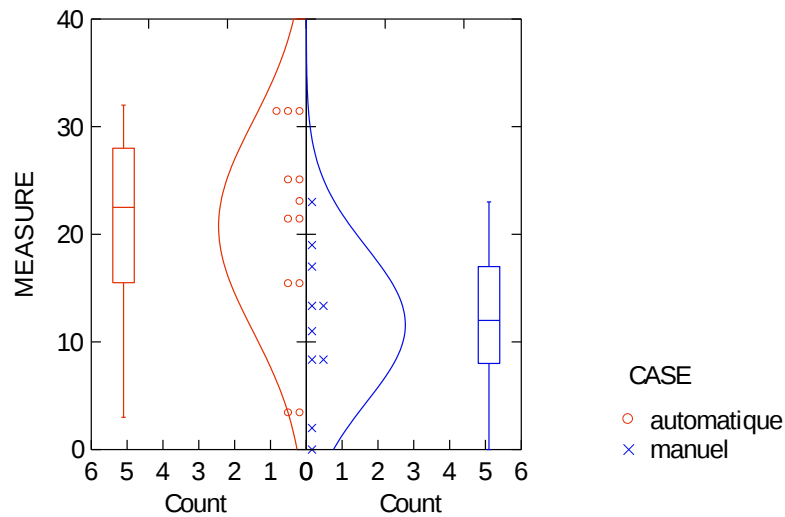
Différence significative entre les 2 techniques



- **Au temps 5 :**

Test t : $p = 0.02$

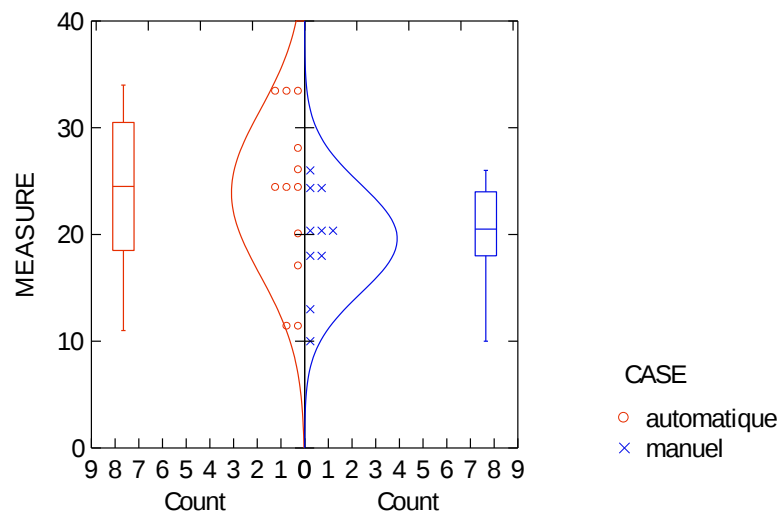
Différence significative entre les 2 techniques



- **Au temps 6 :**

Test t : $p = 0.134$

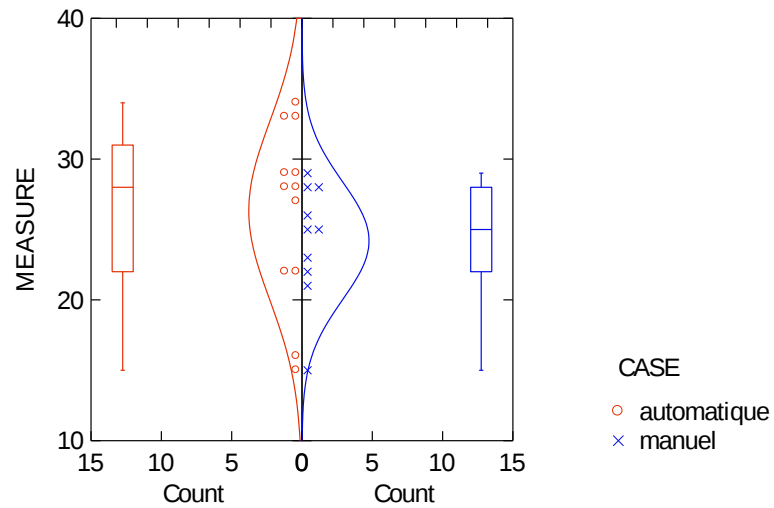
Différence **NON** significative entre les 2 techniques



- **Au temps 7 :**

Test t : $p = 0.356$

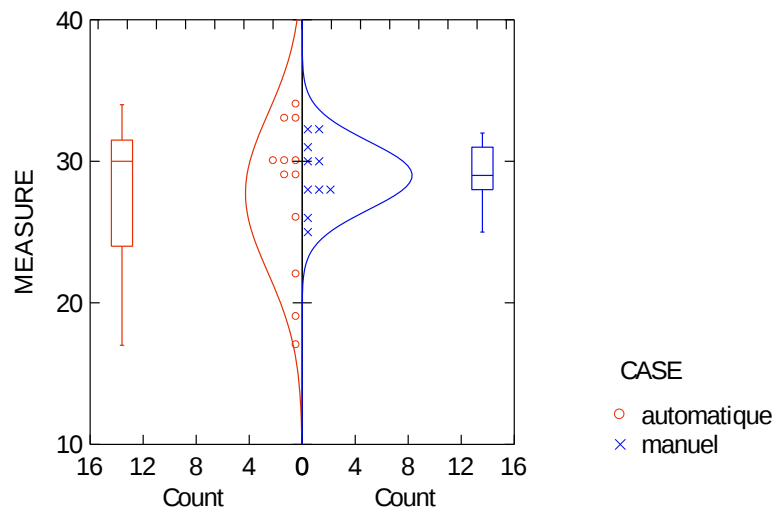
Différence **NON** significative entre les 2 techniques



- **Au temps 8 :**

Test t : $p = 0.494$

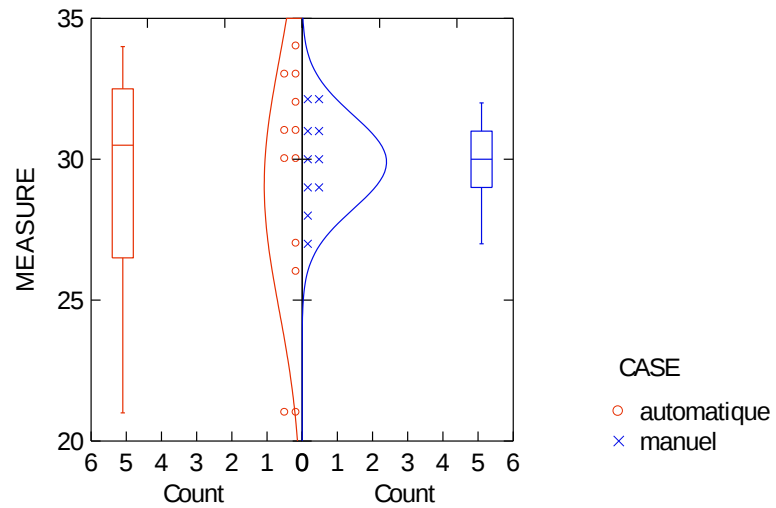
Différence **NON** significative entre les 2 techniques



- **Au temps 9 :**

Test t : $p = 0.565$

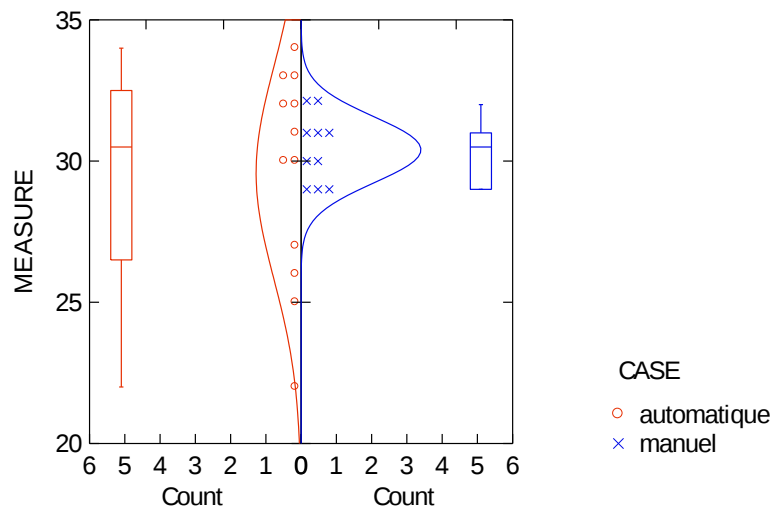
Différence **NON** significative entre les 2 techniques



- **Au temps 10 :**

Test t : $p = 0.488$

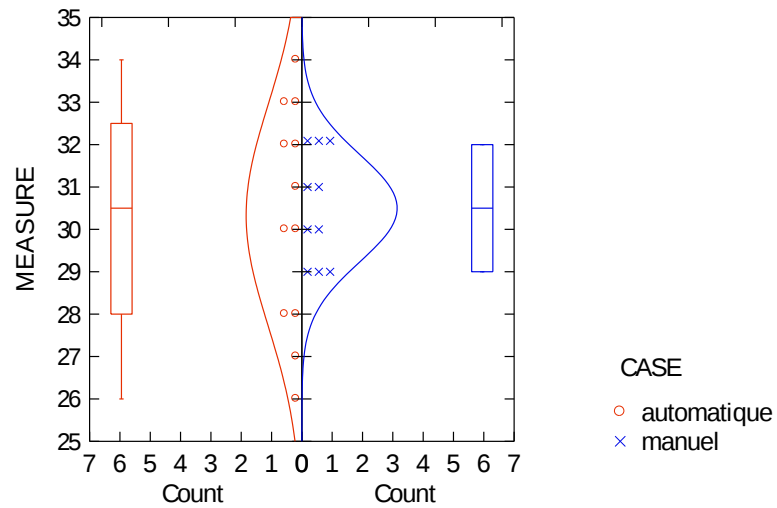
Différence **NON** significative entre les 2 techniques



- **Au temps 11 :**

Test t : $p = 0.847$

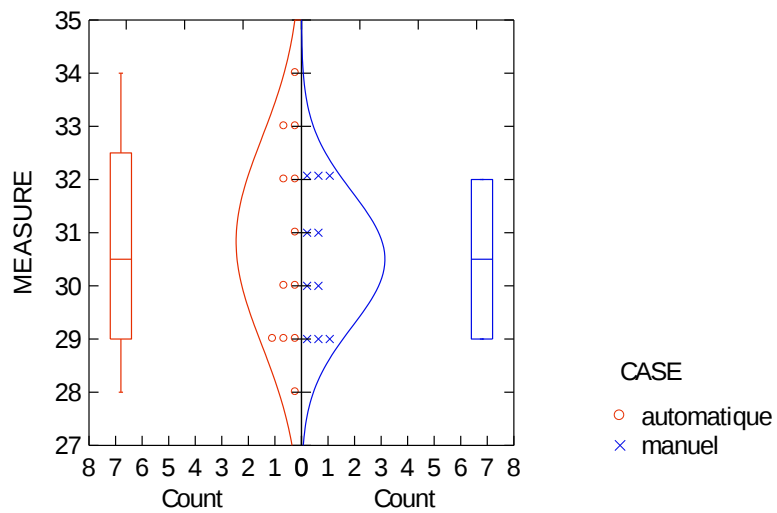
Différence **NON** significative entre les 2 techniques



- **Au temps 12 :**

Test t : $p = 0.635$

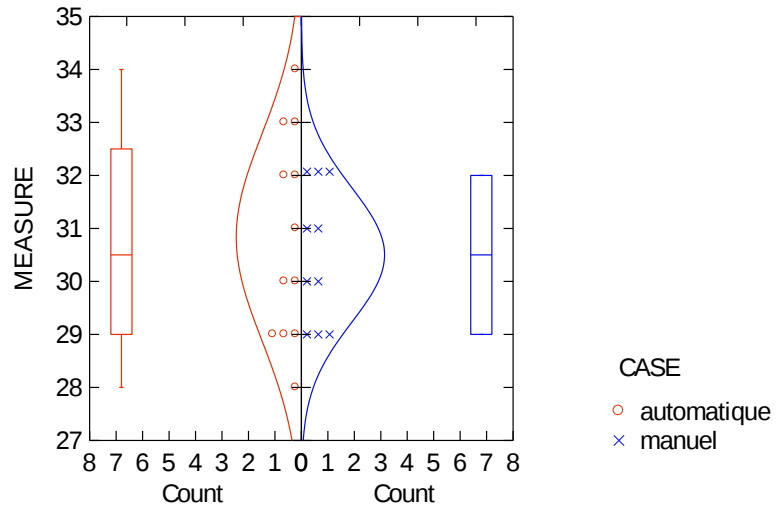
Différence **NON** significative entre les 2 techniques



- **Au temps 13 :**

Test t : $p = 0.635$

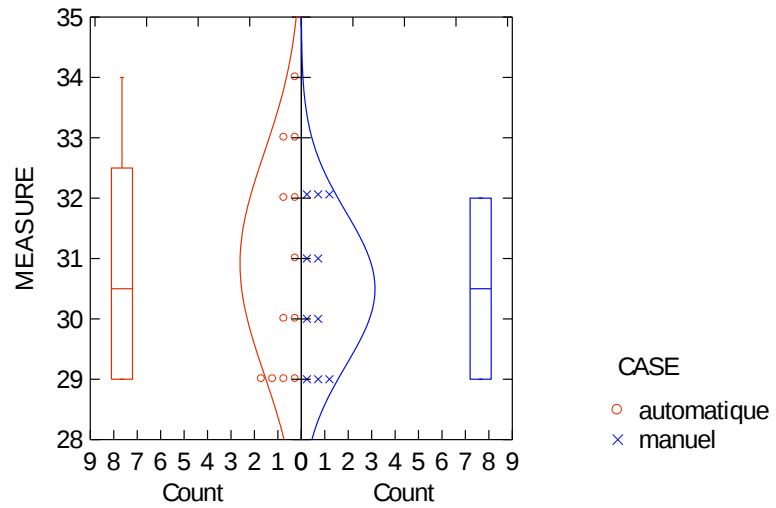
Différence **NON** significative entre les 2 techniques



- **Au temps 14 :**

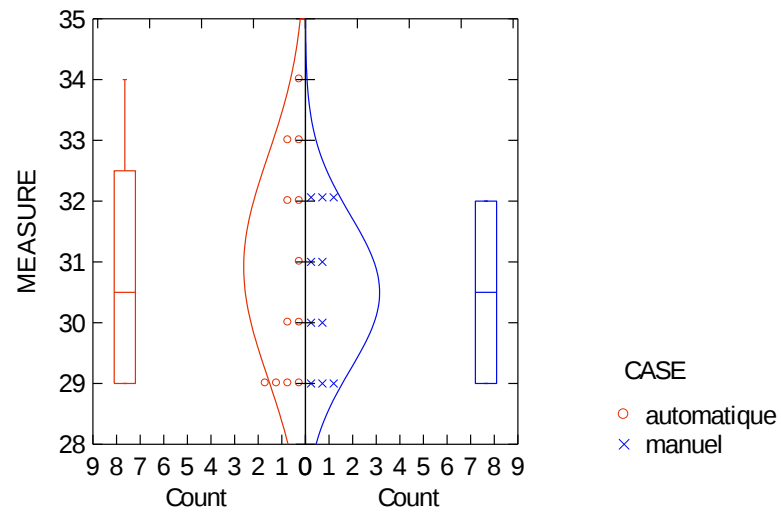
Test t : $p = 0.538$

Différence **NON** significative entre les 2 techniques



- **Au temps 15 :**
Test t : $p = 0.538$
Différence **NON** significative entre les 2 techniques

Test t : $p = 0.538$

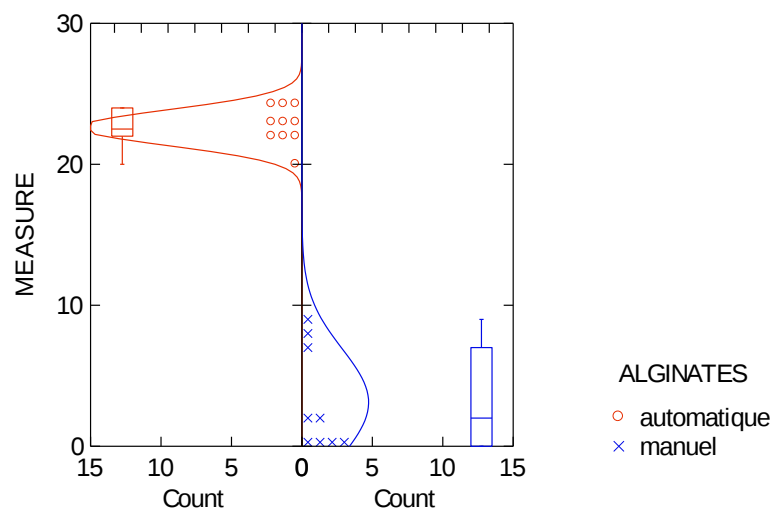
Différence **NON** significative entre les 2 techniques

COMPARAISON des deux techniques de malaxage des ALGINATES :

- Aux temps 1 à 4 : Données insuffisantes

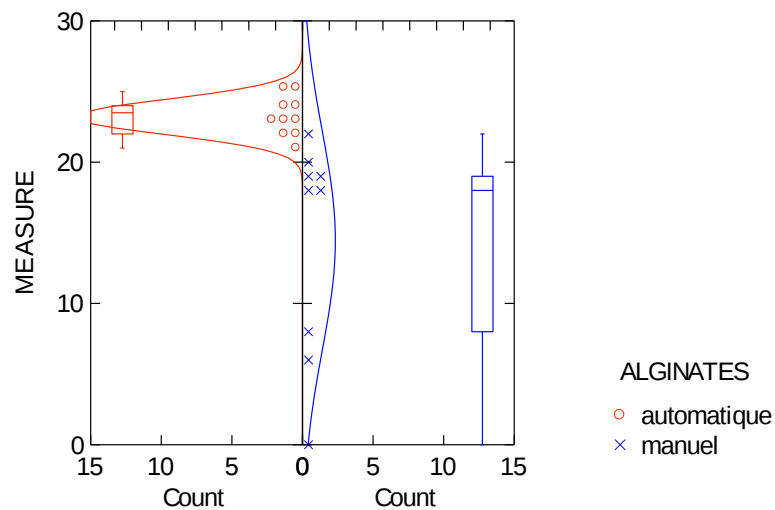
- Au temps 5 :

Différence significative entre les 2 techniques

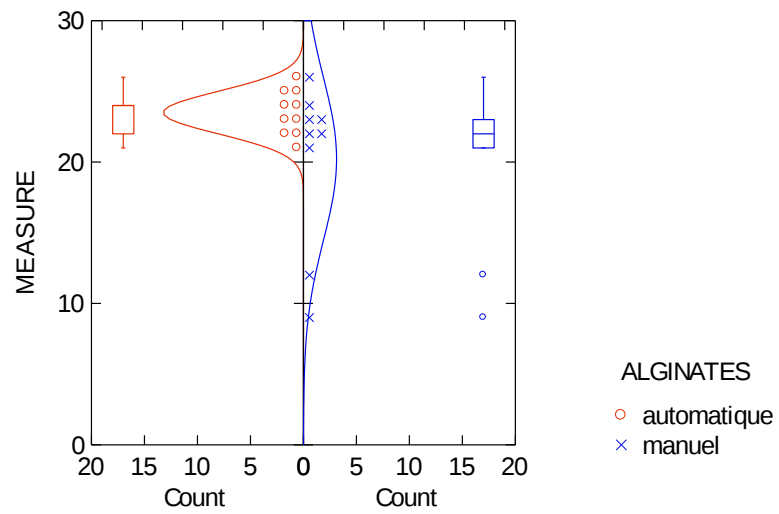


- Au temps 6 :

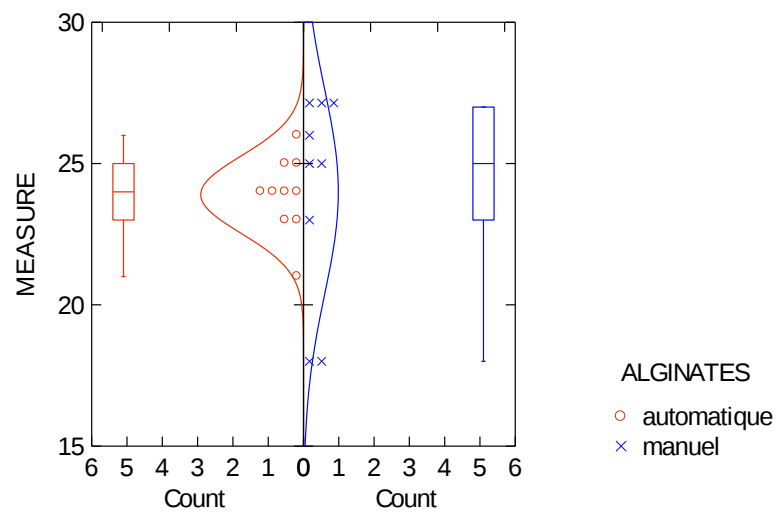
Différence significative entre les 2 techniques



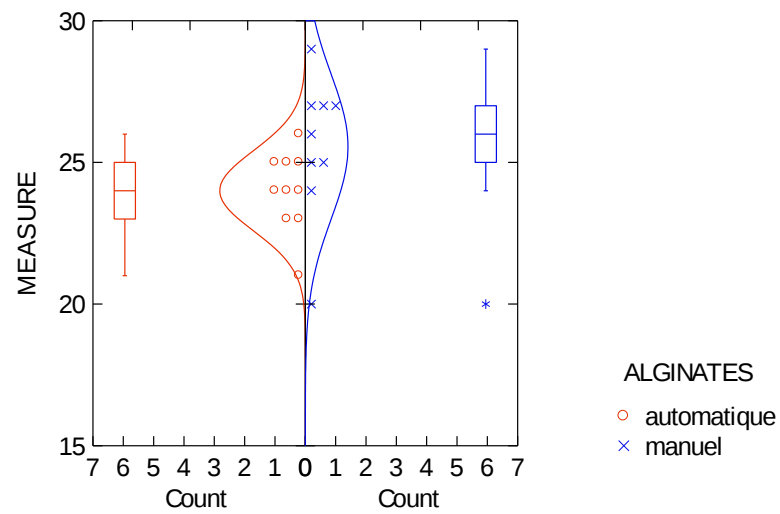
- **Au temps 7 :**
Différence significative entre les 2 techniques



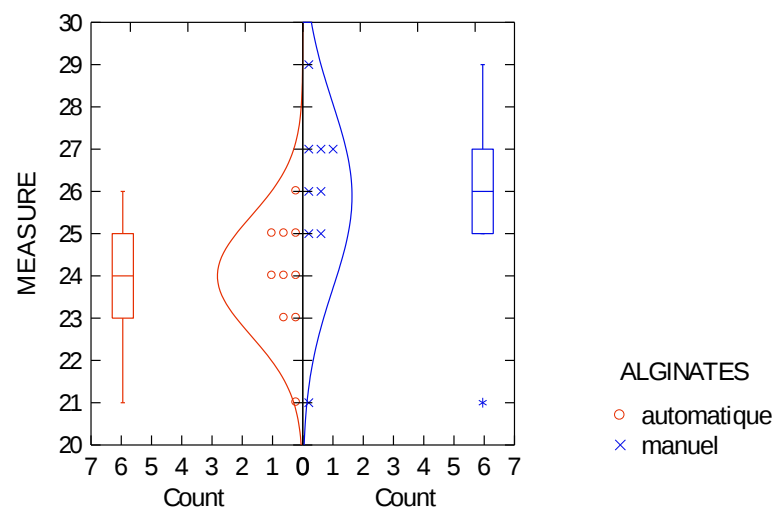
- **Au temps 8 :**
Différence **NON** significative entre les 2 techniques



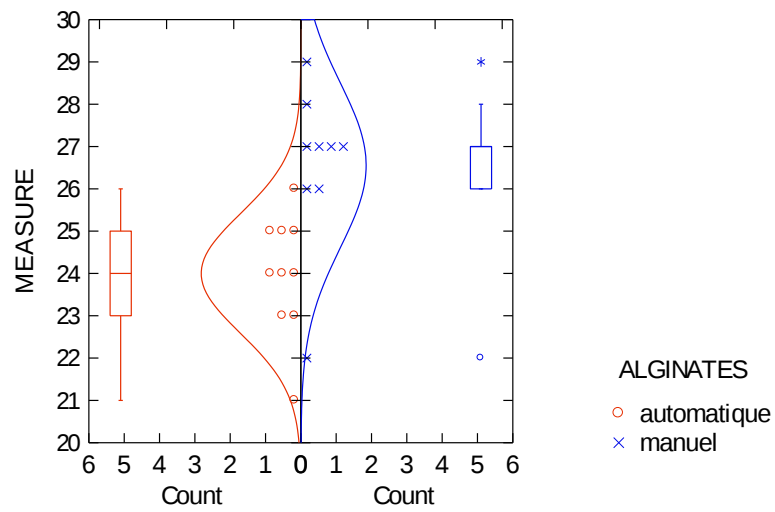
- **Au temps 9 :**
Différence **NON** significative entre les 2 techniques



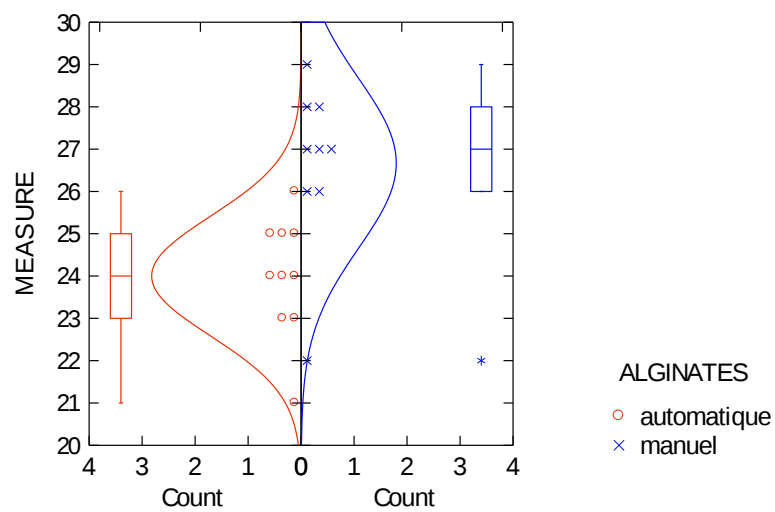
- **Au temps 10 :**
Différence **NON** significative entre les 2 techniques



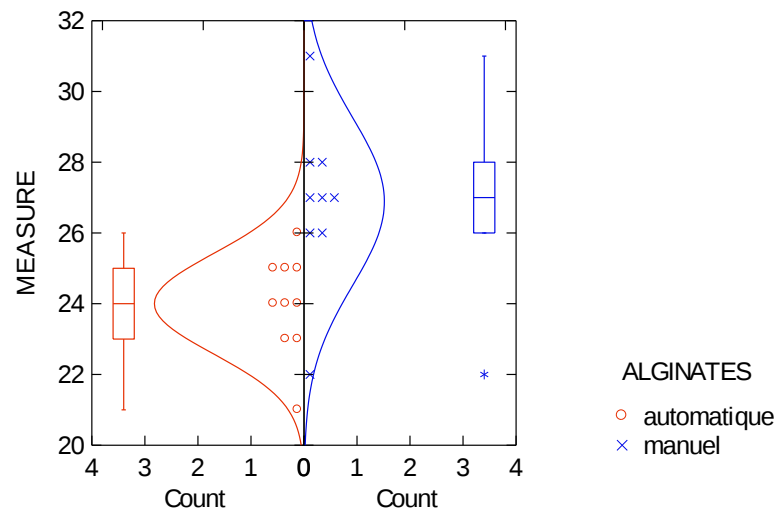
- **Au temps 11 :**
Différence **NON** significative entre les 2 techniques



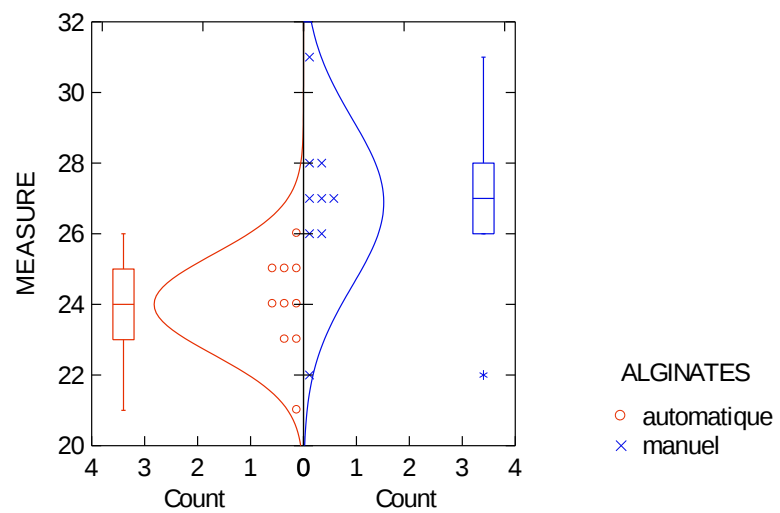
- **Au temps 12 :**
Différence **NON** significative entre les 2 techniques



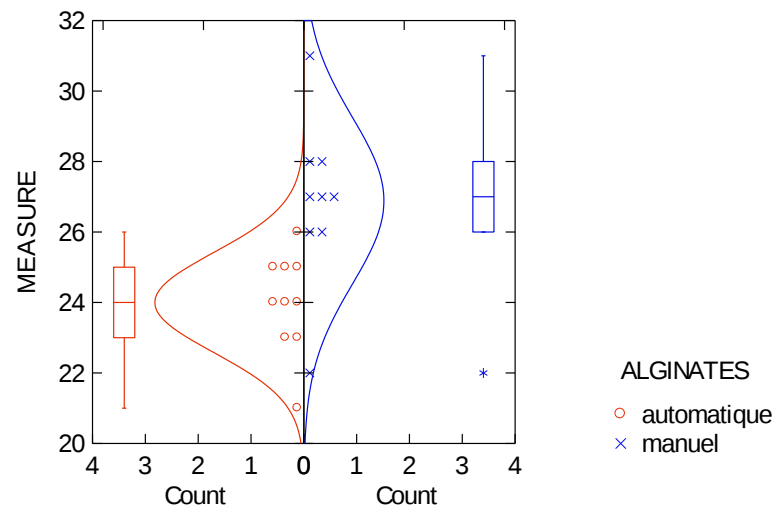
- **Au temps 13 :**
Différence **NON** significative entre les 2 techniques



- **Au temps 14 :**
Différence **NON** significative entre les 2 techniques



- **Au temps 15 :**
Différence **NON** significative entre les 2 techniques



7-TABLE DES
ILLUSTRATIONS

7- TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Comportement visco-élastique d'un matériau pendant et après contrainte. p.5

Figure 2 : L'angle de contact. p.8

Figure 3 : Le phénomène de tirage. p.12

Figure 4 : Les forces de trainage et de freinage. p.14

Figure 5 : Le phénomène d'hystérèse. p.21

Figure 6 : Avantages et inconvénients des hydrocolloïdes réversibles. p.23

Figure 7 : Empreinte maxillaire à l'alginat malaxé à la main et malaxé avec le GMIX®. p.25

Figure 8 : Avantages et inconvénients des hydrocolloïdes irréversibles. p.26

Figure 9 : Avantages et inconvénients des polysulfures. p.29

Figure 10 : Avantages et inconvénients des silicones. p.34

Figure 11 : Avantages et inconvénients des polyéthers. p.37

Figure 12 : Tableau de synthèse de l'utilisation des matériaux à empreinte. p.39

Figure 13 : Synthèse des indications et contre-indications des matériaux à empreinte. p.40

Figure 14 : Tableau comparatif des propriétés mécaniques des matériaux élastiques. p.41

Figure 15 : Le GMIX® et ses accessoires. p.47

Figure 16 : Mise en évidence des défauts d'une empreinte maxillaire avec spatulation manuelle de l'alginat (coupe longitudinale passant par le milieu inter-incisif). p.52

Figure 17 : Le malaxeur semi-automatique Alginator II®. p.53

Figure 18 : Le système de malaxage par vibrospatulation sous vide RMIX® et son godet mélangeur à pales. p.57

Figure 19 : Coupe longitudinale passant par le milieu inter-incisif d'une empreinte maxillaire prise avec un alginate malaxé au GMIX®. p.58

Figure 20 : Le système Duomix® avec une cartouche d'Honigum heavy. p.61

Figure 21 : Le système Mixstar® avec une cartouche d'Honigum heavy. p.62

Figure 22 : Un pistolet mélangeur et ses différents constituants. p.68

Figure 23 : Le dispositif de mesure utilisé au cours des expérimentations. p.73

Figure 24 : Les étapes du malaxage automatique d'un silicone par addition. p.76

Figure 25 : Aspect de l'alginate après malaxage manuel et malaxage automatique. p.77

Figure 26 : Courbe de prise moyenne d'un silicone malaxé avec le GMIX® et malaxé manuellement. p.78

Figure 27 : Courbe de prise moyenne d'un alginate malaxé avec le GMIX® et malaxé manuellement. p.79

Figure 28 : Coupe transversale d'un bloc de silicone malaxé par le GMIX®. p.82

Figure 29 : Coupe transversale d'un bloc de silicone malaxé manuellement. p.83

Figure 30 : Coupe transversale d'un bloc d'alginate malaxé par le GMIX®. p.83

Figure 31 : Coupe transversale d'un bloc d'alginate malaxé manuellement. p.84

8-RÉFÉRENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

8- RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. AL-JABRAH O, AL-SHUMAILAN Y et AL-RASHDAN M.

Antimicrobial effect of 4 disinfectants on alginate, polyether, and polyvinyl siloxane impression materials.

Int J Prosthodont 2007 May-Jun;**20**(3):299-307.

PMID : 17580464

2. APAP M.

Faut-il craquer pour le Pentamix ?

Indépendantaire 2002 Dec;(3):44-50.

3. APAP M.

Malaxeurs automatiques d'élastomères indispensables ou superflus?

Inf Dent 2007 Sep;**89**(32):1897-1902.

4. ASSOCIATION DENTAIRE FRANCAISE.

Hydrocolloïdes, élastomères, plâtre, pourquoi, quand et comment les utiliser ?

Commission des dispositifs médicaux. Dossiers ADF.

Paris : Association Dentaire Française, 2003.

5. AUROY P, THEPIN JC et MARTIN E.

Double mélange simultané : intérêt d'un nouvel élastomère de silicone. Comparaison avec les hydrocolloïdes.

Clinic 2003;**24**(10):637-645.

6. BARR M.

A technique that saves impression material.

J Am Dent Assoc 1999;**130**(8):1202.

7. BLATZ MB, SADAN A et BURGESS JO.

Selected characteristics of a new polyvinyl siloxane impression material, a randomized clinical trial.

Quintessence Int 2005 Feb;**36**(2):97-104.

PMID : 15732545

8. BOGHOSIAN AA et LAUTENSCHLAGER E.

Tear strength of low viscosity vinyl polysiloxane elastomeric impression materials.

AADR, avril 2008.

<http://iadr.confex.com/iadr/20008Dallas/techprogram/>

9. BRADNA P et CERNA D.

Impact of water quality on setting of irreversible hydrocolloid impression materials.

J Prosthet Dent 2006 Dec;**96**(6):443-448.

PMID : 17174662

10. BUISSON H, THERY L et VINCENT M.

Quels sont les avantages des empreintes aux hydrocolloïdes ?

Stratégie Prothétique 2004 Nov;**4**(5):381-386.

11. BURDAIRON G.

Abrégé de biomatériaux dentaires. 2e ed.

Paris : Masson,1990.

12. BURKE FJ et CRISP RJ.

A practice-based assessment of the handling of a fast-setting polyvinyl siloxane impression materials used with the dual-arch tray technique.

Quintessence Int 2001 Nov-Dec;**32**(10):805-810.

PMID : 11820050

13. CAZALOT V, FEUILLET D, RENARD E et HOORNAERT A.

Les empreintes en prothèse sur implant. Intérêt des polyéthers.

Cah Prothèse 2007 Mars;**137**:39-46.

14. CHAVALLI R et BURGESS J.

Contact angle measurement of addition type polyvinylsiloxane impression materials.

AADR 2008, avril.

<http://iadr.confex.com/iadr/20008Dallas/techprogram/>

15. CHEN SY, LIANG WM et CHEN FN.

Factors affecting the accuracy of elastomeric impression materials.

J Dent 2004 Nov;**32**(8):603-609.

PMID : 15476954

16. CHONG YH, SOH G

Effectiveness of intraoral delivery tips in reducing voids in elastomeric impressions.

Quintessence Int 1991 Nov;**22**(11):897-900.

PMID : 1812513

17. CHONG YH, SOH G et WICKENS JL.

The effect of mixing method on void formation in elastomeric impression materials.

Int J Prosthodont 1989 Jul-Aug;**2**(4):323-326.

PMID : 2638845

18. CRAIG RG.

Evaluation of an automatic mixing system for an addition silicone impression material.

J Am Dent Assoc 1985 Feb;**110**(2):213-215.

19. CRAIG RG et POWERS JM.

Restorative dental materials. 11^{ème} éd.

S^t Louis : Elsevier, 2003.

20. CRAIG RG et SUN Z.

Trends in elastomeric impression materials.

Oper Dent 1994 Jul-Aug;**19**(4):138-145.

PMID : 9028233

21. CRAIG RG, URQUIOLA NJ et LIU CC.

Comparison of commercial elastomeric materials.

Oper Dent 1990 May-Jun;**15**(3):94-104.

PMID : 2133933

22. DI FELICE R, SCOTTI R et BELSER UC.

The influence of the mixing technique on the content of voids in two polyether impression materials.

Schweiz Monatsschr Zahnmed 2002;**112**(1):12-16.

PMID : 11892614

23. DONOVAN TE et CHEE WW.

A review of contemporary impression materials and techniques.

Dent Clin North Am 2004 Apr;**48**(2):445-470.

PMID : 15172610

24. ENDO T et FINGER WJ.

Dimensional accuracy of a new polyether impression material.

Quintessence Int 2006 Jan;**37**(1):47-51.

PMID : 16429703

25. ESTAFANOUS EW, PLATT JA et PALENIK C.

Disinfection effect on tear strength of hydrophilic PVS impression materials.

AADR 2008, avril.

<http://iadr.confex.com/iadr/20008Dallas/techprogram/>

26. FARAH JW et POWERS JM.

Matériaux d'empreinte élastomères.

Dent Advisor 2003 Dec;**20**(10):86-88.

27. FREDERICK DR et CAPUTO A.

Comparing the accuracy of reversible hydrocolloid and elastomeric impression materials.

J Am Dent Assoc 1997 Feb;**128**(2):183-188.

28. FREY G, LU H et POWERS J.

Effect of mixing methods on mechanical properties of alginate impression materials.

J Prosthodont 2005 Dec;**14**(4):221-225.

PMID : 16359477

29. GATEAU P et BLANCHET P.

Ergonomie et technique d'empreinte en prothèse fixée.

Cah Prothèse 1998;**101**:45-52.

30. GERDOLLE D, MORTIER E et MOREL P.

Optimisation des empreintes en prothèse fixée. Apports des nouveaux matériaux vinylpolysiloxanes.

Clin Rev Omniprat 2003 Dec;**24**(10):655-665.

31. GIORDANO R.

Issues in handling impression materials.

Gen Dent 2000 Nov-Dec;**48**(6):646-648.

PMID : 12004656

32. HABIB AN et SHEHATA MT.

The effect of the type and technique used for impression making on the accuracy of elastomeric impression materials.

Egypt Dent J 1995 Oct;**41**(4):1409-1416.

PMID : 9497690

33. HONDRUM SO.

Changes in properties of nonaqueous elastomeric impression materials after storage of components.

J Prosthet Dent 2001 Jan;**85**(1):73-81.

PMID : 11174682

34. INOUE K, SONG YX, KAMIUNTEN O et coll.

Effect of mixing method on rheological properties of alginate impression materials.

J Oral Rehabil 2002 Jul;**29**(7):615-619.

PMID : 12153449

35. JAGGER DC, AL JABRA O, HARRISON A et coll.

The effect of a range of disinfectants on the dimensional accuracy of some impression materials.

Eur J Prosthodont Rest Dent 2004 Dec;**12**(4):154-160.

PMID : 15691188

36. KECK SC.

Automixing : a new concept in elastomeric impression material delivery systems.

J Prosthet Dent 1985 Oct;**54**(4):479-483.

PMID : 3900344

37. KILINC E, CAL E, SONUGELLEN M et coll.

Mechanical properties of device- vs. Hand- mixed irreversible hydrocolloids.

http://www.cavex.nl/packshot/main_researchc.html

38. KLETTKE T.

Extrusion speed and performance of automated mixing units.

AADR 2008, avril.

<http://iadr.confex.com/iadr/20008Dallas/techprogram/>

39. KUGEL G, SWIFT EJ Jr, SORENSEN JA et coll.

A prospective clinical evaluation of electronically mixed polyvinyl siloxane impression materials : results from the prosthetic « SuperStudy » a consumer evaluation.

Compend Contin Educ Dent 1999;**24**(Suppl):S3-21;quiz S22.

PMID :11908410

40. LABORATOIRE 3M ESPE FRANCE.

Site de 3M ESPE

http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/fr_FR/3M-ESPE/dental-professionals/products/category/impression/pentamix-3/

41. LABORATOIRE 3M ESPE FRANCE.

Site de 3M ESPE.

<http://multimedia.mmm.com/mws/mediawebserver.dyn?66666660Zjcf6IVs6EVs66SqsDCOrrrQ->

42. LABORATOIRE CAVEX.

Brochure Cavex Alginate Mixer II.

<http://www.cavex.nl/packshots/algmixerf.pdf>

43. LABORATOIRE DENTSPLY.

Brochure Duomix.

http://www.dentsply.fr/2007/telechargement/brochures/b_duomix.pdf

44. LABORATOIRE DMG PRED.

Brochure Mixstar-eMotion.

http://www.dmg-dental.com/download/DMG_IFU_MixStar-eMotion_900479.pdf

45. LABORATOIRE GC FRANCE.

Guide pour sélectionner le bon matériau.

<http://www.dentisfuturis.com/download/matemp.pdf>

46. LABORATOIRE HERAEUS KULZER.

Dynamix product information.

http://www.heraeus-kulzer.com/hkg/web/media/downloads/d-g/dynamix/Dynamix_Produktinfo_GB_20070223.pdf

47. LABORATOIRE KETTENBACH DENTAL.

Plug and Press step by step.

<http://www.kettenbach.com/pdfs/Pikto-englisch.pdf>

48. LABORATOIRE ZHERMACK.

Brochures Alghamix II et Modulmix.

<http://fr.zhermack.com/Cabinet/%c3%89quipements/C309030.kl>

49. LACOSTE-FERRE MH, DANDURAND J, BLANDIN M et POMAR P.

Quels élastomères pour quelles empreintes ?

Cah Prothèse 2006 Dec;136:51-58.

50. LACROIX P, LABORDE G, LAURENT M et MARGOSSIAN P.

Quels sont les critères de choix des matériaux pour les empreintes de prothèse fixée ?

Stratégie Prothétique 2004 Nov;4(5):331-336.

51. LAMPE I, MARTON S et HEGEDŰS C.

Effect of mixing technique on shrinkage rate of one polyether and two polyvinyl siloxane impression materials.

Int J Prosthodont 2004 Sept-Oct;17(5):590.

PMID : 15543917

52. LANG JF.

Faut-il craquer pour Hydrogum 5 ?

Indépendantaire 2007 Jan;44:85-87.

53. LAPLANCHE O, TOQUE G, ETTORE JR et coll.

Ergonomie des empreintes en prothèse fixée. Un système de matériau d'empreinte performant au doigt et à l'œil.

Clinic 2006 Sept;27(1):387-393.

54. LEPE X, JOHNSON GH, BERG JC et AW TC.

Effect of mixing technique on surface characteristics of impression materials.

J Prosthet Dent 1998 May;**79**(5):495-502.

PMID : 9597600

55. LIM KC, CHONG YH ET SOH G.

Effect of operator variability on void formation in impressions made with an automixed addition silicone.

Aust Dent J 1992 Feb;**37**(1):35-38.

PMID : 1567292

56. LU H, NGUYEN B et POWERS JM.

Mechanical properties of 3 hydrophilic addition silicone and polyether elastomeric impression materials.

J Prosthet Dent 2004 Aug;**92**(2):151-154.

PMID : 15295324

57. MARGOSSIAN P, LAURENT M, LACROIX P et LABORDE G.

Quels sont les avantages des distributeurs automatiques de matériaux à empreinte ?

Strategie Prothétique 2004 Nov;**4**(5):343-348.

58. MATIS BA et VALADEZ E.

The effect of the use of dental gloves on mixing vinyl polysiloxane putties.

J Prosthodont 1997 Sep;**6**(3):189-192.

59. MILLAR BJ, DUNNE SM et ROBINSON PB.

The effect of a surface wetting agent on void formation in impression.

J Prosthet Dent 1997 Jan;**77**(1):54-56.

PMID : 9029466

60. MILLAR BJ, DUNNE SM et ROBINSON PB.

In vitro study of the number of surface defects in monophasic and two-phase addition silicone impressions.

J Prosthet Dent 1998 Jul;**80**(1):32-35.

PMID : 9656175

61. MONDON M et ZIEGLER C.

Changes in water contact angles during the first phase of setting of dental impression materials.

Int J Prosthodont 2003 Jan-Feb;**16**(1):49-53.

PMID : 12675455

62. MURATA H, KAWAMURA M, HAMADA T et coll.

Physical properties and compatibility with dental stones of current alginate impression materials.

J Oral Rehabil 2004 Nov;**31**(11):1115-1122.

PMID : 15525391

63. NAM J, RAIGRODSKI AJ, TOWNSEND J et coll.

Assessment of preference of mixing techniques and duration of mixing and tray loading for two viscosities of vinyl polysiloxane material.

J Prosthet Dent 2007 Jan;**97**(1):12-17.

PMID : 17280886

64. NETTI CA et YARD RA.

Control of polymerization in the dispensing cartridge of automixing impression systems.

J Prosthet Dent 1990 Jul;**64**(1):16-17.

PMID : 2200877

65. OGOLNIK R, PICARD B et DENRY I.

Cahiers de biomatériaux dentaires.

Paris : Masson, 1992.

66. PERAKIS N, BELSER UC et MAGNE P.

Final impressions : a review of material properties and description of a current technique.

Int J Periodont Rest Dent 2004 Apr;**24**(2):109-117.

PMID : 15119881

67. PERELMUTER S et ZEBOULON S.

Améliorations récentes des matériaux d'empreintes.

Alternatives 2007 Fev;**33**:15-20.

68. PERIE B, DEFLINE B et BOHIN F.

Comment éviter le tirage ?

Stratégie Prothétique 2004 Nov;**4**(5):363-368.

69. PERIE B, DEFLINE B et BOHIN F.

Quelles sont les causes de déformation des empreintes ?

Stratégie Prothétique 2005 Fev;**2**(1):17-23.

70. PERRY RD, GOLDBERG JA, BENCHIMOL J et ORFANIDIS J.

Applicable research in practice : understanding the hydrophilic and flow property measurements of impression materials.

Compend Contin Educ Dent 2006 Oct;**27**(10):582-586.

71. PETITJEAN Y et SCHITTLY J.

Les empreintes en prothèse fixée.

Paris : CdP, 1994.

72. RODRIGUES FILHO LE, MUENCH A, FRANCCI C et coll.

The influence of handling on the elasticity of addition silicone putties.

Pesqui Odontol Bras 2003 Jul-Sep;**17**(3):254-260.

PMID : 14762504

73. SANS AUTEUR.

Vinylpolysiloxane impression materials a status report.

J Am Dent Assoc 1990 May;**120**:595-600.

74. SCHEIN H. (Laboratoire).

Catalogue de fournitures dentaires.

Paris : Henry Schein, 2007.

75. SCHLEIER PE, GARDNER FM, NELSON SK et PASHLEY DH.

The effect of storage time on the accuracy and dimensional stability of reversible hydrocolloid impression material.

J Prosthet Dent 2001 Sep;**86**(3):244-250.

PMID : 11552162

76. SEDDA M, CASAROTTO A, RAUSTIA A et coll.

Effect of storage time on the accuracy of casts made from different irreversible hydrocolloids.

J Contemp Dent Pract 2008 May;**9**(4):59-66.

PMID : 18473028

77. SNEES GROUPE SAFF ETIM.

Brochure GMIX®.

<http://www.gmix.fr/FR.pdf>

78. SOH G et CHONG YH.

Relationship of viscosity to porosities in automixed elastomeric impressions.

Clin Mater 1991;**7**(1):23-26.

PMID : 10149132

79. SOH G et CHONG YH.

Defects in automixed addition silicone elastomers prepared by putty-wash impression technique.

J Oral Rehabil 1991 Nov;**18**(6):547-553.

PMID : 1762027

80. TAIRA M et ARAKI Y.

DTG thermal analyses and viscosity measurements of three commercial agar impression materials.

J Oral Rehabil 2002 Jul;**29**(7):697-701.

PMID : 12153461

81. THEPIN JC, AUROY P, MARTIN E et GASTARD Y.

L'empreinte en double mélange : putty or not putty.

Strategie Prothétique 2004 Nov;**4**(5):369-374.

82. THONGTHAMMACHAT S, MOORE BK, BARCO MT et coll.

Dimensional accuracy of dental casts : influence of tray material, impression material, and time.

J Prosthodont 2002 Jun;**11**(2):98-108.

PMID : 12087547

83. TRAMBA P.

Les empreintes de A à Z : Quelle réponse pour quelle question ?

ADF,1998.

http://www.adf.asso.fr/cfm/site/thesaurus/detail_conference.cfm?rubrique_origine=478conference=76/1998

84. VAN NOORT.

Introduction to dental materials.

S^t Louis : Mosby, 2007.

85. WASSELL RW, BARKER D et WALLS AW.

Crowns and other extra-coronal restorations : impression materials and technique.

Br Dent J 2002 Jun 29;**192**(12):679-684, 687-690.

PMID : 12125794

86. WEE AG.

Comparison of impression materials for direct multi-implant impressions.

J Prosthet Dent 2000 Mar;**83**(3):323-331.

PMID : 10709042

87. WILSON NH, COWAN AJ, CRISP RJ et WILSON MA.

Wastage of a silicone impression material in a general practice setting : a comparison between hand and automixing methods.

South Afr Dent J 2001 May;**56**(5):233-236.

PMID : 11490695

88. WOORTMAN R, KLEVERLAAN CJ, IPPEL D et FEILZER AJ.

Tear strength as indicator for the stability of alginates.

http://www.cavex.nl/packshot/main_researchc.html

NAUD (Guillaume). -Le malaxage automatique des matériaux à empreinte. Apports d'un nouveau système : le GMIX®. – 123 f. ; ill. ; tabl. ; 88 réf ; 30 cm. (Thèse : Chir. Dent. ; Nantes ; 2009)

RÉSUMÉ

L'enregistrement précis de l'anatomie intra-buccale est nécessaire à tous les praticiens pour la réalisation de prothèses de qualité. Pour cela, ils utilisent de nombreux matériaux aux propriétés et aux indications spécifiques. Les malaxeurs mécaniques, de plus en plus performants, ont optimisé les résultats obtenus lors du mélange. Le GMIX®, par sa conception unique, est un outil efficace et polyvalent dans toutes les situations cliniques.

RUBRIQUE DE CLASSEMENT : Prothèse dentaire

DOMAINE BIBLIODENT : Prothèses

MOTS CLÉS MESH : Siloxane élastomère – Prothèse – Alginate – Matériaux empreinte dentaire. Silicone elastomers – Prosthesis – Alginates – Dental impression materials.

MOTS CLÉS BIBLIODENT : Matériel prothétique – Malaxage – Matériau empreinte – Prothèse.

JURY Président : Professeur Jean A. Co-directeur : Docteur Amouriq Y. Co-directeur : Docteur Gigou V. Assesseur : Docteur Bodic F.

ADRESSE DE L'AUTEUR : 23 Boulevard Guist'hau – 44000 Nantes
kyomno@voila.fr